

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»

На правах рукописи

Обухов Андрей Дмитриевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ПРОИЗВОДСТВА  
ОДНОРОДНЫХ СМЕСЕЙ ЛЕЧЕБНЫХ КОМБИКОРМОВ

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Парлюк Екатерина Петровна  
доктор технических наук, доцент

Москва – 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Глава 1. Анализ исследований по способам и техническим средствам приготовления кормолекарственных смесей .....	9
1.1. Особенности и проблемы кормопроизводства для животноводства.....	9
1.2. Лечебные препараты для кормопроизводства для животноводства.....	14
1.3 Анализ выполненных исследований по способам и техническим средствам приготовления кормолекарственных смесей.....	15
1.4 Особенности производства лечебных кормов на фермах, комплексах, холдингах из собственного сырья .....	29
1.5 Подходы к изучению основных параметров, характеризующих состояние слоя.....	31
1.6 Подходы к определению качества смешивания сыпучих кормов .....	32
Глава 2. Обоснование рациональных способов и оптимальных конструктивных параметров смесителей .....	37
2.1 Переход сыпучих кормов в псевдооживленное состояние .....	37
2.2 Закономерности перехода сыпучих кормов в псевдооживленное состояние .....	39
2.3 Влияние геометрических параметров смесителя на процесс псевдооживления.....	41
2.4.1 Определение зависимости работы силы трения от длины пути .....	63
2.4.2 Определение коэффициента трения.....	65
2.5 Исследование влияния различных факторов на качество смешивания.....	65
Глава 3. Экспериментальные исследования смесителя работающего по принципу механического псевдооживления .....	73
3.1 Программа и методика экспериментальных исследований Характеристика объекта.....	73
3.2 Программа и методика определения однородности смеси с применением ферромагнитных микротрейсеров .....	81
3.3 Методика сбора и обработки экспериментальных данных.....	92
3.4 Результаты смешивания лечебных кормов и премиксов .....	117

Глава 4. Анализ результатов исследований и рекомендации по их реализации .....	138
4.1 Определение оптимальных технологических и конструктивных параметров линии по приготовлению лечебных кормов и премиксов .....	138
4.2 Стационарная линия по приготовлению лечебных кормов и премиксов.....	139
4.3 Мобильная установка по производству лечебных комбикормов и премиксов.....	149
4.4. Техничко-экономическая оценка мобильной установки для приготовления лечебных кормов .....	156
Заключение .....	171
Список литературы.....	173

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Производство премиксов и лечебных кормов – это сложный технологический процесс, при котором все компоненты добавляются в оптимальных количествах и необходимых соотношениях. На качество производства премикса следует обращать большое внимание, т.к. биологически активные вещества, которые входят в состав премикса, обладают очень большой активностью в отношении животных. И если премикс будет изготовлен с нарушением технологии, то не исключено, что в скором времени у животного могут возникнуть серьезные нарушения в адаптационных механизмах и может развиваться серьезное заболевание. Все составляющие премикса в ходе производства должны быть тщательно дозированы, качественно перемешаны до получения однородной смеси, макро- и микродозы БАВ в каждой порции смеси должны быть равномерно распределены.

Промышленные комплексы – свинофермы на 24; 54 и 108 тыс. голов, птицефабрики на 2-3 или 0,5 млн. голов в своем составе имеют комбикормовые заводы, где могут производить лечебные комбикорма или лечебные премиксы, с использованием нового оборудования. В то же время есть необходимость обслуживать отгонное животноводство, малые предприятия, межхозяйственные и кооперативные организации, которые не могут заготавливать лечебные премиксы и кормолекарственные смеси.

Из этого вытекает необходимость использования качественных высокоомогенных лечебных премиксов и на их основе лечебных кормовых смесей.

Целесообразно создание мобильной установки по производству лечебных, витаминных и минеральных премиксов, для обслуживания небольших хозяйств и отгонного животноводства. Такая мобильная установка может находиться в районной ветеринарной службе и осуществлять плановое, своевременное производство лечебных премиксов и лечебных кормовых смесей, которые по предписанию ветеринарных врачей скармливаются животным с целью

профилактики и лечения различных заболеваний, а также в целях увеличения продуктивности.

**Целью работы** является разработка эффективных способов и устройств для приготовления высокой однородности смеси малых доз лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем.

Задачи исследования:

1. Исследовать и проанализировать преимущества и недостатки способов работы смесителей для приготовления лечебных кормов и премиксов;

2. Разработать математическую модель и методику расчёта смесителей работающих по принципу механического псевдоожижения и обосновать рациональные способы и конструктивные параметры смесителей для приготовления лечебных комбикормов;

3. Обосновать методику расчета смесителей, работающих по принципу механического псевдоожижения, позволяющую определить основные геометрические параметры и энергетические показатели смесителей в зависимости от их производительности и свойств сыпучих кормов;

4. Провести экспериментальные исследования сферической формы корпуса смесителей лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем и определить оптимальные технологические и конструктивные параметры линии приготовления лечебных кормов и премиксов;

5. Предложить концепцию мобильной установки по производству лечебных кормов, витаминных и минеральных добавок для обслуживания удаленных хозяйств.

**Объектом исследования** является процессы производства кормов для получения однородных сыпучих ключевых компонентов (лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок) кормов для животноводства и птицеводства и аквакультур.

**Предметом исследования** является процесс смешивания сыпучих ключевых компонентов (лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок) кормов для животноводства и птицеводства и аквакультур.

**Научная новизна:**

1. Установлены параметры смеси, характеризующие миграционную способность мелких частиц различной плотности в диапазоне крупности от 1,0 до 0,001 мм, подверженных действию воздушного потока, определяемые состоянием равновесия частицы на наклонной поверхности и зависящие от скорости потока и угла наклона, что позволяет определить условия эффективности разделения смеси по крупности и плотности.

2. Выявлены особенности перемещения частиц разной крупности и плотности в воздушно-материальных потоках при скоростях менее их скорости витания в шаровом корпусе смесителя и при скоростях псевдоожиженного слоя в виде воздушно-материальной смеси и их активного взаимодействия, что позволяет предложить новую конструкцию смесителей.

3. Определены условия эффективности смешивания материалов различных размеров частиц и плотности достигается в воздушно-материальном потоке с обеспечением пересекающихся траекторий легких и тяжелых частиц в поле гравитационных, центробежных и аэродинамических сил.

**Практическая значимость:**

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны новый способ и смеситель новой конструкции, использование которых позволит решать проблему приготовления лечебных витаминных и минеральных премиксов, а также лечебных кормов для животноводства и птицеводства.

2. Разработаны проектные предложения (конструкция) установки для приготовления лечебных кормов, которая включает три последующих этапа: измельчение и смешивание препарата с наполнителем в соотношении 1:1

(первичный премикс); измельчение и смешивание полученной смеси с наполнителем 1:20 (вторичный премикс) и смешивание вторичного премикса с наполнителем в конечном соотношении.

**Методы исследования.** При проведении исследований использовались методы: анализа и сравнительных оценок, монографический и расчетно-конструктивный, теорий вероятностей. Результаты теоретических исследований подтверждаются результатами и данными экспериментальных исследований, выполненных с помощью моделирования исследуемых процессов на ЭВМ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- Научно-методические рекомендации и результаты исследований по оптимизации и математическому описанию сложного многофакторного процесса смешивания смеси малых доз лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем;

- Способ повышения качества гомогенной смеси лечебных комбикормов с коэффициентом однородности не ниже 0,95-0,98%;

- Методика расчета смесителей, работающих по принципу механического псевдооживления;

- Способ приготовления лечебных кормов в шаровом смесителе;

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях:

1. Научный семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского» 22 января 2020г. ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

2. Международная научная конференция профессорско-преподавательского состава, посвященной 177-летию со дня рождения К.А. Тимирязева 4-6 декабря 2020 г. Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

3. Международная научно-практическая онлайн-конференция «Арктика: инновационные технологии, кадры, туризм». Россия, г. Воронеж,

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». 17-19.11.2020 г.

4. Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов «АГРОБИОИНЖЕНЕРНЫЕ ИННОВАЦИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ» Россия, г. Москва, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. 10.06.2021 г.

5. Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева. г. Москва, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 5-7.06.2023 г.

Результаты работы экспонировались на инновационных конкурсах и выставках:

- Работа награждена золотой медалью в конкурсе «За разработку технологии и оборудования приготовления лечебных кормов для животноводства и птицеводства» в рамках Российской агропромышленной выставки «Золотая осень-2021» г. Москва, 9-12 октября 2021 г. Номинация: «Машины и оборудование для кормоприготовления».

- Работа выставлялась на выставке в рамках фестиваля науки и технологий «Техносреда» г. Москва, 25-26 сентября 2021 г.

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 28 работ, в том числе 11 статьи в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов научных исследований, в международной базе данных – 1 статья в Web of Science и 16 патентов на изобретения РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация включает введение, 4 главы, заключение, список литературы из 107 наименований и приложения на 3 страницах. Объём диссертации - 190 страниц, содержит 32 таблицы и 45 рисунков.



# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СПОСОБАМ И ТЕХНИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОЛЕКАРСТВЕННЫХ СМЕСЕЙ**

## **1.1. Особенности и проблемы кормопроизводства для животноводства**

Указом президента Российской Федерации от 21 июля 2016 г. №350 [89] и Постановления Правительства РФ от 25 августа 2017 г. №996 отмечено, что одним из приоритетных направлений развития сельского хозяйства России является создание и внедрение до 2026 г. конкурентноспособных отечественных технологий производства высококачественных кормов, кормовых добавок для животных и лекарственных средств для ветеринарного применения в соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы (ФНТП) [89]. Основными задачами программы является создание не менее 20 кормовых отечественных добавок и локализация (освоение) производства не менее 10 кормовых добавок ведущих международных компаний.

Современные технологии производства комбикормов включают биологические компоненты и лечебные препараты. Без их использования ухудшается конверсия корма, снижается качество и конкурентность животноводческой продукции [20,21].

Таким образом, для обеспечения животноводства высококачественными комбикормами с кормовыми добавками необходимо развитие технологической и технической базы производства.

В настоящее время более половины объема производства комбикормов и кормовых смесей производится в составе животноводческих и птицеводческих комплексов и фермерских хозяйствах [86].

Применение полноценных комбикормов позволяет получить максимальное количество продукции при одновременном снижении затрат кормов на производство молока, мяса, яиц и других продуктов.

В интенсивном животноводстве рост объемов продукции происходит за счет увеличения продуктивности животных. Это достигается подбором и улучшением качества кормов, существующих пастбищ, разведения самых продуктивных пород животных.

Отгонное животноводство это форма организации отрасли, при котором животных содержат на отдаленных от самого хозяйства пастбищах. Характерно для пустынных и полупустынных районов страны, а также применяется в некоторых горных и степных областях. По такому принципу выращивают лошадей, овец, яков и других животных.

Доля животноводческой продукции составляет примерно 65 процентов от общего объема продукции российского сельского хозяйства и эта цифра растет.

Если брать кормовую базу, то в нашей стране наблюдается довольно парадоксальная ситуация: заготавливая большее количество кормов (из расчета – число калорий/единица продукции), чем многие развитые страны, ощущается их острый дефицит, это можно объяснить следующим:

- плохая сохранность кормов, особенно к весеннему периоду;
- структуры кормовой базы выстроена неэффективно (доля концентрированных кормов низкая, рацион – однообразный, витаминов – не хватает);
- постоянные перебои в снабжении кормами хозяйств животноводческого комплекса;
- слабое использование научных рекомендаций в части системы содержания и кормления.

Для молочного скотоводства лучше всего подходят пастбища с разнотравьем, а в состав кормов должны входить сочные (силос) и грубые (сено или солома) компоненты в комплексе с комбикормами. Поэтому в основном скотоводство молочного направления локализовано в Северо-Западном и Северном районах, а также в некоторых областях Нечерноземья, Дальнего Востока и Урала.

Для успешного откорма мясных пород скота подходят пастбища и более засушливого характера, а применение сочных кормов вовсе не обязательно. Поэтому скотоводство мясного типа принято локализовывать в районах с малым количеством естественных зон выпаса. Скотоводство мясного направления хорошо развито на юге страны: на Северном Кавказе (Ставрополье и Ростовская область), в районах Поволжья (Волгоградская, Саратовская и Астраханская области), а также в районах Южного Урала (Оренбургская область). Животноводство юга России также ориентировано на поставку кожевенное сырья [83].

Молочно-мясное направление базируется в основном на территории Краснодарского края, в областях Центрального Черноземья, в некоторых районах Поволжья, Урала и Западной Сибири.

Производство премиксов и лечебных кормов – это сложный технологический процесс, при котором все компоненты добавляются в оптимальных количествах и необходимых соотношениях. На качество производства премикса следует обращать большое внимание, т.к. биологически активные вещества, которые входят в состав премикса, обладают очень большой активностью в отношении животных. И если премикс будет изготовлен с нарушением технологии, то не исключено, что в скором времени у животного могут возникнуть серьезные нарушения в адаптационных механизмах и может развиваться серьезное заболевание. Все составляющие премикса в ходе производства должны быть тщательно дозированы, качественно перемешаны до получения однородной смеси, макро- и микродозы БАВ в каждой порции смеси должны быть равномерно распределены.

Промышленные комплексы – свинофермы на 24; 54 и 108 тыс. голов, птицефабрики на 2-3 или 0,5 млн. голов в своем составе имеют комбикормовые заводы, где могут производить лечебные комбикорма или лечебные премиксы, с использованием нового оборудования. В то же время есть необходимость обслуживать отгонное животноводство, малые предприятия, межхозяйственные

и кооперативные организации, которые не могут заготавливать лечебные премиксы и кормолекарственные смеси.

Из этого вытекает необходимость использования качественных высокоомогенных лечебных премиксов и на их основе лечебных кормовых смесей.

Целесообразно создание мобильной установки по производству лечебных, витаминных и минеральных премиксов, для обслуживания небольших хозяйств и отгонного животноводства. Такая мобильная установка может находиться в районной ветеринарной службе и осуществлять плановое, своевременное производство лечебных премиксов и лечебных кормовых смесей, которые по предписанию ветеринарных врачей скармливаются животным с целью профилактики и лечения различных заболеваний, а также в целях увеличения продуктивности.

Следствием глубоких изменений, происходящих в организме при паразитировании гельминтов, являются задержка роста и развития животных, снижение их плодовитости, уменьшение мясной, молочной, продуктивности и падеж. Среди инвазий у крупного рогатого скота, как правило, отмечают смешанные (ассоциативные) паразитарные заболевания, вызванные одновременно нематодами, трематодами, клещами и насекомыми. Среди всех паразитарных болезней у крупного рогатого скота смешанные инвазии составляют более 46%, в то время как моноинвазии - от 3 до 21% [67].

Отмеченные болезни причиняют значительный экономический ущерб животноводству. Так, потери при гиподерматозе складываются из снижения молочной продуктивности скота на 110 - 120 кг, недополучения прироста массы тела молодняка на 7 - 9 кг, при убое выбраковывают до 2 кг мяса, обесценивается кожа. Еще больший ущерб причиняют стронгилятозы желудочно-кишечного тракта, которые нередко вызывают гибель животных и, особенно молодняка.

Большая концентрация поголовья усугубила ветеринарные проблемы и осложнила обслуживание птицеводческих, овцеводческих, свиноводческих

комплексов и других отраслей. Обслуживание индивидуальных особей стало невозможным. В настоящее время все лечебные препараты, стимуляторы роста и витамины животные и птица получают в составе кормолекарственных смесей, которые подаются из общих кормушек группам животных.

Исключительное значение в последние годы приобрели кормолекарственные смеси для профилактики и лечения поголовья.

Важным требованием является однородность смеси. В настоящее время в комбикорм вводят большое количество концентрированных добавок, содержащих сильно действующие лечебные препараты. Чем лучше смешан корм, тем больше гарантия, что животные получают совою норму лечебных и стимулирующих элементов.

Применение полноценных комбикормов позволяет получить максимальное количество продукции при одновременном снижении затрат кормов на производство молока, мяса, яиц и других продуктов.

Комбикорма, сбалансированные по основным питательным веществам, обеспечивают повышение продуктивности животных на 10-12%, а при обогащении их лечебными препаратами, микроэлементами – на 25-30% [38].

В настоящее время наиболее конкурентоспособные американские компании с развитым производством выпускают 40—60 различных видов комбикормов в 80-150 различных упаковках. Чтобы изготовлять весь ассортимент комбикормов, требуется от 40 до 50 различных ингредиентов и от 5 до 15, а часто и более микроингредиентов [35].

Для правильной организации производства важно знать внешний вид, структуру, физико-механические свойства, транспортабельность и кормовую ценность всех ингредиентов. Надо хорошо представлять, какой ингредиент можно заменять другим и каким именно, с тем, чтобы не снизить эффективность комбикорма. Например, только замена темного по цвету комбикорма светлым может заставить цыплят, которые различают цвет корма зрением, отказаться его есть. При обильном кормлении кормосмесями из хороших грубых и сочных

кормов в рационы необходимо вводить минеральные добавки, так как нехватка макро и микроэлементов не только обедняет молоко и мясо этими важнейшими для человека элементами питания, но и резко ухудшает состояние здоровья, продуктивность, воспроизводство животных. Недопоставка животноводческим фермам, например, 1 т поваренной соли оборачивается недополучением как минимум 12 -15 т молока или 6 - 7 т мяса (в живой массе), а фосфорный голод снижает удои на 200 - 250 кг молока в год от коровы. При учете стоимости животноводческой продукции необходимо включать затраты на содержание кормоцехов и кормосмесительных линий. В современном механизированном цехе действуют сложные механизмы, в больших количествах расходуется топливо и электроэнергия. Все эти издержки относятся на себестоимость мяса и молока. Поэтому эффективность использования кормоцехов следует оценивать не по количеству приготовленных смесей, а по тому, какое влияние оказывает их продукция на рост продуктивности животных, насколько снижают себестоимость мяса, молока, оценивать применение кормосмесей нужно по конечному результату [56].

## **1.2. Лечебные препараты для кормопроизводства для животноводства**

На промышленных животноводческих и птицеводческих комплексах с поголовьем 25-100 тыс. свиней, 1,0-3,0 и более тыс. голов крупного рогатого скота, 0,5-1,0 млн кур-несушек или бройлеров невозможна индивидуальная ветеринарная обработка каждой особи. Изысканы эффективные лечебные препараты, которые в сотых и тысячных долях процентов добавляются в комбикорма. При этом требуется высокая однородность смеси лечебных комбикормов, которую не обеспечивают смесители, применяемые в нашей стране и за рубежом, работающие по принципу конвективного смешивания. Технология группового скармливания лечебных кормов животным или птице уже применяется в мировом масштабе.

Например, Альбен содержит в качестве действующего вещества 20 % альбендазола и вспомогательные компоненты. Выпускают препарат в форме 20% гранул и таблеток массой 1,8 г, содержащих 360 мг действующего вещества (ДВ). Альбен гранулы упаковывают по 0,05 кг; 0,5 и 1 кг в пакеты из ламинированной бумаги; таблетки по 25 и 100 штук в картонные коробки или в полимерные банки. Альбен — антигельминтик широкого спектра действия, активен в отношении половозрелых и неполовозрелых нематод и цестод, а также половозрелых трематод. Обладая овоцидным действием, снижает зараженность гельминтами пастбищ. Механизм действия препарата заключается в нарушении углеводного обмена и микро-тубулярной функции гельминтов, что приводит к их гибели и выделению из организма животного. Препарат малотоксичен для теплокровных животных ЛД<sub>50</sub> для белых мышей при пероральном введении составляет более 3000 мг/кг, в рекомендуемых дозах не обладает местно-раздражающими, эмбриотоксическими, тератогенными и сенсибилизирующими свойствами [3].

### **1.3 Анализ выполненных исследований по способам и техническим средствам приготовления кормолекарственных смесей**

Для смешивания сыпучих материалов применяются различные по конструкции и принципу действия смесители (рисунок 1.1). В основу классификации смесителей положены: принципы работы, способ смешивания, вид силового воздействия, основной механизм смешивания, конструктивные признаки.

В производстве комбикормов нашли распространение вертикально-шнековые, горизонтальные лопастные и спирально-ленточные смесители. Смешивание в них происходит в результате механического воздействия рабочих органов на сыпучую среду. Перераспределение отдельных групп частиц в этих смесителях происходит в основном за счет конвекции (переноса) материала.

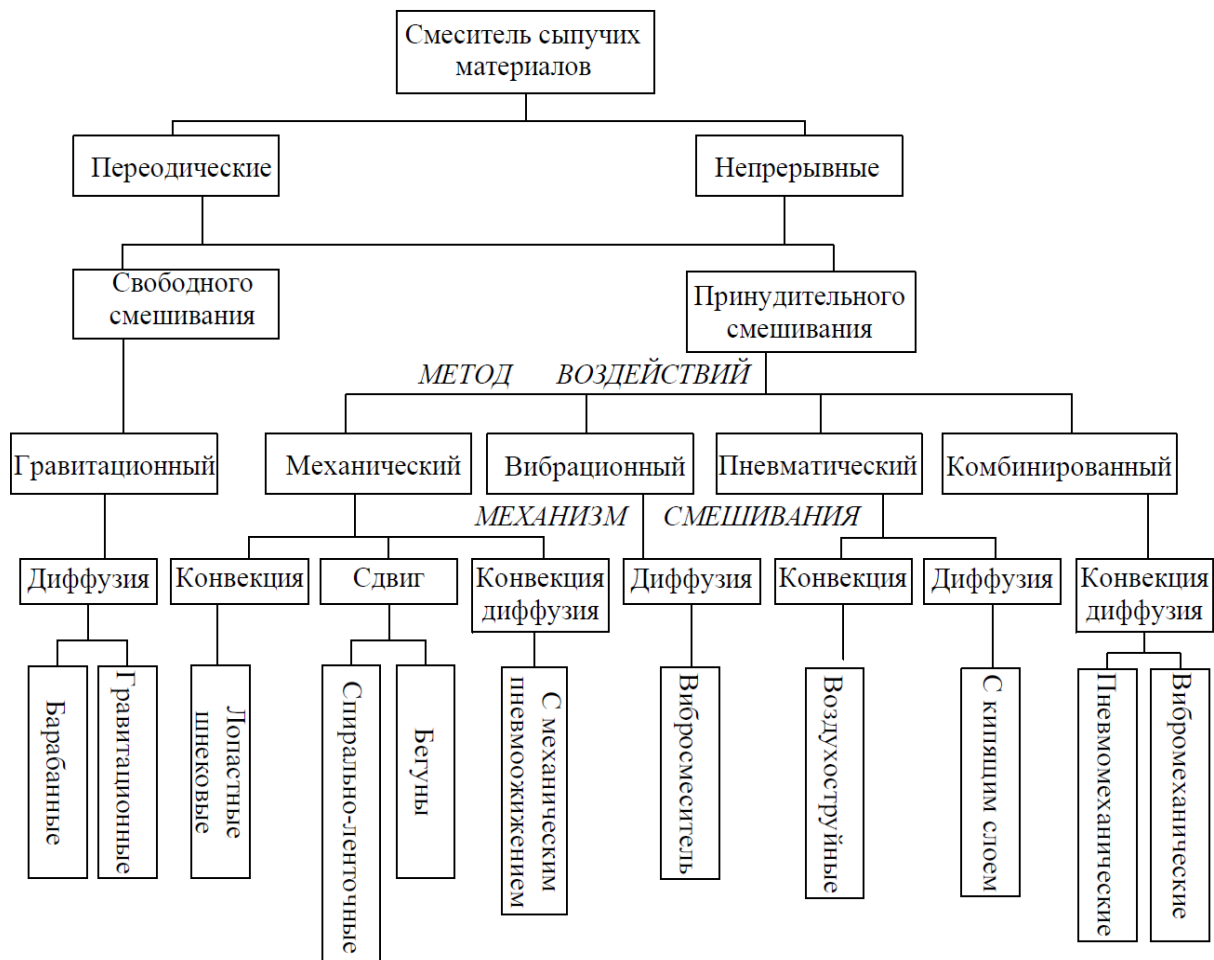


Рисунок 1.1 – Классификация смесителей сыпучих материалов

Известно, что при конвективном смешивании сыпучих материалов невозможно получить равномерное распределение отдельных частиц или небольших их групп. Следовательно, получение однородной смеси, в которой содержатся микродозы биологически активных веществ, в указанных смесителях представляет значительные трудности. Практика показывает, что неоднородность полученных смесей составляет от 12 до 20% [1].

В результате анализа работы смесителей установлено, что для получения однородной смеси необходимо такое воздействие на среду, которое обеспечивало бы эффективное протекание конвективного и диффузионного (проникновение одного вещества в другое) смешивания одновременно. Указанные условия частично осуществляются при смешивании сыпучих материалов в псевдооживленном слое [1,3]. Исследования, проведенные в этой области, показывают, что при псевдооживлении распределение компонентов в



смеси наступает в десятки раз быстрее. Это объясняется равномерным распределением энергии внутри слоя материала и стабильной уравновешенностью сепарирующего и перемешивающего эффектов, что практически недостижимо в механических смесителях, спецификой которых является наличие застойных зон [1,3].

В результате псевдооживления увеличивается расстояние между частицами (слой разрыхляется), что приводит к уменьшению внутреннего диффузионного сопротивления и резкому увеличению скорости массообменных процессов [4].

Применение механического метода псевдооживления [5] позволило в значительной мере расширить область прогрессивного способа – ведения процесса смешивания. Он заключается в строго определенном динамическом воздействии вращающегося рабочего органа (лопасти, пропеллера, якорной мешалки, дисков, конуса и т.д.) на сыпучую среду, в результате чего последняя приобретает состояние, аналогичное слою, продуваемому газом [16,17].

Принцип действия смесителя с механическим псевдооживлением основан на том, что вследствие сравнительно большой окружной скорости рабочих органов происходит разрыхление и создается интенсивная циркуляция материала в вертикальной плоскости смесителя.

Он представляет собой вертикально расположенный в цилиндрическом или коническом корпусе вал, на котором укрепляется рабочий орган. Конструкция рабочего органа может быть различной, и для каждого вида характерны свои значения критической скорости псевдооживления, высота слоя и потребной мощности. Однако на основании некоторых исследований [15,26] установлено, что для смешивания нет необходимости применять сложные конструкции. При одинаковой энергии, затрачиваемой на смешивание, и различном числе оборотов рабочие органы сложной и простой конструкции приводят к аналогичному состоянию перемешиваемой среды, давая один и тот же эффект смешивания.

Исследования, проведенные в Московском государственном университете инженерной экологии (МИХМ), показали, что достичь высокой однородности при смешивании порошковых материалов в псевдооживленном слое можно обычными радиально-лопастными мешалками. С учетом имеющихся данных по способу механического псевдооживления сыпучих материалов создана экспериментальная установка (рисунок 1.2).

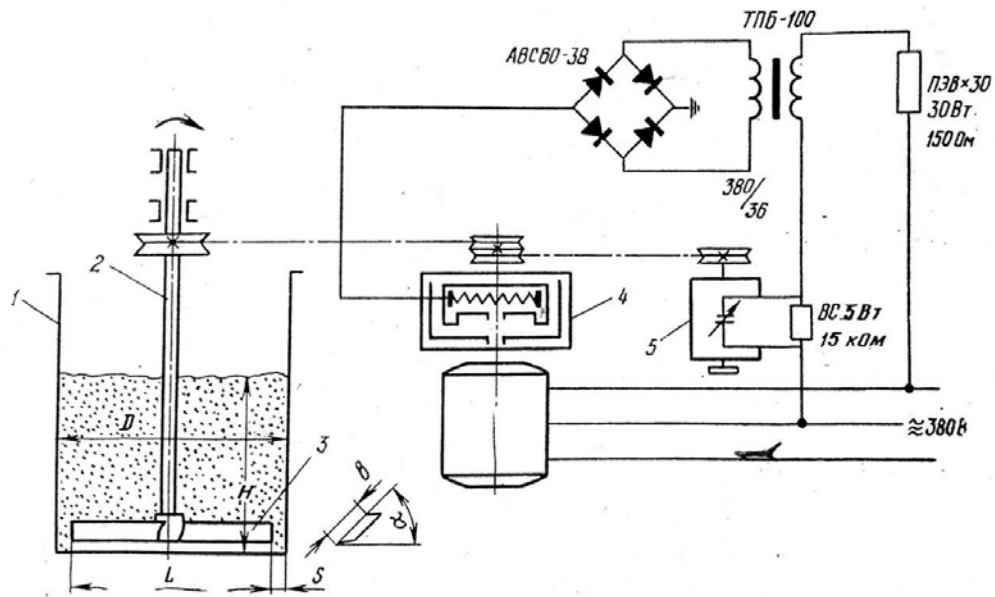


Рисунок 1.2 – Схема смесителя с механическим псевдооживлением.

1 – корпус смесителя; 2 – вал; 3 – радиальная лопасть; 4 – асинхронный двигатель с электромагнитной муфтой (ПМС-0,4); 5 – центробежный регулятор

В цилиндрическом корпусе смесителя 1 диаметром  $D$  вращается вал 2 с наклонной под углом  $\alpha$  к днищу лопастью 3, имеющий размах  $L$ . В целях устранения «мертвой» зоны на дне смесителя лопасть устанавливают относительно днища с минимально возможным зазором. Исследуемые сыпучие корма загружают в смеситель на высоту  $H$ . Вал с лопастью приводится во вращение через клино-ременную передачу от асинхронного электродвигателя с электромагнитной муфтой ПМС-0,4. С помощью центробежного регулятора 5 и электромагнитной муфты 4 производится плавное изменение числа оборотов вала в широких пределах (от 80 до 900 об/мин). Основные параметры лабораторной установки приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные параметры лабораторной установки.

Показатели	Варианты опыта					
	1	2	3	4	5	6
Диаметр корпуса, мм	200	240	260	280	320	359
Высота корпуса, мм	500	500	500	500	500	500
Размах лопастей, мм	190	190-230	190-250	190-270	310	340
Ширина лопастей, мм	30	30-70	30	30	30	30
Угол наклона лопастей, град.	45	0-90	45	45	45	43
Уровень засыпки, мм	80-180	80-180	100-140	100-140	100-140	100-140
Число лопастей в горизонтальной плоскости, шт.	2	2-6	2	2	2	2
Число ярусов, шт.	1	1-2	1	1	1	1
Угловая скорость лопасти, с <sup>-1</sup>	8-95	9-90	9-75	9-60	9-55	9-48
Окружная скорость лопасти, м/с	0,8-9,0	0,9-10,5	1,1-9,4	1,2-8,5	1,4-8,4	1,55-8,0

Закономерности процесса смешивания тесно связаны с физико-механическими свойствами сыпучих кормов. На основании экспериментальных данных изложенных в работе [22,23,26] выявлено что к важнейшим из них относятся такие, как размеры зерен и распределения их по крупности; объемный вес; угол естественного откоса; влажность; удельный вес.

Также известна «Установка для приготовления премиксов и кормовых смесей» RU 2289974, С1, А23N17/00, 21.06.2005г. Установка включает два вертикально установленных смесителя, сообщающихся между собой. Смеситель для премиксов представляет собой центрифугу в виде усеченного конуса, его смешивающий рабочий орган имеет вид лопатки, а смеситель для кормовых смесей выполнен с винтовой лопаткой. Однако основные недостатками: смесители в виде центрифуги предназначены для разделения, они осуществляют сепарацию составляющих по удельному весу, а спирально-винтовой конвейер для транспортирования премикса из малого смесителя в большой также приводит к сегрегации смеси. Конструкция установки сложная, металлоемкая, для ее работы используется четыре электропривода [53,54,55,60].

Известна «Установка для приготовления премиксов и кормовых смесей» RU 2411884 С2 20.10.2010 г. Установка включает измельчитель-смеситель для первичных премиксов и смеситель для приготовления кормовых смесей из первичных премиксов и наполнителя. Недостатком данной установки является цилиндрическая форма измельчителя-смесителя премиксов и смесителя кормолекарственных смесей, в которых происходит конвективный способ смешивания, что недостаточно для получения высокооднородной смеси.

Одна из наиболее современных отечественных разработок является «Установка для приготовления кормолекарственных смесей» RU 2635367 С1, 13.11.2017 г., которая включает измельчитель-смеситель для первичных премиксов, смеситель для премиксов и кормовых смесей, устройства для загрузки и выгрузки. Однако, оба эти смесителя осуществляют процесс измельчения ударом, а смешивание - конвективным способом при хаотическом перемещении продукта, что не достаточно эффективно [53,54,55,60].

В 2020 году наблюдался рост спроса на смесительное оборудование из-за увеличения производства в фармацевтической, химической и пищевой отраслях, особенно в контексте пандемии COVID-19, которая стимулировала производство медицинских и пищевых продуктов. При этом технологические улучшения, такие как внедрение автоматизации и улучшенные системы управления, способствовали повышению эффективности и точности смешивания. Также был замечен тренд на разработку более энергоэффективного и экологически чистого оборудования, что стало важным фактором для компаний, стремящихся снизить свой углеродный след [49].

#### Рыночные сегменты:

- Фармацевтическая промышленность: Строгие стандарты GMP (Good Manufacturing Practice) и повышенные требования к качеству продукции стимулировали спрос на высокоточные смесители.

- Пищевая промышленность: Потребность в смешивании ингредиентов с высокой степенью однородности для обеспечения качества и безопасности продуктов питания.
- Химическая промышленность: Необходимость в смешивании различных химических веществ с точным контролем процессов для получения консистентных и качественных продуктов.

#### Ключевые игроки на рынке:

- GEA Group: Немецкий производитель с широким портфолио смесителей для различных отраслей.
- Hosokawa Micron: Японская компания, специализирующаяся на высокоточных смесителях для фармацевтической и пищевой промышленности.
- SPX FLOW: Американская компания, предлагающая широкий спектр смесительного оборудования.
- Charles Ross & Son Company: Производитель, известный своими инновациями в области смешивающего оборудования.

#### Географические тенденции:

- Азиатско-Тихоокеанский регион: Заметный рост, обусловленный увеличением производственных мощностей, особенно в Китае и Индии.
- Северная Америка и Европа: Стабильный спрос благодаря развитой фармацевтической и пищевой промышленности.

#### Влияние COVID-19:

- Увеличение производства: Пандемия привела к увеличению производства гигиенических и медицинских товаров, что повысило спрос на смесительное оборудование.
- Сбои в цепочках поставок: В то же время глобальные сбои в цепочках поставок затруднили доступ к компонентам и сырью, что могло повлиять на производственные сроки и стоимость оборудования.

### Прогнозы и перспективы:

- Инвестиции в R&D: Прогнозируется, что инвестиции в исследования и разработку новых технологий будут продолжать расти, чтобы соответствовать меняющимся требованиям отраслей.
- Адаптация к изменениям: Производители смесителей, способные быстро адаптироваться к изменениям в регулировании и потребительских предпочтениях, вероятно, увидят рост в ближайшие годы.

В таблице 1.2 представлены смесители крупных зарубежных производителей и выпускаемые ими модели смесителей.

Таблица 1.2 – Таблица моделей смесителей зарубежных производителей

№	Производитель	Страна	Модель	Объем, л	Особенности
1	GEA Process Engineering	Германия	PharmaConnect®	10-1000	Гибкая система для масштабирования процессов в фармацевтике
2	Hosokawa Micron	Япония	Cyclomix	100-500	Высокоскоростной смеситель для микронизированных порошков
3	SPX FLOW Technology	США	Lightnin	50-10000	Серия смесителей для широкого спектра промышленных приложений
4	EKATO Group	Германия	SOLIDMIX	10-20000	Вертикальные смесители для сухого смешивания и гранулирования
5	Silverson Machines	Великобритания	Flashblend	100-10000	Смесители высокого давления для быстрого растворения и диспергирования твердых веществ
6	Charles Ross & Son	США	Ribbon Blenders	50-50000	Горизонтальные ленточные смесители для смешивания сухих порошков и паст
7	NETZSCH	Германия	PMD / PMD-VC	100-10000	Смесители с вертикальным расположением лопастей для работы в псевдооживленном режиме

Продолжение таблицы 1.2

8	MTI Mischtechnik	Германия	MTI Flex-line	100-3000	Универсальные смесители для различных применений
9	Vortex Mixing Technology	Китай	VMX	100- 10000	Смесители для химической, пищевой и фармацевтической промышленности
10	Alfa Laval	Швеция	Rotary Jet Mixer	100- 10000	Смесители с роторным джетом для гигиенических приложений в пищевой и фармацевтической промышленности

Анализ смесителей зарубежных производителей показывает:

1. GEA Process Engineering – PharmaConnect:
  - Конструкция: Модульная система смешивания, позволяющая легко менять смесительные устройства и контейнеры.
  - Технология: Совместимость с системами контейнерного типа для улучшения гибкости и уменьшения риска загрязнения.
  - Применение: Особенно подходит для фармацевтической промышленности с требованиями GMP.
2. Hosokawa Micron - Cyclomix
  - Конструкция: Высокоскоростной смеситель с особым вниманием к интенсивному и быстрому смешиванию.
  - Технология: Специально разработан для обработки микронизированных порошков, обеспечивая равномерное распределение.
  - Применение: Широко используется в косметической и фармацевтической промышленности для производства высококачественных смесей.
3. SPX FLOW Technology - Lightnin
  - Конструкция: Обширная линейка смесителей для широкого спектра приложений, включая псевдооживленные смеси.

- Технология: Различные опции приводов и мешалок, включая настройки для работы с высоковязкими средами.

- Применение: От пищевой и химической промышленности до обработки сточных вод и биотехнологии.

#### 4. ЕКАТО Group - SOLIDMIX

- Конструкция: Вертикальные смесители для сухого смешивания, оптимизированные для гранулирования и смешивания порошков.

- Технология: Системы с отличной гомогенизацией и возможностью интеграции дополнительных процессов, таких как сушка.

- Применение: Химическая промышленность, производство батарей, фармацевтика и пластмассы.

#### 5. Silverson Machines - Flashblend

- Конструкция: Смесители высокого давления для быстрого и эффективного смешивания.

- Технология: Особенно подходит для диспергирования твердых веществ в жидкости, обеспечивая быстрое растворение без комков.

- Применение: Пищевая промышленность, напитки, молочные продукты и фармацевтика.

#### 6. Charles Ross & Son - Ribbon Blenders

- Конструкция: Горизонтальные ленточные смесители, идеально подходящие для смешивания сухих порошков, паст и гранул.

- Технология: Ленточные элементы обеспечивают равномерное смешивание и минимальное повреждение продукта.

- Применение: Пищевые добавки, порошковые краски, химические смеси.

#### 7. NETZSCH - PMD / PMD-VC

- Конструкция: Вертикальные смесители с лопастями для работы в псевдооживленном режиме, подходят для больших объемов.



- Технология: Многофункциональность с возможностью смешивания, диспергирования и сушки в одном устройстве.

- Применение: Пищевая промышленность, химическое производство, создание композитных материалов.

#### 8. MTI Mischtechnik - MTI Flex-line

- Конструкция: Гибкие смесители, предназначенные для различных применений с легкой заменой рабочих органов.

- Технология: Модульная конструкция, позволяющая адаптировать смеситель к различным процессам и материалам.

- Применение: Пластмассы, химические смеси, строительные материалы.

#### 9. Vortex Mixing Technology - VMX

- Конструкция: Смесители для различных промышленных процессов, включая тяжелые и легкие смеси.

- Технология: Эффективное смешивание с низким уровнем шума и вибрации.

- Применение: Химическая промышленность, пищевые продукты, косметика.

#### 10. Alfa Laval - Rotary Jet Mixer

- Конструкция: Смесители с роторным джетом для использования в гигиенических условиях.

- Технология: Высокая эффективность смешивания при низком энергопотреблении.

- Применение: Пищевая и фармацевтическая промышленность, особенно в процессах, где требуется высокий уровень санитарии.

В таблице 1.3 представлены примерная степень однородности и методика испытаний анализируемых смесителей.

Таблица 1.3 – Таблица моделей смесителей зарубежных производителей

№	Производитель	Модель	*Примерная степень однородности	Методика испытаний	Примечания
1	GEA Process Engineering	PharmaConnect®	> 95%	Спектрофотометрия, лазерная дифракция	Однородность может варьироваться в зависимости от типа и размера частиц.
2	Hosokawa Micron	Cyclomix	> 98%	Сканирующая электронная микроскопия, метод смешиваемых маркеров	Особенно высокая однородность для микронизированных порошков.
3	SPX FLOW Technology	Lightnin	> 90%	Рентгеновская флуоресценция, турбидиметрия	Степень однородности зависит от конфигурации лопастей и скорости вращения.
4	EKATO Group	SOLIDMIX	> 90%	Тестирование с использованием индикаторных порошков, метод пробных выборок	Для сухих порошков однородность может быть достигнута с определенной настройкой процесса.
5	Silverson Machines	Flashblend	> 95%	Определение размера частиц и их распределение, вискозиметрия	Быстрое растворение и диспергирование твердых веществ обеспечивает высокую однородность.
6	Charles Ross & Son	Ribbon Blenders	> 85%	Гомогенизация образца, последующее химическое анализирование	Ленточные смесители могут требовать больше времени для достижения однородности по сравнению с другими типами.

Продолжение таблицы 1.3

7	NETZSCH	PMD / PMD-VC	> 90%	Оптическая микроскопия, метод пробных выборок для оценки распределения компонентов	Степень однородности может варьироваться в зависимости от вязкости и других свойств смешиваемых материалов.
8	MTI Mischtechnik	MTI Flex-line	> 90%	Колориметрический анализ, тестирование на механическое смешивание	Универсальность смесителя позволяет оптимизировать процесс для различных материалов.
9	Vortex Mixing Technology	VMX	> 90%	Статистический анализ проб, взятых из разных точек смесителя	Эффективность смешивания может зависеть от конкретной модели и ее настроек.
10	Alfa Laval	Rotary Jet Mixer	> 99%	Непрерывный анализ образцов с использованием фотометрии или других оптических методов	Роторные джет-смесители обеспечивают высокую степень однородности, особенно в жидких средах.

\*Эти цифры являются обобщенными и не могут быть точными для конкретных условий производства.

#### *Недостатки существующих конструкций:*

**Износ:** Интенсивное механическое воздействие может привести к быстрому износу компонентов смесителя, что требует их регулярной замены и технического обслуживания.

**Ограниченная применимость:** Некоторые смесители могут быть неэффективны для материалов с определенными свойствами, например, слишком легких или слишком тяжелых.

**Сложность очистки:** Некоторые конструкции затрудняют полное удаление остатков продукта, что может привести к загрязнению следующих партий.

Энергопотребление: Традиционные смесители могут потреблять значительное количество энергии, особенно при работе с тяжелыми или вязкими материалами.

В таблице 1.4 представлен анализ применения смесителей в псевдооживленном режиме.

Таблица 1.4 – Таблица применимости смесителей зарубежных производителей

Отрасль	Применение смесителей в псевдооживленном режиме
Сельское хозяйство	Смешивание семян, удобрений, зерновых смесей для кормления животных.
Химическая промышленность	Смешивание различных химических реагентов, производство пластмасс, удобрений, порошковых красителей, пигментов и других химических соединений.
Фармацевтика	Смешивание лекарственных порошков и гранул для производства таблеток, капсул и других форм лекарств.
Пищевая промышленность	Смешивание ингредиентов для производства мучных изделий, специй, добавок, сухих смесей для выпечки и напитков, а также для производства кормов для животных.
Строительная индустрия	Смешивание цемента, песка, гипса, извести и других строительных материалов.
Металлургия	Смешивание порошков для производства металлических сплавов, порошковой металлургии.
Пластмассы и полимеры	Смешивание различных видов пластмассовых гранул с добавками, такими как стабилизаторы, пигменты, наполнители для получения конечных пластмассовых продуктов.
Косметическая промышленность	Смешивание порошков и гранул для создания косметических продуктов, таких как пудры, тени для век, румяна.

*Обоснование важности разработки и внедрения новых конструкций и технологий:*

Эффективность смешивания: Современные производственные процессы требуют более высокой однородности смешивания, что может быть достигнуто

с помощью улучшенных конструкций лопастей и более точного управления процессами.

**Энергоэффективность:** Новые технологии могут сократить энергопотребление, что важно для уменьшения эксплуатационных затрат и снижения воздействия на окружающую среду.

**Автоматизация:** Внедрение усовершенствованных систем управления и мониторинга позволяет оптимизировать процессы и повысить безопасность операций.

**Гибкость производства:** Новые модели смесителей могут быть более универсальными и адаптируемыми к различным типам продукции, что позволяет использовать одно оборудование для разных процессов.

**Уменьшение загрязнения:** Конструкции, облегчающие очистку и предотвращающие загрязнение между партиями продукции, важны для отраслей с высокими требованиями к чистоте, таких как фармацевтика и пищевая промышленность [45].

#### **1.4 Особенности производства лечебных кормов на фермах, комплексах, холдингах из собственного сырья**

Доля животноводческой продукции составляет 65% от общего объема производимой продукции сельским хозяйством нашей страны и она постоянно увеличивается [43]. Это достигается за счет селекции высокопродуктивных пород животных и птиц, повышения качества кормов, улучшения условий содержания и ветеринарного обслуживания.

Большая концентрация поголовья усугубила ветеринарные проблемы и осложнила его индивидуальное обслуживание. Поэтому в настоящее время все лечебные препараты, стимуляторы роста, витаминные и минеральные добавки животные и птица получают в составе лечебных кормов и премиксов из кормушек [42]. Комбикорма, сбалансированные по основным питательным

веществам, обеспечивают повышение продуктивности животных и птицы на 10-12%, а при обогащении их лечебными препаратами, микроэлементами – на 25-30% [36]. Важным требованием является однородность смеси. Производство премиксов и лечебных кормов – это сложный технологический процесс, при котором все компоненты добавляются в оптимальных количествах и определенных соотношениях, так как лечебные препараты и биологически активные вещества обладают большой активностью. Все составляющие лечебных кормов и премиксов должны быть точно дозированы и хорошо смешаны. Лечебные премиксы применяют в малых количествах, например Альбен – анигельминтик широкого спектра действия применяют для дегельминтизации крупного рогатого скота свиней, лошадей, овец, птиц. Выпускают Альбен в форме гранул или таблеток массой 1,82 г, содержащих 20% действующего вещества (ДВ) [3].

Альбен используют в смеси (премиксах) в следующих дозах: свиньям 10 мг/кг массы (по ДВ) или 1 таблетка на 35-40 кг массы животного, коровам и лошадям 7,5 мг (3,75 таблетки) на 100 кг; овцам и козам 5 мг/кг массы или 0,5 таблетки на 35-40 кг массы животного; птице 10 мг/кг или 1 таблетка на 35-40 кг массы птицы [45].

При групповом способе скармливания расчетную дозу Альбена смешивают с наполнителем из расчета корма на одну голову: для крупного рогатого скота и лошадей – 0,5-1, кг; для свиней, овец и коз – 150-200 г; для птиц – 50г.

Для смешивания ингредиентов комбикормов применяются различные по способам смешивания и конструкции смесители. На практике нашли применение горизонтально-лопастные, спирально-ленточные и вертикально-шнековые смесители [34]. Смешивание в них осуществляется конвективным способом в результате механического воздействия рабочих органов на сыпучие ингредиенты (рисунок 1.1).

## 1.5 Подходы к изучению основных параметров, характеризующих состояние слоя

При исследовании взаимодействия рабочих органов и сыпучей среды [15,38] одной из первых задач является выявление качественной картины поведения слоя материала в смесителе. Изменение физического состояния среды при различном режиме воздействия на неё лопасти изучалось с помощью скоростной киносъемки на кинокамере СКС-1М. Корпус смесителя был изготовлен из стекла. Киносъемку проводили с двух позиций – сбоку корпуса и сверху на 15-мм киноплёнку. Частота киносъемки составляла 100-1000 кадр/с.

Для фиксирования направления циркуляции сыпучих кормов у стенок корпуса и на свободной поверхности использовали фотосъемку.

Изменение частоты вращения лопастей влечет за собой изменение плотности среды, которая в свою очередь, влияет на перемещение и перераспределение частиц. Качественную и количественную характеристику такого изменения можно получить с помощью радиометрического метода. В соответствии с этим методом объемную плотность материала определяют по ослаблению пучка  $\gamma$ -квантов, прошедших через материал и достигших детектора излучения. Установка для измерения изменения объемной плотности сыпучих кормов состоит из источника  $\gamma$ -излучения  $Am^{241}$  активностью 100 мКюри, расположенного в защитном корпусе с коллимационным отверстием диаметром 3 мм, сцинтилляционного счетчика и пересчетного устройства НК-108. Между источником  $\gamma$ -излучения и детектором расположен стеклянный сосуд, внутри которого вращается вертикальный вал с радиальными лопастями, наклоненными под углом  $45^\circ$  к горизонту. Ослабление  $\gamma$ -излучения в узком пучке происходит по экспоненциальному закону:

$$I=I_0 \cdot e^{-\mu dp}, \quad (1.1)$$

где  $I$  – измеряемая интенсивность  $\gamma$ -излучения после прохождения через слой материала толщиной  $d$  см;  $I_0$  – начальная интенсивность  $\gamma$ -излучения, т. е. интенсивность при условии, если между источниками излучения и детектором нет материала;  $\mu$  – массовый коэффициент ослабления, см<sup>2</sup>/г;  $\rho$  – объемная плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Практически для оценки объемной плотности материала удобно пользоваться коэффициентом ослабления интенсивности излучения  $K$ , который равен:

$$K = \frac{I}{I_0} = e^{-\mu d \rho} \quad (1.2)$$

Поскольку в формуле (1.2) величины  $\mu$  и  $d = \alpha$ , получим  $\alpha \rho = -\ln K$ . При построении графиков пользовались средними арифметическими значениями интенсивности  $I$ , вычисленными из пяти измерений  $I_i$ . Опыты повторялись трижды. Время счета каждого измерения  $t=100$  с. При этом относительная ошибка отдельного измерения  $< 1\%$ .

При вращении наклонной лопасти в сыпучей среде энергия передается как частицам материала, так и воздуху, заполняющему пространство между ними. Поэтому в массе возникают воздушные напоры и, соответственно, движение воздуха из области больших напоров в сторону меньших. Разность давления в слое определяется его состоянием. Следовательно, для характеристики последнего целесообразно измерить получаемый перепад давлений.

Погрешность измерения с помощью диффранометра МФУ-3 составляет 0,08 мм вод. ст.

## 1.6 Подходы к определению качества смешивания сыпучих кормов

Известно, что при конвективном смешивании сыпучих материалов невозможно получить равномерное распределение отдельных частиц или небольших их групп. Следовательно, получение однородной смеси, в которой содержатся микродозы биологически активных веществ, в указанных



смесителях представляет значительные трудности. Практика показывает, что однородность полученных смесей составляет от 80 до 85% [46].

В результате анализа работы смесителей установлено, что для получения однородной смеси необходимо такое воздействие на среду, которое обеспечивало бы эффективное протекание конвективного и диффузионного (проникновение одного вещества в другое) смешивания одновременно. Указанные условия частично осуществляются при смешивании сыпучих материалов в псевдооживленном слое [47]. Исследования, проведенные в этой области, показывают, что при псевдооживлении распределение компонентов в смеси наступает в десятки раз быстрее. Это объясняется равномерным распределением энергии внутри слоя материала и стабильной уравновешенностью сепарирующего и перемешивающего эффектов, что практически недостижимо в механических смесителях, спецификой которых является наличие застойных зон [47].

В результате псевдооживления увеличивается расстояние между частицами (слой разрыхляется), что приводит к уменьшению внутреннего диффузионного сопротивления и резкому увеличению скорости массообменных процессов. Применение механического метода псевдооживления позволило в значительной мере расширить область прогрессивного способа – ведения процесса смешивания. Он заключается в строго определенном динамическом воздействии вращающегося рабочего органа (лопасти, пропеллера, якорной мешалки, дисков, конуса и т.д.) на сыпучую среду, в результате чего последняя приобретает состояние, аналогичное слою, продуваемому газом [48].

Принцип действия смесителя с механическим псевдооживлением основан на том, что вследствие сравнительно большой окружной скорости рабочих органов происходит разрыхление и создается интенсивная циркуляция материала в вертикальной плоскости смесителя.

Он представляет собой вертикально расположенный в цилиндрическом или коническом корпусе вал, на котором укрепляется рабочий орган. Конструкция

рабочего органа может быть различной, и для каждого вида характерны свои значения критической скорости псевдооживления, высота слоя и потребной мощности. Однако на основании исследований установлено, что для смешивания нет необходимости применять сложные конструкции. При одинаковой энергии, затрачиваемой на смешивание, и различном числе оборотов рабочие органы сложной и простой конструкции приводят к аналогичному состоянию перемешиваемой среды: одинаковая степень однородности смеси [49].

Смесители для приготовления комбикормов и лечебных кормов, которые используют в нашей стране и за рубежом, работают по принципу конвективного смешивания, при этом коэффициент однородности смешивания составляет 0,80-0,85, а для лечебных кормов по ветеринарным требованиям он равен – 0,95-0,97 [50].

Процесс смешивания зависит в основном от конструкции смесителя, рабочих органов и режима его работы и рассчитывается по методике Мухленова И.П. [67].

Конвективное смешивание в псевдооживленном слое отличается высокой эффективностью, малым временем смешивания, простой конструкцией, однако при работе смесителя происходит сегрегация смеси – рассортирование компонентов по удельной массе частиц и размерам. Поэтому, для каждого типа смесителя и вида смеси необходимо экспериментально установить режим работы смесителя: соотношение компонентов, число оборотов вала смесителя, время смешивания, степень загрузки емкости смесителя и др.

Диффузионное смешивание осуществляется способом взаимной диффузии компонентов при совместном смятии, в результате из двух гетерогенных (неоднородных) компонентов образуется гомогенный (однородный) продукт – вещества находятся в одном агрегатном состоянии и при последующем смешивании не разделяются. Диффузионное смешивание представляется как процесс взаимного проникновения молекул одного вещества между молекулами другого, что приводит к выравниванию их концентрации по всему занимаемому объему. При этом происходит перенос вещества с мест высокой концентрации в

места низкой концентрации и наоборот. Атомы соприкасающихся материалов перемешиваются на границе соприкосновения рабочих органов [69].

Известно, что самые напряженные и ответственные детали и узлы самолетов, ракет, кораблей и др. в настоящее время изготавливаются из композитных материалов. Это достигается путем совместного измельчения состава полимеров до мельчайших частиц и одновременного диффузионного смешивания с последующим нагревом и прессованием, где уже между частицами, составляющих полимеров, действуют межмолекулярные силы [28].

Особенность смешивания лечебных препаратов и витаминных термолабильных и минеральных премиксов в том, что размеры частиц солей микроэлементов, используемых в комбикормовом производстве, варьируют в широких пределах – от пылевидных, способных витать в воздухе, до аномально крупных (1,2 мм), ограниченных лишь требованиями ГОСТ 52356-2005 «Премиксы. Номенклатура показателей», что не противоречит действующим нормативным документам.

Если размер компонентов не соответствует нормативам (ГОСТ), то для цыплят- бройлеров норма комбикорма 20 г в сутки, может не попасть нужный элемент, а если в эти 20 г корма попадает лишь одна частичка размером 1,2 мм, то будет перекорм. Применяемые компоненты являются солями тяжелых металлов. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов, даже при невысоких превышениях допустимых норм, а также способствуют биоаккумуляции их в организме. Однако, их применение позволяет на треть повысить продуктивность животных и птицы [66].

### **Выводы по главе 1**

Обзор работ в области смешивания сыпучих материалов позволил выявить следующие моменты:

– сложность механизма смешивания сыпучих материалов и уровень теоретических разработок затрудняет получения аналитической взаимосвязи факторов, определяющих процесс;

– несовершенство методики экспериментов по выявлению влияния различных факторов на скорость процесса и распределение компонентов в смеси привело к тому, что по одному и тому же вопросу даются противоречивые толкования;

– создание новых смесителей без достаточного теоретического обоснования приводит к нерациональным конструкциям, особенно в области смешивания разнородных сыпучих материалов.

Целью работы является разработка эффективных способов и устройств для приготовления высокой однородности смеси малых доз лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем.

Задачи исследования:

1. Исследовать и проанализировать преимущества и недостатки способов работы смесителей для приготовления лечебных кормов и премиксов;

2. Разработать математическую модель и методику расчёта смесителей работающих по принципу механического псевдоожижения и обосновать рациональные способы и конструктивные параметры смесителей для приготовления лечебных комбикормов;

3. Обосновать методику расчета смесителей, работающих по принципу механического псевдоожижения, позволяющую определить основные геометрические параметры и энергетические показатели смесителей в зависимости от их производительности и свойств сыпучих кормов;

4. Провести экспериментальные исследования сферической формы корпуса смесителей лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем и определить оптимальные технологические и конструктивные параметры линии приготовления лечебных кормов и премиксов;

5. Предложить концепцию мобильной установки по производству лечебных кормов, витаминных и минеральных добавок для обслуживания удаленных хозяйств.

# ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ И ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЕЙ

## 2.1 Переход сыпучих кормов в псевдооживленное состояние

В смесителях рассматриваемого типа интенсивное смешивание материала происходит в зоне действия лопастей. Поэтому одной из главных величин, характеризующих работу лопастей, циркуляцию материала, а следовательно, и интенсивность смешивания является объем материала, прошедшего через эту зону за единицу времени. Очевидно, общий объем, прошедший через лопасти за время  $t$ , будут определять суммой радиального и осевого потоков продукта.

На рисунке 2.1 показаны направления скоростей потока материала при воздействии на него наклонной лопасти.

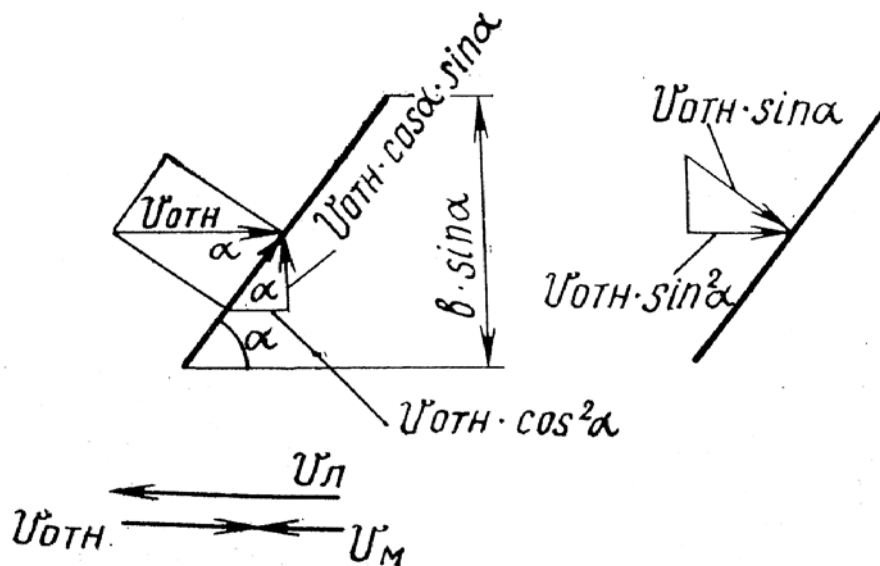


Рисунок 2.1 – Схема разложения вектора скорости потока материала при воздействии на него наклонной лопасти ( $v_{л}$ ,  $v_{м}$  соответственно окружная скорость лопасти и материала)

Относительная скорость  $v_{отн}$  между лопастью и материалом равна разности векторов окружной скорости лопастей  $v_{л}$  и тангенциальной скорости материала  $v_{м}$ , вращающегося с лопастями.

Вектор  $v_{отн}$  может быть разложен на две составляющие: перпендикулярно к лопасти и параллельно ей. Составляющая относительной скорости в направлении вращения лопастей равна  $v_{отн} \cdot \cos \alpha$  ( $\alpha$  – угол наклона лопасти к горизонту).

Осевая составляющая относительной скорости будет равна  $v_{отн} \cos \alpha \sin \alpha$ , а тангенциальная –  $v_{отн} \cos^2 \alpha$  (рисунок 1.2)

Абсолютная скорость материала в тангенциальном направлении, определится уравнением:

$$v_{л} - v_{отн} \cdot \cos^2 \alpha = v_{отн} \cdot \sin^2 \alpha + v_{м}. \quad (2.1)$$

Тангенциальная скорость материала, находящегося между лопастями относительно окружающей среды, будут равна  $v_{отн} \cdot \sin^2 \alpha$ .

Поскольку под влиянием центробежных сил тангенциальное течение переходит в радиальное, радиальная скорость потока будет равна  $v_{отн} \cdot \sin^2 \alpha$ .

Радиальный поток материала через лопасти определяют произведением боковой поверхности цилиндра  $\pi L b \sin \alpha$  и радиальной скорости слоя

$$V_{ос} = \int_0^L \omega_{отн} \cdot \frac{L}{2} \sin \alpha \cos \alpha \pi L d \left( \frac{L}{2} \right) = \frac{\pi}{24} \omega_{отн} L^3 \cdot \sin 2\alpha \quad (2.2)$$

Из приведенных уравнений вытекает, что для одних и тех же размеров лопастей ( $L$  и  $b$ ) действие их будет зависеть от числа оборотов в минуту и угла наклона к горизонтальной плоскости.

При установке лопастей параллельно днищу, т.е. с углом  $\alpha = 0$ , будем иметь  $V_{рад} = V_{ос} = 0$ , т. е. циркуляция материала в смесителе отсутствует. В этом случае лопасти передают количество движения за счет тангенциального напряжения в направлении, перпендикулярном их движению, и поэтому в смесителе будем иметь послойное движение продукта.

С увеличением угла наклона от 0 до 45° осевой и радиальный потоки через лопасти возрастают, следовательно, будет возрастать и интенсивность процесса

смешивания. Для перехода среды в псевдооживленное состояние и увеличения степени разрыхления слоя необходимо, чтобы осевой поток материала через лопасть был максимальным. Из формулы (2.2) находим, что для выполнения указанного условия  $\sin 2\alpha$  должен равняться единице, т. е.  $\alpha = 45^\circ$ .

При углах наклона лопастей свыше  $45^\circ$  осевой поток материала начинает уменьшаться, а радиальная скорость  $v_{\text{отн}} \cdot \sin^2 \alpha$  частиц быстро возрастать, способствуя созданию и углублению воронки в центре слоя. В результате уменьшения взвешивающего действия лопастей на слой, переход сыпучих кормов в псевдооживленное состояние затрудняется.

## **2.2 Закономерности перехода сыпучих кормов в псевдооживленное состояние**

При различном числе оборотов в минуту рабочего органа среда сыпучих кормов происходит несколько этапов изменения своего физического состояния, различающихся формой свободной поверхности, объемной плотностью, и характером циркуляции потока частиц.

Физико-механические свойства среды, объемная плотность, гидромеханическое сопротивление слоя являются тесно связанными параметрами, характеризующими состояние сыпучих кормов.

Увеличение окружной скорости лопасти до 4-4,5 м/с вызывает рост значений параметров слоя, что означает его уплотнение. По достижении такой окружной скорости лопасти происходит также резкое увеличение объема слоя. Сыпучая среда переходит в так называемое псевдооживленное состояние, сходное с тем, которое получается при продувке газа через слой. Переход из уплотненного состояния в псевдооживленное сопровождается уменьшением объемной плотности сыпучих кормов. Резкое уменьшение перепада давления объясняется снижением коэффициента гидродинамического сопротивления за счет увеличения пористости слоя. Вследствие увеличения расстояния между

частицами происходит уменьшение связей, наложенных на частицу, и она приобретает большую свободу перемещения. В таком состоянии среды лопасти перемещаются с затратой меньшей энергии.

Благодаря вращательному движению перемешиваемого слоя возникает центробежная сила, способствующая образованию воронки в центре слоя. В конце режима псевдооживления воронка углубляется настолько, что достигает лопастей и дна смесителя. Воздушный поток устремляется по пути наименьшего сопротивления, вызывая фонтанирование материала в центре слоя. Вследствие уменьшения взвешивающего действия лопасти и воздуха резко повышается объемная плотность среды и нарушается псевдооживление слоя. Увеличение внутреннего и внешнего трения в данном режиме уплотнения вызывает резкий скачок потребной мощности. Указанное состояние появляется при окружных скоростях порядка 7 – 8 м/с.

Существенное влияние на изменение параметров состояния слоя оказывают физико-механические свойства сыпучих кормов: удельный вес, дисперсный состав, влажность, форма, характер поверхности частиц, расстояние между ними, однородность частиц и др. Из результатов исследований вытекает, что при одной и той же частоте вращения лопасти изменение объемной плотности овса и ячменя происходит в меньших пределах, чем у комбикорма и гороха. Это объясняется различной концентрацией материала в объеме слоя, неоднородностью частиц, легкостью образования в слое воздушных каналов.

Таким образом, по характеру изменения перечисленных параметров можно выделить три основных состояния сыпучих кормов:

I – уплотненное состояние сыпучей среды, перемешивание в которой происходит без нарушения внутренних контактов между частицами. Уплотнение материала отрицательно сказывается на скорости процесса смешения, так как увеличивает внутреннее трение и снижает подвижность отдельных частиц. Под действием сил внутреннего трения каждый движущийся элементарный слой сыпучего материала приводит в движение соседние отдаленные лопасти слоя.



Смешивание происходит в зоне действия лопастей и на границе слоев, движущихся с разной скоростью относительно друг друга. Грубое смешивание является пределом при работе в данном режиме;

II – псевдооживленное состояние сыпучей среды, перемешивание в которой происходит с нарушением контактов между частицами. Для этого состояния характерна интенсивная циркуляция всей смеси по спиральным траекториям. В результате уменьшения внутреннего диффузионного сопротивления скорость массообменных процессов резко возрастает. Этот режим работы как показала киносъемка, создает благоприятные условия для смесеобразования на уровне микрообъемов. Интенсивное перемешивание материала является важной особенностью псевдооживленного слоя;

III – уплотненное состояние в поле центробежных сил. В этом случае в смесителе наблюдается преимущественно круговое движение материала. Воздействие лопастей происходит на небольшой поверхности, вследствие чего циркуляция и интенсивность смешивания невысокие.

### **2.3 Влияние геометрических параметров смесителя на процесс псевдооживления**

С увеличением частоты вращения лопастей в режиме псевдооживления достигается оптимальное число оборотов в минуту, при котором распределение компонентов оказывается наиболее равномерным. Окружная скорость лопастей  $V_{\text{раб}}$ , соответствующая оптимальным условиям смесеобразования, будет равна:

$$V_{\text{раб}} = (1,2 \div 1,4) V_{\text{кр}}, \text{ м/с} \quad (2.3)$$

где  $V_{\text{кр}}$  – критическая скорость псевдооживления, т. е. окружная скорость лопастей, при которой слой переходит в псевдооживленное состояние.

Дальнейшее повышение частоты вращения лопастей приводит к увеличению глубины воронки и нарушению псевдооживления, вследствие чего равномерность распределения частиц ухудшается.

В результате эксперимента обнаружено, что переход сыпучих кормов в устойчивое состояние возможен при углах наклона лопастей  $45^\circ$  и меньше. С увеличением величины  $\alpha$  до  $45^\circ$  псевдооживление слоя наступает при меньших окружных скоростях, а степень разрыхления материала увеличивается. Благоприятные условия для смесеобразования и наиболее интенсивная циркуляция сыпучих кормов создаются при  $\alpha$ , равном  $45^\circ$ .

Изменение размаха лопастей (при сохранении их ширины и зазора между лопастью и стенкой корпуса) не влияет на критическую скорость псевдооживления, но существенно сказывается на величине потребной мощности.

С увеличением размаха лопастей  $L$  возрастает поверхность воздействия рабочего органа на среду. Если диаметр корпуса  $D$  остается постоянным, то увеличение размаха лопастей приводит к повышению степени разрыхления и уменьшению критической скорости псевдооживления. При постоянной частоте вращения лопасти, наиболее равномерное распределение компонентов возникает в том случае когда зазор  $S$  между концом лопасти и стенкой корпуса достигает некоторой оптимальной величины.

Для интенсификации процессов тепло- и массообмена, процессов смешения сыпучих материалов, агломерации, гранулирования и других процессов широко используются аппараты с псевдооживленным слоем (ПС) зернистого материала (взвешенный, кипящий слой).

$$\omega = \frac{V}{f_a}, \quad (2.4)$$

где  $V$  – объемный расход сжижающего агента,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $f_a = \frac{\pi d^2}{4}$  = площадь поперечного сечения аппарата,  $\text{м}^2$ ;  $d$  – диаметр поперечного сечения аппарата,  $\text{м}$ .

Все расчеты по определению параметров псевдооживленного слоя основаны именно на использовании скорости оживающего агента (2.4). Это

связано с тем, что измерить действительную скорость воздуха в промежутках между твердыми частицами трудно.

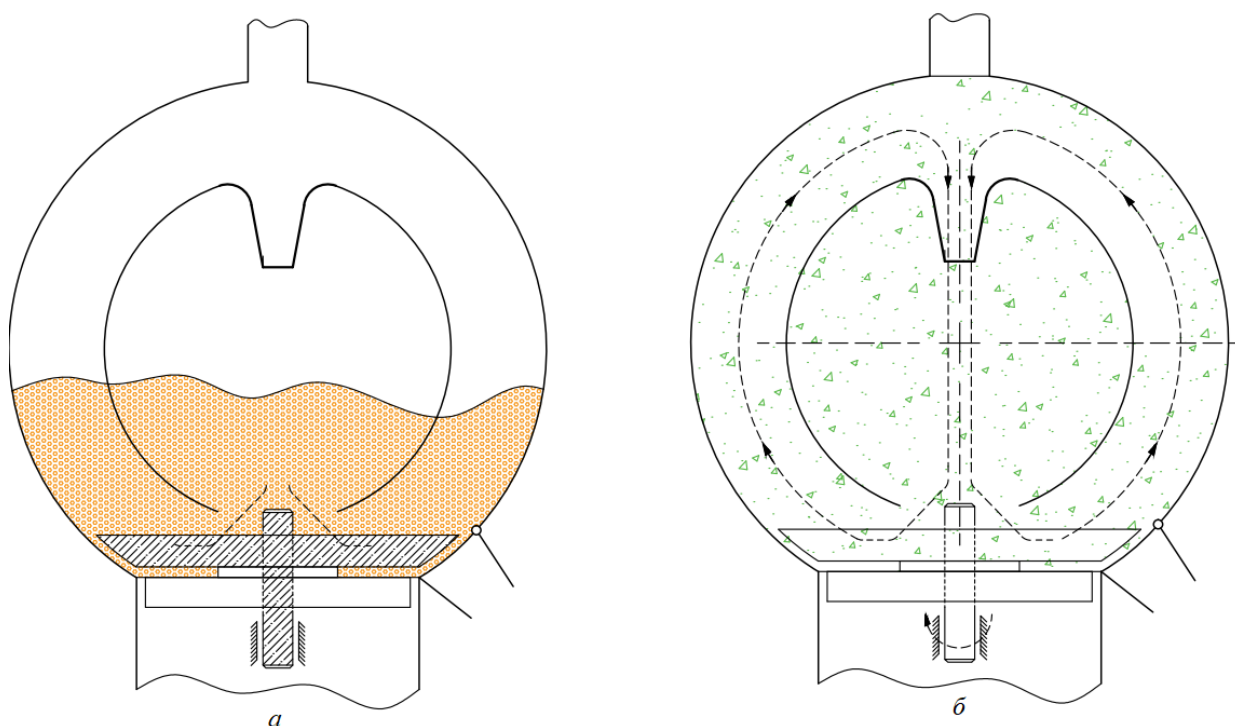


Рисунок 2.2 – Изменение структуры слоя в зависимости от скорости оживающего агента: а – неподвижный слой; б – псевдоожиженный слой.

При скоростях потока ниже первой критической  $\omega_{кр}^1$  (скорость начала псевдоожижения) слой остается неподвижным (НС). Оживающий агент движется через слой в режиме фильтрации.

При достижении оживающим агентом первой критической скорости  $\omega_{кр}^1$  слой переходит в ПС. При этом твердые частицы начинают перемещаться по слою. Дальнейшее увеличение скорости приводит к увеличению высоты слоя (слой расширяется).

Расширение ПС характеризуется порозностью  $\varepsilon$ , которая определяется как отношение объема пустот  $V_{п}$  в слое к объему всего слоя  $V_{сл}$

$$\varepsilon = \frac{V_{п}}{V_{сл}} = \frac{V_{сл} - V_{т}}{V_{сл}} = 1 - \frac{V_{т}}{V_{сл}} \quad (2.5)$$

где  $V_T$  – объем, занимаемый твердыми частицами в слое,  $\text{м}^3$ ;  $V_{\text{сл}} = f_a H$  – объем слоя ( $H$  – высота псевдоожиженного слоя),  $\text{м}^3$ .

Известно, что порозность неподвижного слоя твердых частиц одинакового диаметра составляет приблизительно 0,4. В процессе псевдоожижения объем остается величиной постоянной, следовательно, его можно определить по параметрам неподвижного слоя

$$V_T = f_a H_0 (1 - \varepsilon_0) \quad (2.6)$$

где  $H_0$  – высота неподвижного слоя частиц.

Подставим (2.6) и (2.5), получим формулу для расчета порозности по измеренным значениям высот слоя

$$\varepsilon = 1 - \frac{f_a H_0 (1 - \varepsilon_0)}{f_a H} = (1 - \varepsilon_0) \frac{H_0}{H}. \quad (2.7)$$

Из формулы (2.7) видно, что с увеличением скорости ожижающего агента порозность слоя растет. При скорости, предельной для псевдоожиженного слоя, можно считать, что  $V_{\text{сл}} \geq V_T$ , следовательно,  $\varepsilon = 1$ . Таким образом, псевдоожиженный слой может существовать в пределах от  $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$  ( $\omega < \omega_{\text{кр}}^1$ ) до  $\varepsilon = 1$  ( $\omega \geq \omega_{\text{кр}}^1$ ).

С некоторым приближением эти пределы можно принять и для частиц неправильной формы.

Слой твердых частиц является для ожижающего агента гидравлическим сопротивлением, следовательно дифференциальным манометром можно измерить перепад давления, возникающий при движении ожижающего агента через этот слой.

На рисунок 2.3 показаны графики типичных изменений гидравлического сопротивления слоя  $\Delta P$  и порозности  $\varepsilon$ .

В момент начала псевдоожижения вес зернистого материала, приходящейся на единицу площади поперечного сечения аппарата, уравновешивается силой гидравлического сопротивления слоя

$$\Delta P_c = \frac{G_c}{f_a}, \quad (2.9)$$

где  $G_c$  – вес материала в слое  $H$ .

С учетом архимедовых сил, используя формулы (3) и (5), получим

$$\Delta P_c = gH_0(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)(1 - \varepsilon_0). \quad (2.10)$$

Так как сопротивление ПС остается величиной постоянной, то его можно определить по формуле (6) для любого значения  $\varepsilon$

$$\Delta P_c = gH(\rho_{\text{ч}} - \rho_c)(1 - \varepsilon_0). \quad (2.11)$$

Если  $\rho_{\text{ч}} \gg \rho_c$  (например система газ-твердые частицы), то формулу (2.11) можно записать

$$\Delta P_c = gH_0\rho_{\text{ч}}(1 - \varepsilon_0). \quad (2.11)$$

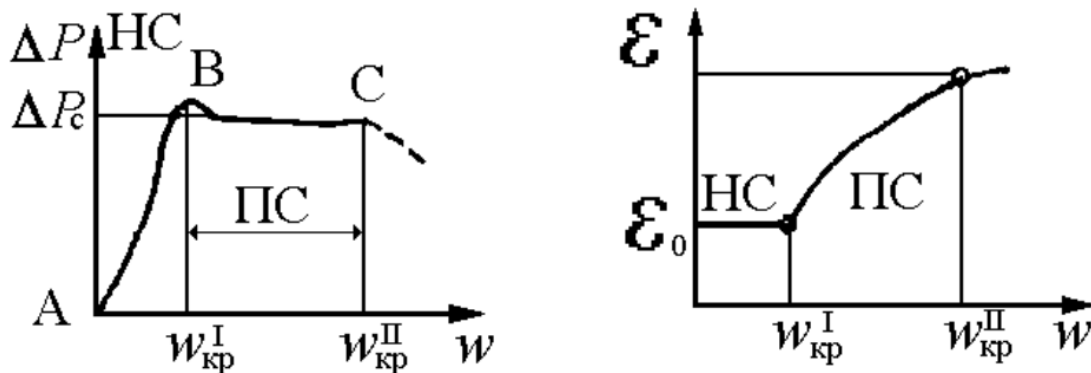


Рисунок 2.3 – Зависимости: а –  $\Delta P = f(w)$ ; б –  $\varepsilon = f(w)$

Из графика (рисунок 2.3) видно, что гидравлическое сопротивление псевдо-оживленного слоя остается величиной постоянной и не зависит от скорости оживающего агента. Это постоянство обусловлено тем, что для частиц, находящихся во взвешенном состоянии, выполняется следующее соотношение

$$G = R + A, \quad (2.12)$$

где  $\xi \frac{\rho_c \omega_g^2}{2} f$  – сила сопротивления твердой частицы, Н;  $G = mg = V_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}} g$  – сила тяжести, Н;  $A = V_{\text{ч}} \rho_c g$  – сила Архимеда, Н;  $\xi$  – коэффициент сопротивления твердой частицы (зависит от режима обтекания);  $f$  – площадь поперечного сечения частицы,  $\text{м}^2$ ;  $m$  – масса частицы, кг;  $\rho_c$  – плотность оживающего агента,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $V_{\text{ч}}$  – объем твердой частицы,  $\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность твердых частиц,

кг/м<sup>3</sup>;  $\omega_g = \frac{\omega}{\varepsilon}$  – действительная скорость ожижающего агента в промежутках между частицами м/с.

Таким образом

$$R = G - A, \quad (2.13)$$

Откуда

$$\xi \frac{\rho_c \omega_g^2}{2} f = V_{\text{ч}} g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}}). \quad (2.14)$$

Поделив правую и левую части уравнения (2.14) на  $f$  и подставив в него значения  $\omega_g$ , получим

$$\xi \frac{\rho_c \omega^2}{2\varepsilon^2} = \frac{V_{\text{ч}} g (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{с}})}{f}, \quad (2.15)$$

или при  $\rho_{\text{ч}} \gg \rho_{\text{с}}$

$$\Delta P = \frac{V_{\text{ч}} g \rho_{\text{ч}}}{f} = \frac{mg}{f}. \quad (2.16)$$

Из формулы (2.16) следует, что перепад давления, возникающий при псевдооживлении твердой частицы, равен массе частицы, деленной на площадь поперечного сечения частицы. Следовательно, когда все частицы слоя перейдут в псевдооживленное состояние, перепад давления:

$$\Delta P = \frac{G_{\text{с}}}{f_{\text{а}}}, \quad (2.17)$$

где  $G_{\text{с}}$  – вес частицы слоя, Н.

Из уравнений (2.16) и (2.17) видно, что перепад давления для псевдооживленного слоя есть величина постоянная, независящая от скорости газа. Это постоянство для слоя объясняется тем, что при повышении расхода ожижающего агента происходит одновременное увеличение порозности слоя, а следовательно, действительная скорость ожижающего агента между частицами остается величиной постоянной (см. формулы (2.14) и (2.15)).

Расчет критических скоростей для псевдооживленного слоя проводится с использованием зависимости между критериями Лященко и Архимеда (рисунок 2.4) [45]:

$$Ly = f(Ar) \quad (2.18)$$

Где  $Lu = \frac{\omega^3 \rho_c^2}{\mu_c (\rho_q - \rho_c) g}$  – критерий Лященко;  $Ar = \frac{d^3 \rho_c (\rho_q - \rho_c) g}{\mu_c^2}$  – критерий Архимеда;  $\mu_c$  – динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Для расчета критических скоростей можно воспользоваться формулой Годеса, полученной из анализа экспериментальных данных:

$$Re = \frac{Ar \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar} \varepsilon^{4,75}}, \quad (2.19)$$

где  $Re = \frac{\omega d_q \rho_c}{\mu_c}$  – критерий Рейнольдса.

Для расчета скорости начала псевдооживления ( $\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,4$ )

$$Re_{кр}^1 = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}} \quad (2.20)$$

где  $Re_{кр}^1 = \frac{\omega_{кр}^1 d_q \rho_c}{\mu_c}$ .

Для частиц неправильной формы вместо  $d_q$  используется эквивалентный диаметр  $d_э$ . Эквивалентный диаметр для частиц неправильной формы вычисляют как диаметр условного шара  $d_{ш}$ , объем которого  $V$  / равен объему реальной частицы, умноженному на фактор формы  $\varphi$ ,

$$d_э = d_{ш} \varphi, \quad (2.21)$$

где  $d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$  – диаметр условного шара, м;  $\varphi = \frac{f_{ш}}{f_p} = \frac{\pi d_{ш}^2}{f_p}$  – фактор формы;  $f_p$  – поверхность реальной частицы, м<sup>2</sup>.

Фактор формы вычисляется как отношение поверхности частицы к диаметром  $d_{ш}$  к поверхности реальной частицы, причем фактор формы всегда меньше или равен единице.

Для полидисперсного слоя, состоящего из частиц разного диаметра

$$d_э = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i)}, \quad (2.22)$$

где  $n$  – число фракций;  $x_i = M_i / \sum_{\gamma=1}^n M_\gamma$  – массовая доля материала в  $i$ -й фракции;  $M_i$  – масса материала, кг [45].

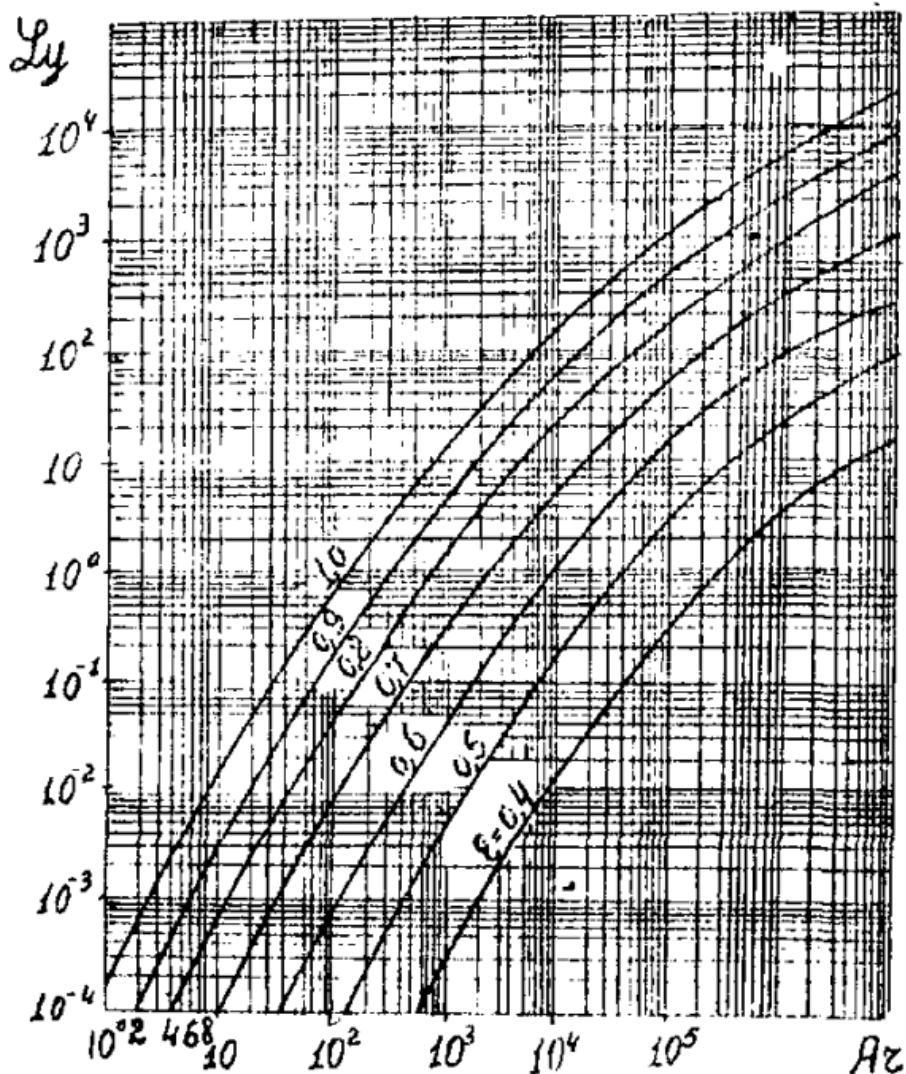


Рисунок 2.3 – Зависимость критерия  $Lu$  от критерия  $Ar$  и порозности слоя  $\varepsilon$  [45]

## 2.4 Кинетика процесса смешивания в псевдоожиженном слое

Процесс смешивания в смесителе осуществляется посредством постоянного воздействия какого-либо органа на материал. Если смешивание начать с упорядоченного расположения частиц, то естественно, перемешивание разрушит это единообразие, сделает расположение отдельных частиц случайным.

Если в смесителе частицы движутся независимо друг от друга и вероятность попадания каждой из них в любое место смеси одинаково, то конечное распределение компонентов, получаемое при этом, считается



равномерным, а смесь принимается как однородная. Это идеальный случай работы смесителей.

Смешивающий эффект смесителя характеризует степень его совершенства и показывает, какую долю однородной смеси способна приготовить машина. Значение смешивающего эффекта определяется отношением действительной и теоретической (предельной) степени смешивания

$$\Xi = \frac{M_{\text{реал}}}{M_{\text{одн}}} \leq 1 \quad (2.24)$$

Степень смешивания как критерий качества процесса должен содержать информацию не только об объективном состоянии смеси но и возможности применимости ее.

Общее выражение для степени смешивания можно представить как:

$$M = \sum_0^{x_{\text{max}}} P(x, m) \cdot \Pi(x, m) \quad (2.25)$$

где  $P(x, m)$  – вероятность появления в элементарном объеме смеси из  $n$  частиц – равно  $x$  частиц определенного компонента, характеризует распределение компонентов при исследовании смеси, разделенной на  $m$  элементов;  $\Pi(x, m)$  - вероятность применения элемента смеси, содержащей  $x$  частиц.

Если необходимо чтобы отклонения ожидаемых результатов состава смеси в пробе не превышали какой-либо определенной величины  $\delta$ , то  $M$  можно определить как:

$$M = \sum_{x=(1-\delta)\bar{x}}^{(1+\delta)\bar{x}} P(x, m). \quad (2.26)$$

При идеальных условиях распределение концентрации в смеси соответствует нормальному закону распределения.

На рисунок 2.5 показана кинетика процесса смешивания различных совокупностей. Для реальных смесей, состоящих из разнородных компонентов (кривые 3,4,5) функции  $W_m = f(t)$  имеют экстремум, после которого однородность смеси ухудшается.

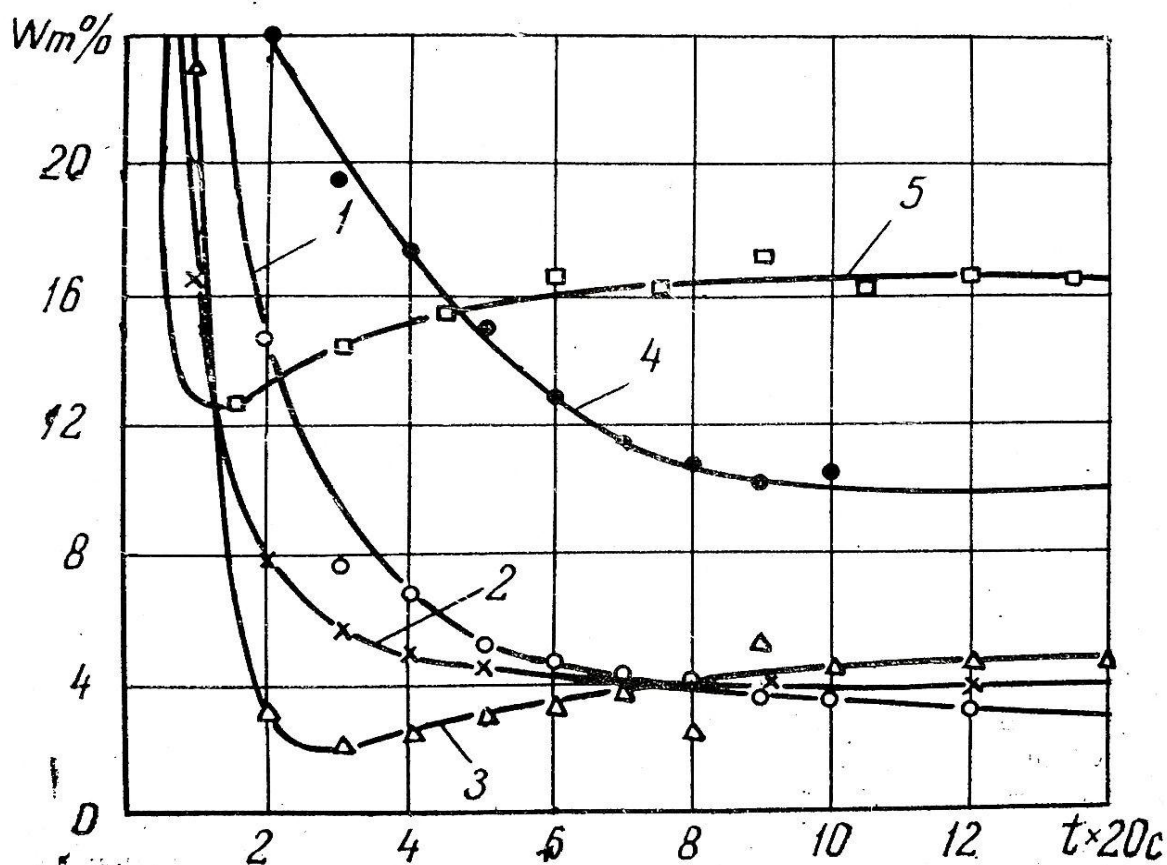


Рисунок 2.5 – Кинетика процесса смешивания различных совокупностей:

1-2 – однородных компонентов с отношением объемов соответственно 1:2 и 1:20; 3 – компонентов с различным удельным весом; 4 – компонентов с разным размером зерен; 5 – компонентов с различным удельным весом и размером зерен; 5 – компонентов с различным удельным весом и размером зерен[45]

Выражение зависимости  $W_m$  от  $t$  показательной функцией не может точно отразить действительную картину развития процесса.

Наиболее точно этот процесс, смешивания можно описать функцией в виде многочлена:

$$W_m = W_{m\infty} \pm \frac{b}{t} + \frac{c}{t^2} \quad (2.27)$$

По результатам выполненных исследований процесса смешивания различными способами и конструкциями смесителей лечебных препаратов, витаминных и минеральных премиксов с наполнителем, с применением математических методов планирования экспериментов установлено три возможных состояния смеси наполнителя и ключевого компонента [61]:

- уплотнение сыпучей среды, которое отрицательно сказывается на процесс смешивания, так как увеличивается внутреннее трение и снижается подвижность отдельных частиц. Это свойство всех лопастных смесителей с горизонтальным и вертикальным расположением вала;

- псевдооживленное состояние сыпучей среды, перемешивание в которой происходит с нарушением контактов между частицами. Для этого состояния характерна интенсивная циркуляция всей смеси по спиральным траекториям. В результате уменьшения внутреннего диффузионного сопротивления скорость массообменных процессов резко возрастает. Этот режим работы, как показала кино съемка, создает благоприятные условия для смесеобразования на уровне микрообъемов. Интенсивное перемешивание материала является важной, положительной особенностью псевдооживленного слоя;

- уплотненное состояние в поле центробежных сил. В этом случае в цилиндрическом горизонтальном или вертикальном корпусе смесителя происходит преимущественно круговое движение материала. Воздействие вращающихся лопастей приводит к образованию слоя на внутренней поверхности корпуса смесителя, вследствие чего циркуляция и интенсивность смешивания невысокие.

В механике работа  $dA$  силы  $\vec{F}$  – это скалярная физическая величина, равная скалярному произведению этой силы на элементарное перемещение тела вдоль участка пути  $dA = (F \cdot dr)$ . Работа  $A_{12}$  силы  $\vec{F}$  на участке траектории между точками 1 и 2 (рисунок 2.6) рассчитывается путем интегрирования элементарной работы  $dA$  по всему участку траектории:

$$A_{12} = \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}) = \int_1^2 (m\vec{g} \cdot d\vec{r}). \quad (2.28)$$

В декартовой системе координат вектор элементарного перемещения можно записать в виде  $d\vec{r} = dx \cdot \hat{i} + dy \cdot \hat{j} + dz \cdot \hat{k}$ . Сила тяжести направлена вертикально вниз, противоположно оси z (рисунок 2.6):  $m\vec{g} \perp \hat{i}$ ,  $m\vec{g} \perp \hat{j}$

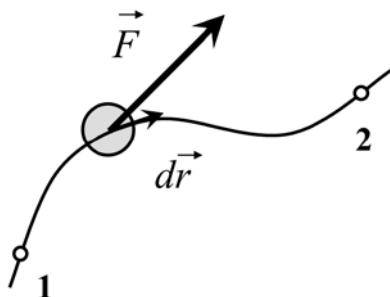


Рисунок 2.6 – Работа  $A_{12}$  силы  $\vec{F}$  на участке траектории между точками 1 и 2

Следовательно,

$$A_{12} = \int_1^2 (m\vec{g} \cdot d\vec{r}) = -\int_1^2 mg \cdot dz = -mg \int_{z_1}^{z_2} dz = mgz_1 - mgz_2$$

или  $A_{12} = mgh_1 - mgh_2$ ,

(2.29)

если  $h_1$  и  $h_2$  – высота, на которой находилось тело в точках 1 и 2 соответственно.

Работа силы тяжести зависит от разности высот ( $h_1 - h_2$ ) на которых расположены начальная и конечная точки участка траектории, и не зависит ни от формы, ни от длины пути, по которому двигалось тело.

Рассчитаем работу силы трения скольжения  $F = \mu |N|$  при перемещении тела вдоль некоторой траектории между точками 1 и 2 ( $|N|$  – модуль силы нормального давления тела на опору,  $\mu$  – коэффициент трения).

$$A_{12} = \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}).$$
(2.30)

Сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную движению (перемещению):  $\vec{F} d\vec{r}$ . Следовательно,

$$A_{12} = \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}) = -\int_1^2 F \cdot dr = -\mu \int_1^2 |N| \cdot dr.$$
(2.31)

Модуль силы нормального давления  $\vec{N}$  по третьему закону Ньютона равен модулю силы реакции опоры  $\vec{R}_{on}$ :  $\vec{N} = -\vec{R}_{on}$ . Сила реакции опоры зависит от того, по какой поверхности движется тело.

Если тело движется по горизонтальной поверхности, сила реакции опоры направлена вертикально вверх (Рисунок 2.7 а), равна  $mg$  и постоянна вдоль всей траектории (из второго закона Ньютона в проекции на ось, перпендикулярную плоскости:  $R_{on} - mg = 0$ ). Тогда модуль силы нормального давления  $|N| = mg$ , а работа силы трения равна:

$$A_{12} = -\mu mg \int_1^2 dr = -\mu mg S_{12} \quad (2.32)$$

где  $S_{12}$  – длина участка траектории между точками 1 и 2.

Из приведенных примеров видно, что при движении тела по плоскости (наклонной или горизонтальной) работа силы трения  $A_{12}$  прямо пропорциональна длине пути  $S_{12}$ , пройденного телом:

$$\frac{A_{12}}{S_{12}} = -\mu mg = \text{const} \quad (\text{при движении по горизонтальной плоскости});$$

$$\frac{A_{12}}{S_{12}} = -\mu mg \cos \alpha \quad (\text{при движении по наклонной плоскости}).$$

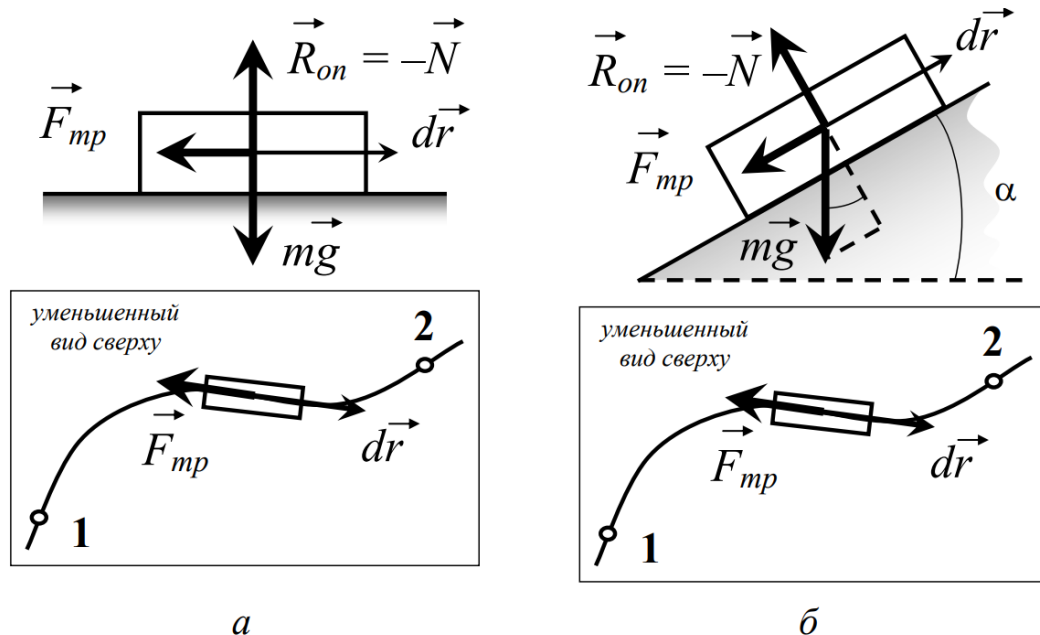


Рисунок 2.7 – Реакция опоры при движении частицы по горизонтальной поверхности [33]

Если во время движения между точками 1 и 2 поверхность, по которой движется тело, меняет свой наклон, то сила нормального давления (сила реакции опоры) будет различна в каждой точке траектории. Тогда работу нужно

вычислять с учетом изменения наклона траектории в каждой точке на интересующем нас участке пути. В общем случае работа силы трения скольжения зависит не только от начального и конечного положения тела, но и от длины пути, по которому оно двигалось. Зависимость работы силы трения от длины пути является линейной (прямо пропорциональной) только при движении тела по плоскости. При движении по опоре другой формы зависимость работы силы трения от длины пути может носить нелинейный характер.

Если на тело массы  $m$  действуют силы  $\sum \vec{F}$ , равнодействующая которых отлична от нуля, то согласно второму закону Ньютона скорость тела изменяется.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum \vec{F} \quad (2.33)$$

Рассчитаем работу  $A_\Sigma$  всех сил, действующих на тело, при движении по участку траектории между точками 1 и 2. С одной стороны, работа – скалярная величина, поэтому работа суммарной силы равна сумме работ всех сил, действующих на тело

$$A_\Sigma = \int_1^2 (\sum \vec{F} \cdot d\vec{r}) = \sum \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}) = \sum A_{i2} \quad (2.34)$$

С другой стороны, из второго закона Ньютона:

$$A_\Sigma = \int_1^2 (\sum \vec{F} \cdot d\vec{r}) = \int_1^2 \left( m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r} \right) = \int_1^2 \left( m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt \right) = m \int_1^2 (d\vec{v} \cdot \vec{v}) \quad (2.35)$$

Рассмотрим дифференциал  $d(\vec{v} \cdot \vec{v}) = (d\vec{v} \cdot \vec{v}) + (\vec{v} \cdot d\vec{v}) = 2(\vec{v} \cdot d\vec{v})$ .

Тогда скалярное произведение  $(\vec{v} \cdot d\vec{v}) = \frac{1}{2} d(\vec{v} \cdot \vec{v}) = \frac{1}{2} d(v^2)$ .

Следовательно, суммарную работу можно вычислить:

$$A_\Sigma = m \int_1^2 (d\vec{v} \cdot \vec{v}) = \frac{m}{2} \int_1^2 d(v^2) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

$$A_\Sigma = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (2.36)$$

Работа – мера изменения энергии. Суммарная работа всех сил, действующих на тело, также была выражена через изменение некоторой

величины  $\frac{mv^2}{2}$ , которая характеризует каждое из состояний 1 и 2 через модуль скорости тела в этих точках траектории. Поскольку работа приводит к изменению величины  $\frac{mv^2}{2}$ , то величина  $E_K = \frac{mv^2}{2}$  – энергия.

Эта энергия характеризует скорость перемещения тела (кинетику) в данной точке, поэтому ее называют кинетической энергией.

$$A_{\Sigma} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \Delta E_K \quad (2.37)$$

Как было показано выше, работа всех сил  $\sum \vec{F}$ , действующих на тело, при движении по участку траектории между точками 1 и 2 с одной стороны равна сумме работ этих сил

$$A_{\Sigma} = \sum A_{12} \quad (2.38)$$

С другой стороны, эта работа ведет к изменению кинетической энергии тела:

$$A_{\Sigma} = \Delta E_K \Rightarrow \Delta E_K = \sum A_{12} \quad (2.39)$$

Это один из вариантов записи закона сохранения энергии: чтобы изменить кинетическую энергию тела (или системы тел) необходимо совершить ненулевую работу.

Изменение кинетической энергии тела (или системы тел) происходит за счет изменения потенциальной энергии тела и за счет работы неконсервативных сил.

Запишем полученное выражение через значения кинетической и потенциальной энергии в точках 1 и 2:

$$\begin{aligned} \Delta E_K &= E_{K_2} - E_{K_1}, \quad -\Delta U = U_1 - U_2 \\ E_{K_2} - E_{K_1} &= U_1 - U_2 + \sum A_{12}^{\text{НЕКОН}} \\ &\text{или} \\ E_{K_2} + U_2 &= E_{K_1} + U_1 + \sum A_{12}^{\text{НЕКОН}}. \end{aligned} \quad (2.40)$$

Полной механической энергией  $E$  тела (системы тел) в данной точке называется сумма кинетической и потенциальной энергии этого тела с учетом всех потенциальных сил, действующих на тело.

$$E = E_K + U \quad (2.41)$$

Если на тело не действуют неконсервативные силы ( $\sum A_{12}^{\text{НЕКОН}} = 0$ ), то полная механическая энергия сохраняется:

$$E_{K_2} + U_2 = E_{K_1} + U_1 \Rightarrow E_2 = E_1 \quad (2.42)$$

Если на тело действуют неконсервативные силы, то полная механическая энергия тела (системы тел) уменьшается:

$$E_{K_2} + U_2 = E_{K_1} + U_1 + \sum A_{12}^{\text{НЕКОН}} \Rightarrow E_2 = E_1 + \sum A_{12}^{\text{НЕКОН}}$$

или  $E_2 - E_1 = \sum A_{12}^{\text{НЕКОН}}$ .

(2.43)

Силы, работа которых на любом участке пути является отрицательной, называются диссипативными. Работа диссипативных сил ведет к уменьшению полной механической энергии системы, то есть к потерям (диссипации) энергии. Примером диссипативных сил является сила трения скольжения.

Направляющая, по которой движется тело, имеет два участка различной формы. Так как сила трения скольжения – это неконсервативная сила, то ее работа зависит как от формы, так и от длины пути, по которому движется тело.

Рассмотрим работу силы трения скольжения  $F = \mu |N|$ . Сила трения всегда направлена в сторону, противоположную движению, поэтому работа силы трения всегда отрицатель:

$$A = \int_1^2 (\vec{F} \cdot d\vec{r}) = -\mu \int_1^2 |N| \cdot dr, \quad (2.44)$$

$\mu$  – коэффициент трения,  $|N|$  – модуль силы нормального давления тела на опору, который по третьему закону Ньютона равен модулю силы реакции опоры  $\vec{R}_{on}: \vec{N} = -\vec{R}_{on}$  или  $\vec{N} = |\vec{R}_{on}|$ .



При движении по горизонтальному прямолинейному участку направляющей длиной  $L$  сила реакции опоры  $\vec{R}_{on}$  направлена вертикально вверх (рисунок 2.8a) и одинакова во всех точках, через которые проходит тело. Следовательно,  $|N| = mg$ . Смещение тела  $dr$  происходит в одном направлении  $dr = dl$ . Пусть длина прямолинейного участка направляющей, по которой двигалось тело, равна  $L$ , тогда работу силы трения на этом участке можно записать как:

$$A_{np} = -\mu \int_1^2 |N| \cdot dr = -\mu \int_0^L mg \cdot dl = -\mu mg \int_0^L dl = -\mu mgL \quad (2.45)$$

Таким образом, работа силы трения скольжения на горизонтальном прямолинейном участке направляющей прямо пропорциональна длине пройденного телом пути.

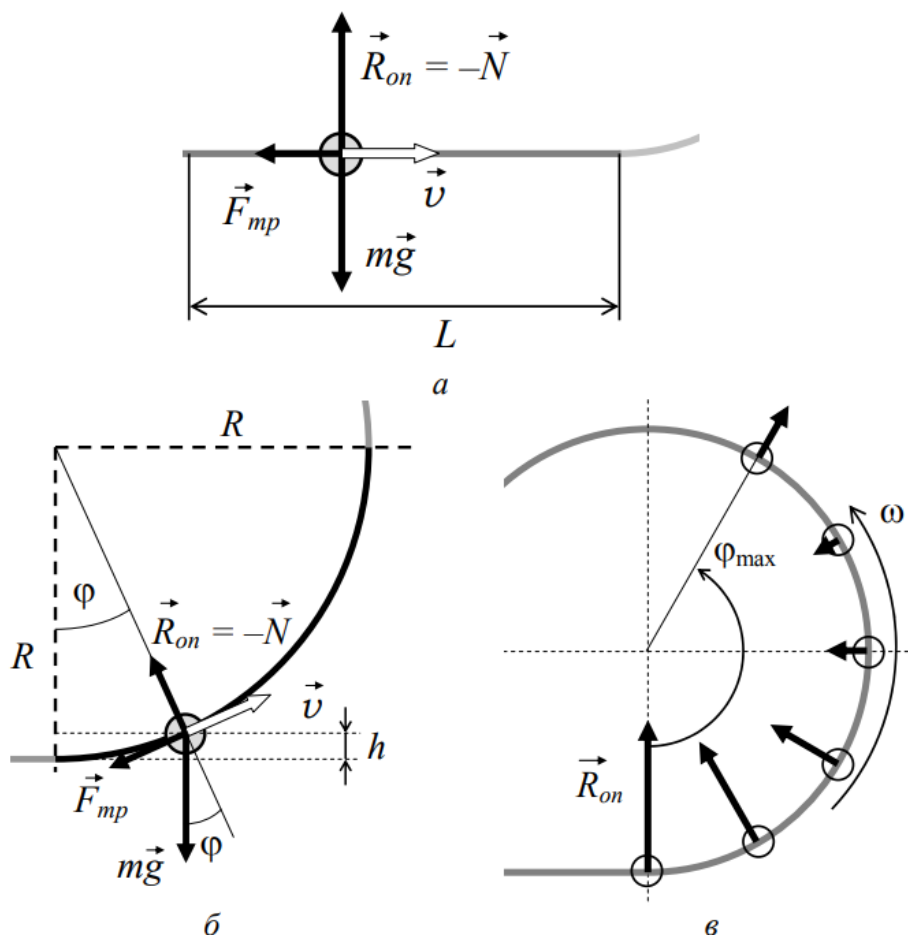


Рисунок 2.8 – Направление движения частицы

При движении по круговому участку направляющей сила реакции опоры  $\vec{R}_{on}$  направлена вдоль радиуса окружности (к центру или от нее). Положение тела

на окружности (рисунок 2.8б) удобно задавать в полярных координатах  $R$  и  $\varphi$  ( $R$  – радиус окружности,  $\varphi$  – полярный угол, за нулевое значение которого примем положение, когда тело переходит с прямолинейного участка направляющей на круговой – самое нижнее положение на круговом участке направляющей).

Чтобы определить модуль силы реакции опоры  $|R_{on}|$ , запишем второй закон Ньютона =  $m\vec{a} = \sum \vec{F}$  в проекции на радиальное направление (в полярных координатах):

$$ma_r = \sum F_r \text{ или } mR\omega^2 = R_{on} - mg \cos\varphi, \quad (2.46)$$

Где  $\sum F_r$  – , сумма радиальных проекций всех сил, действующих на тело,

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$  – угловая скорость движения тела по окружности,

$a_r = R\omega^2 = \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2$  – центростремительное ускорение,

$R = const$  – радиус окружности; сила трения направлена по касательной, перпендикулярно радиусу, поэтому ее проекция на радиальное направление равна нулю.

Тогда сила реакции опоры:  $R_{on} = m(R\omega^2 + g \cos\varphi)$ .

Проанализируем изменение силы реакции опоры при подъеме по круговому участку направляющей.

При подъеме по круговому участку направляющей угловая скорость  $\omega$  постепенно уменьшается от некоторого значения до нуля в точке наивысшего подъема  $\varphi_{\max}$ , которой соответствует высота  $h_{\max}$ .

Полярный угол  $\varphi$  при этом возрастает от 0 до  $\varphi_{\max}$ . С ростом  $\varphi$  величина  $g \cos \varphi$  уменьшается и при  $\varphi > \pi/2$  становится отрицательной.

Учитывая, что центростремительное ускорение  $R\omega^2$  положительная величина, очевидно, что сила реакции опоры при переходе тела с прямолинейного участка на круговой ( $\varphi = 0$ ) максимальна и направлена вертикально вверх (к центру окружности). По мере продвижения тела по круговому участку направляющей сила реакции опоры будет уменьшаться (рисунок 2.9в). При подъеме на высоту  $h$ , которой соответствует полярный угол

$\varphi > \pi/2$ , сила реакции опоры  $R_{on} = m(R\omega^2 - g |\cos\varphi|$  может стать отрицательной, то есть сменит направление (от центра окружности).

Поэтому при расчете работы силы трения необходимо учитывать модуль силы реакции опоры

$$|R_{on}| = m |R\omega^2 + g \cos\varphi|. \quad (2.47)$$

Тогда работа силы трения между точками 1 ( $h = 0, \varphi = 0$ ) и 2 ( $h = h_{max}, \varphi = \varphi_{max}$ ):

$$A_{кр} = -\mu \int_1^2 |N| \cdot dr = -\mu m \int_1^2 |R\omega^2 + g \cos\varphi| \cdot dr \quad (2.48)$$

Перемещение тела происходит по окружности, поэтому  $dr = R d\varphi$ . Тогда чтобы вычислить работу силы трения по круговому участку от точки 1, где  $\varphi = 0$ , до точки максимального подъема  $\varphi = \varphi_{max}$ , необходимо рассчитать интеграл:

$$A_{кр} = -\mu m \int_1^2 |R\omega^2 + g \cos\varphi| \cdot dr = -\mu m R \int_0^{\varphi_{max}} |R\omega^2 + g \cos\varphi| \cdot d\varphi, \quad (2.49)$$

Обозначим

$$I(\varphi_{max}) = \int_0^{\varphi_{max}} |R\omega^2 + g \cos\varphi| \cdot d\varphi = \int_0^{\varphi_{max}} |R_{on} / m| \cdot d\varphi, \quad (2.50)$$

Тогда работу силы трения можно записать в виде:

$$A_{кр} = \mu m R I(\varphi_{max}) \quad (2.51)$$

Чтобы рассчитать интеграл  $I(\varphi_{max})$ , необходимо знать зависимость угловой скорости от полярного угла  $\omega = \omega(\varphi)$ . Эту зависимость можно получить либо из второго закона Ньютона в проекции на орт полярного угла, либо из экспериментальных данных. И в том и в другом случае задача сводится к численному интегрированию.

Полученное выражение позволяет качественно проанализировать работу силы трения скольжения при движении по круговому участку направляющей:

$$A_{\text{кр}} = -\mu m R \int_0^{\varphi_{\text{max}}} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi \quad (2.52)$$

Зависимость работы силы трения от массы движущегося тела и коэффициента трения. Запишем выражение для работы силы трения при подъеме тела до некоторой точки, описываемой полярным углом  $\varphi_0 \leq \varphi_{\text{max}}$ ,

$$A_{\text{кр}}(\varphi_0) = -\mu m R \int_0^{\varphi_0} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi \text{ или } A_{\text{кр}}(\varphi_0) = -\mu m R I(\varphi_0),$$

$$\text{где } I(\varphi_0) = \int_0^{\varphi_0} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi. \quad (2.53)$$

Интеграл  $I(\varphi_0)$  не зависит ни от массы тела  $m$ , ни от коэффициента трения  $\mu$ . Следовательно, работа силы трения на круговом участке прямо пропорциональна коэффициенту трения и массе тела (также как и на линейном участке, и при движении по плоскости).

Зависимость работы силы трения от длины пути, пройденного телом. Характер зависимости работы силы трения от длины пройденного телом пути определяется интегралом

$$I(\varphi_0) = \int_0^{\varphi_0} |R\omega^2 + g \cos \varphi| \cdot d\varphi. \quad (2.54)$$

Модуль – положительная величина, поэтому для одной и той же зависимости  $\omega = \omega(\varphi)$  значение интеграла  $I(\varphi_0)$  будет возрастать с увеличением длины интервала интегрирования  $[0, \varphi_0]$ . Длина пути при движении по участку окружности  $[0, \varphi_0]$  равна  $R\varphi_0$ . Следовательно, с ростом длины пути, пройденного телом по круговому участку направляющей, возрастает интервал интегрирования и значение интеграла  $I(\varphi_0)$ . Таким образом, чем больше длина пути, пройденного телом по круговому участку направляющей, тем больше модуль работы силы трения. Однако характер этой зависимости нелинейный, так как в процессе движения изменяется сила реакции опоры.

Проанализируем взаимосвязь характера зависимости (возрастания) модуля работы силы трения с характером изменения силы реакции опоры. В начале пути по круговому участку направляющей сила трения максимальна, поэтому модуль работы силы трения резко возрастает. По мере подъема сила трения уменьшается (рисунок 2.8), и работа силы трения увеличивается медленнее. В области, где сила реакции опоры меняет направление, сила трения вновь начинает возрастать, а работа силы трения начнет увеличиваться быстрее (рисунок 2.9). Таким образом, зависимость модуля работы силы трения от длины пути при движении по круговому участку направляющей является нелинейной в отличие от движения на линейном участке или на плоскости.

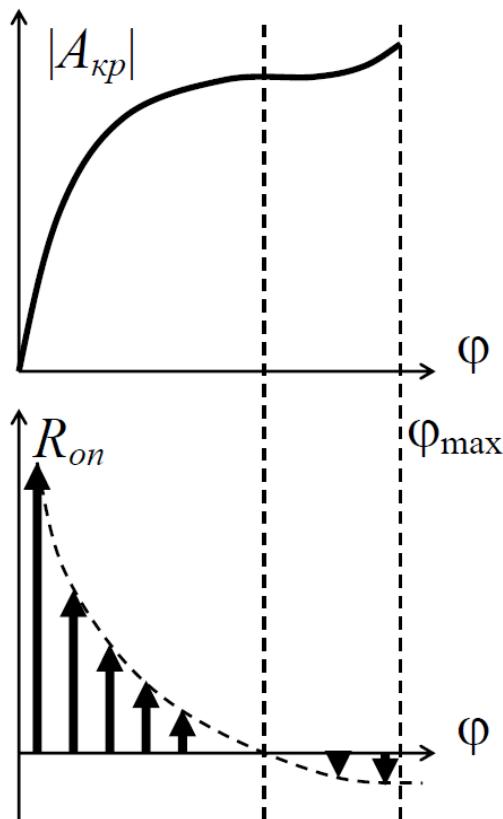


Рисунок 2.9 – Работа силы трения

Зависимость работы силы трения от радиуса  $R$  направляющей можно проанализировать самостоятельно.

Для количественного анализа рассмотрим, как можно рассчитать интеграл  $I(\varphi_{max})$  по экспериментально полученной зависимости  $\varphi(t)$  полярного угла от времени при движении по круговому участку направляющей.

Для численного расчета интеграла:

$$I(\varphi_{\max}) = \int_0^{\varphi_{\max}} |R\omega^2(\varphi) + g \cos \varphi| \cdot d\varphi = \int_0^{\varphi_{\max}} |R_{on} / m| \cdot d\varphi \quad (2.55)$$

На интервале интегрирования  $[0, \varphi_{\max}]$  выбирают некоторое (достаточно большое) количество точек  $0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k, \dots, \varphi_{\max}$ . Тогда искомый интеграл  $I(\varphi_{\max})$  можно представить как сумму интегралов:

$$\begin{aligned} I(\varphi_{\max}) &= \int_0^{\varphi_{\max}} |R_{on} / m| \cdot d\varphi = \int_0^{\varphi_1} |R_{on} / m| \cdot d\varphi + \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} |R_{on} / m| \cdot d\varphi + \dots \\ &+ \int_{\varphi_{k-1}}^{\varphi_k} |R_{on} / m| \cdot d\varphi + \dots + \int_{\varphi_{\max-1}}^{\varphi_{\max}} |R_{on} / m| \cdot d\varphi = \sum_{i=1}^{\max} \int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} |R_{on} / m| \cdot d\varphi \end{aligned} \quad (2.56)$$

Если каждый из отрезков  $[\varphi_{i-1}, \varphi_i]$  можно считать малым, то силу реакции опоры  $|R_{on}/m_{cp}|_{cp_i}$ , отнесенную к массе тела, на этом отрезке можно считать постоянной и равной  $|R_{on}/m_{cp}|_{cp_i}$  – среднему значению на отрезке  $[\varphi_{i-1}, \varphi_i]$ .

Тогда интеграл:

$$\int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} |R_{on} / m| \cdot d\varphi \approx |R_{on} / m|_{cp_i} \int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} d\varphi = |R_{on} / m|_{cp_i} (\varphi_i - \varphi_{i-1}) = |R_{on} / m|_{cp_i} \Delta\varphi_i. \quad (2.57)$$

Следовательно, искомый интеграл  $I(\varphi_{\max})$  можно приближенно рассчитать как

$$I(\varphi_{\max}) \approx \sum_{i=1}^{\max} |R_{on} / m|_{cp_i} \Delta\varphi_i, \quad (2.58)$$

Где

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1}, \text{ а } |R_{on} / m|_{cp_i} = \left| R\omega_{cp_i}^2 + g \cos \varphi_{cp_i} \right|. \quad (2.59)$$

Для каждого отрезка  $[\varphi_{i-1}, \varphi_i]$  очевидно, что среднее значение угла равно

Равно:

$$\varphi_{cp_i} = \frac{1}{2}(\varphi_i + \varphi_{i-1}). \quad (2.60)$$

Если из эксперимента известно, в какой момент времени  $t_i$  тело находилось на высоте  $h_i$ , то можно определить соответствующий этой высоте полярный угол:

$$|\varphi_i = \frac{\pi}{2} + \arcsin\left(\frac{h_i - R}{R}\right). \quad (2.61)$$

Среднюю угловую скорость  $\omega_{cp}$  при движении по отрезку  $[\varphi_{i-1}, \varphi_i]$  можно приближенно рассчитать как:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow \omega_{cp_i} \approx \frac{\Delta\varphi_i}{\Delta t_i} = \frac{\varphi_i - \varphi_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}. \quad (2.62)$$

Таким образом, при движении по круговому участку направляющей от  $\varphi = 0$  до точки максимального подъема  $\varphi_{\max}$  интеграл  $I(\varphi_{\max})$ , необходимый для расчета работы силы трения, приближенно можно рассчитать как сумму:

$$I(\varphi_{\max}) \approx \sum_{i=1}^{\max} |R_{on} / m|_{cp_i} \Delta\varphi_i. \quad (2.63)$$

Тогда работа и длина пути на этом участке траектории  $[0, \varphi_{\max}]$  равны

$$A_{кр}(\varphi_{\max}) = -\mu m R I(\varphi_{\max}) \text{ и } L_{\varphi_{\max}} = R\varphi_{\max}. \quad (2.64)$$

#### 2.4.1 Определение зависимости работы силы трения от длины пути

Любому углу  $\varphi_k \leq \varphi_{\max}$  соответствует интеграл  $I(\varphi_k)$ , который также можно приближенно рассчитать с помощью суммы, содержащей меньшее количество слагаемых

$$I(\varphi_k) = \int_0^{\varphi_k} |R_{on} / m| \cdot d\varphi \approx \sum_{i=1}^k |R_{on} / m|_{cp_i} \Delta\varphi_i. \quad (2.65)$$

Тогда работа силы трения и длина пути при движении тела на отрезке  $[0, \varphi_k]$  круговой направляющей будет равна:

$$A_{\text{кр}}(\varphi_k) = -\mu m R I(\varphi_k) \approx -\mu m R \sum_{i=1}^k \left| R_{\text{он}} / m \right|_{\text{ср}_i} \Delta \varphi_i \text{ и } L_{\varphi_k} = R \varphi_k. \quad (2.66)$$

Чтобы получить зависимость работы силы трения от длины пройденного телом пути, необходимо определить работу силы трения на отрезках различной длины, например, на отрезках  $[0, \varphi_1]$ ,  $[0, \varphi_2]$ , ...  $[0, \varphi_k]$ , ... ,  $[0, \varphi_{\text{max}}]$ , при одних и тех же условиях проведения эксперимента. Каждому отрезку соответствует длина пути, интеграл и работа силы трения:

$$\begin{aligned} [0, \varphi_1]: L_{\varphi_1} &= R \varphi_1, I(\varphi_1) \approx \left| R_{\text{он}} / m \right|_{\text{ср}_1} \Delta \varphi_1, A_{\text{кр}}(\varphi_1) = -\mu m R I(\varphi_1); \\ [0, \varphi_2]: L_{\varphi_2} &= R \varphi_2, I(\varphi_2) \approx \sum_{i=1}^2 \left| R_{\text{он}} / m \right|_{\text{ср}_i} \Delta \varphi_i, A_{\text{кр}}(\varphi_2) = -\mu m R I(\varphi_2); \\ &\dots \dots \dots \\ [0, \varphi_k]: L_{\varphi_k} &= R \varphi_k, I(\varphi_k) \approx \sum_{i=1}^k \left| R_{\text{он}} / m \right|_{\text{ср}_i} \Delta \varphi_i, A_{\text{кр}}(\varphi_k) = -\mu m R I(\varphi_k); \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (2.67)$$

$$\begin{aligned} [0, \varphi_{\text{max}}]: L_{\varphi_{\text{max}}} &= R \varphi_{\text{max}}, I(\varphi_{\text{max}}) \approx \sum_{i=1}^{\text{max}} \left| R_{\text{он}} / m \right|_{\text{ср}_i} \Delta \varphi_i, \\ &A_{\text{кр}}(\varphi_{\text{max}}) = -\mu m R I(\varphi_{\text{max}}). \end{aligned} \quad (2.68)$$

Здесь количество слагаемых в суммах постепенно возрастает с увеличением длины пути.

Таким образом, можно получить экспериментальную зависимость работы силы трения скольжения от длины пути, пройденного телом по круговому участку направляющей. Учитывая, что сила реакции опоры постоянно меняется при подъеме, следует ожидать, что эта зависимость окажется нелинейной.

Следует заметить, что для описанных выше расчетов необходимо знание коэффициента трения  $\mu$ .



## 2.4.2 Определение коэффициента трения

Если в эксперименте подобраны условия так, что тело, поднявшись по круговому участку на максимальную высоту (ниже наивысшей точки), начинает скатываться вниз, то из закона сохранения энергии модуль работы силы трения на всем пути до точки максимального подъема равен

$$|A| = U_1 - U_2, \text{ где } U_1 = k \frac{\Delta x^2}{2}, U_2 = mgh_{\max}. \quad (2.69)$$

До точки максимального подъема тело движется сначала по линейному участку направляющей, а затем по круговому, поэтому

$$I(\varphi_{\max}) \approx \sum_{i=1}^{\max} |R_{on} / m|_{cp_i} A_{np} = -\mu mgL, A_{кр} = -\mu mRI(\varphi_{\max}), \quad (2.70)$$

Где  $\Delta\varphi_i$  рассчитывается по экспериментальным данным до максимального угла подъема.

Тогда:

$$|A| = \mu(mgL + mRI(\varphi_{\max})) \Rightarrow$$
$$\mu = \frac{|A|}{mgL + mRI(\varphi_{\max})} \text{ или } \mu = \frac{k \frac{\Delta x^2}{2} - mgh_{\max}}{mgL + mRI(\varphi_{\max})}. \quad (2.71)$$

Таким образом, на основе полученных из экспериментальных данных значений  $|A|$ ,  $mgL$  и  $mRI(\varphi_{\max})$  можно определить коэффициент трения  $\mu$ .

## 2.5 Исследование влияния различных факторов на качество смешивания

Значение коэффициентов вариации и критерия процесса зависит от конструктивных и технологических факторов, а также физико-механических свойств составных частей смеси.

После предварительного изучения объекта исследования и выделения существенных факторов зависимость критерия процесса (параметра оптимизации) от этих факторов может быть представлена в общем виде:

$$W_m = f\left(P, \frac{\gamma_k}{\gamma_n}, \frac{d_n}{d_k}, c\right), \quad (2.72)$$

где  $W_m$  – параметр оптимизации, определяющий состояние распределения компонентов смеси;  $P, \frac{\gamma_k}{\gamma_n}, \frac{d_n}{d_k}, c$  – независимые переменные (факторы) : соответственно – концентрация компонента, соотношение удельных весов и размеров частиц контрольного компонента и наполнителя, сыпучесть наполнителя.

Выражение (2.27), называемое функцией отклика, обычно аппроксимируется полиномом вида:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_1^k b_{ii} x_i^2 \quad (2.73)$$

где  $\hat{y}$  - расчетное значение параметра оптимизации;  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коэффициенты регрессии;  $x_i, x_j$  – координаты значения факторов.

Интервалы варьирования факторов выбирали с учетом условий приготовления комбикормов.

Применение математических методов планирования эксперимента позволяет определить необходимое число и условия проведения опытов на основании математических правил [48, 50].

План эксперимента представляет собой таблицу дискретных величин факторов и называется матрицей планирования (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Матрица планирования эксперимента

	Код	P	$\frac{\gamma_k}{\gamma_n}$	$\frac{d_n}{d_k}$	C	Степень неоднородности смеси	
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\bar{y}$	$\hat{y}$
Верхний уровень	+1	2,2	4	13	0,33		
Нулевой	0	1,5	2,5	7	0,24		
Нижний	-1	0,8	1	1	0,15		
Интервал варьирования		0,7	1,5	6	0,09		
Опыты:							
1		-1	-1	-1	-1	7,33	6,72
2		+1	+1	-1	-1	6,65	6,86

Продолжение таблицы 2.1

3		+1	-1	+1	-1	7,46	5,69
4		+1	-1	-1	+1	5,45	4,95
5		-1	+1	+1	-1	8,23	8,78
6		-1	+1	-1	+1	4,58	6,39
7		-1	-1	+1	+1	7,90	7,73
8		+1	+1	+1	+1	12,2	12,95
9		-1	-1	-1	+1	2,77	3,67
10		-1	-1	+1	-1	6,55	6,62
11		-1	+1	-1	-1	10,8	10,02
12		+1	-1	-1	-1	2,31	3,49
13		-1	+1	+1	+1	10,25	9,31
14		+1	-1	+1	+1	10,28	11,30
15		+1	+1	-1	+1	7,56	7,74
16		+1	+1	+1	-1	8,56	7,91
17		+1	0	0	0	8,2	7,87
18		-1	0	0	0	8,5	7,66
19		0	+1	0	0	10,2	8,95
20		0	-1	0	0	6,60	6,48
21		0	0	+1	0	6,60	7,64
22		0	0	-1	0	7,50	5,09
23		0	0	0	-1	8,75	5,80
24		0	0	0	+1	3,02	4,80
25		0	0	0	0	5,04	6,54

После построения матрицы планирования и получения экспериментальных данных осуществляется расчет коэффициентов регрессии на ЭВМ по программам [50].

Полученная математическая модель имеет вид:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 6,55 + 0,103x_1 + 1,24x_2 + 1,28x_3 + 0,496x_4 + 1,21x_1^2 + \\ & + 0,0162x_1x_2 + 0,574x_1x_3 + 1,13x_1x_4 + 1,17x_2^2 - \\ & - 0,286x_2x_3 - 0,144x_2x_4 - 0,18x_3^2 + 1,04x_3x_4 - 1,24x_4^2, \% \end{aligned} \quad (2.74)$$

где  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – кодированные значения объемной концентрации компонента, соотношения удельных весов, размеров частиц компонентов, сыпучести наполнителя.

Из уравнения (2.74) видно, что наибольшее влияние на состояние смеси оказывает соотношение размеров частиц перемешиваемых компонентов. Увеличение соотношения удельных весов  $x_2$ , размеров частиц  $x_3$  и сыпучести компонентов  $x_4$  способствует ухудшению качества смеси. Это объясняется тем, что мелкие и тяжелые частицы имеют тенденцию скопляться внизу слоя, а легкие и большие частицы «всплывают» вверх. Эта тенденция проявляется с большей силой, когда поверхность частиц более гладкая.

Уравнение (2.73) может быть интерпретировано как выражение некоторой поверхности в пространстве. Наглядное представление о геометрическом образе функции можно получить, если изобразить её в канонической форме:

$$y - 9,41 = 1,44X_1^2 + 1,3X_2^2 - 0,25X_3^2 - 1,53X_4^2 \quad (2.75)$$

Это каноническое уравнение описывает поверхность типа минимакса, координаты центра  $S$  которой имеют следующие значения:

$$x_{1s} = -0,856; \quad x_{2s} = 2,186; \quad x_{3s} = 2,187; \quad x_{4s} = 0,600;$$

Двумерные сечения этой поверхности, проходящие через центр, позволяют наглядно представить влияние каждой пары факторов на качество смешивания.

На рисунке 2.10 показана серия двумерных сечений, представляющих собой семейство линий равной неоднородности.

Если соотношение размеров частиц  $\frac{d_H}{d_K} = 7$  и сыпучесть наполнителя  $c$  равна 0,24 (рисунок 2.10, а), минимальная неоднородность смеси (6,21%) достигается при условии, когда объемная концентрация «ключевого» компонента  $\approx 1,5\%$ , а соотношение удельных весов  $\frac{\gamma_K}{\gamma_H} = 1,75$ .

Любое изменение удельных весов и концентраций компонентов приводит к ухудшению качества смеси. При этом изменение соотношения удельных весов вызывает более резкое состояние смеси, чем ее концентрации.

Эффективный путь улучшения качества смешивания, как видно на рисунке 2.10, б, заключается в снижении соотношения размеров частиц компонентов.

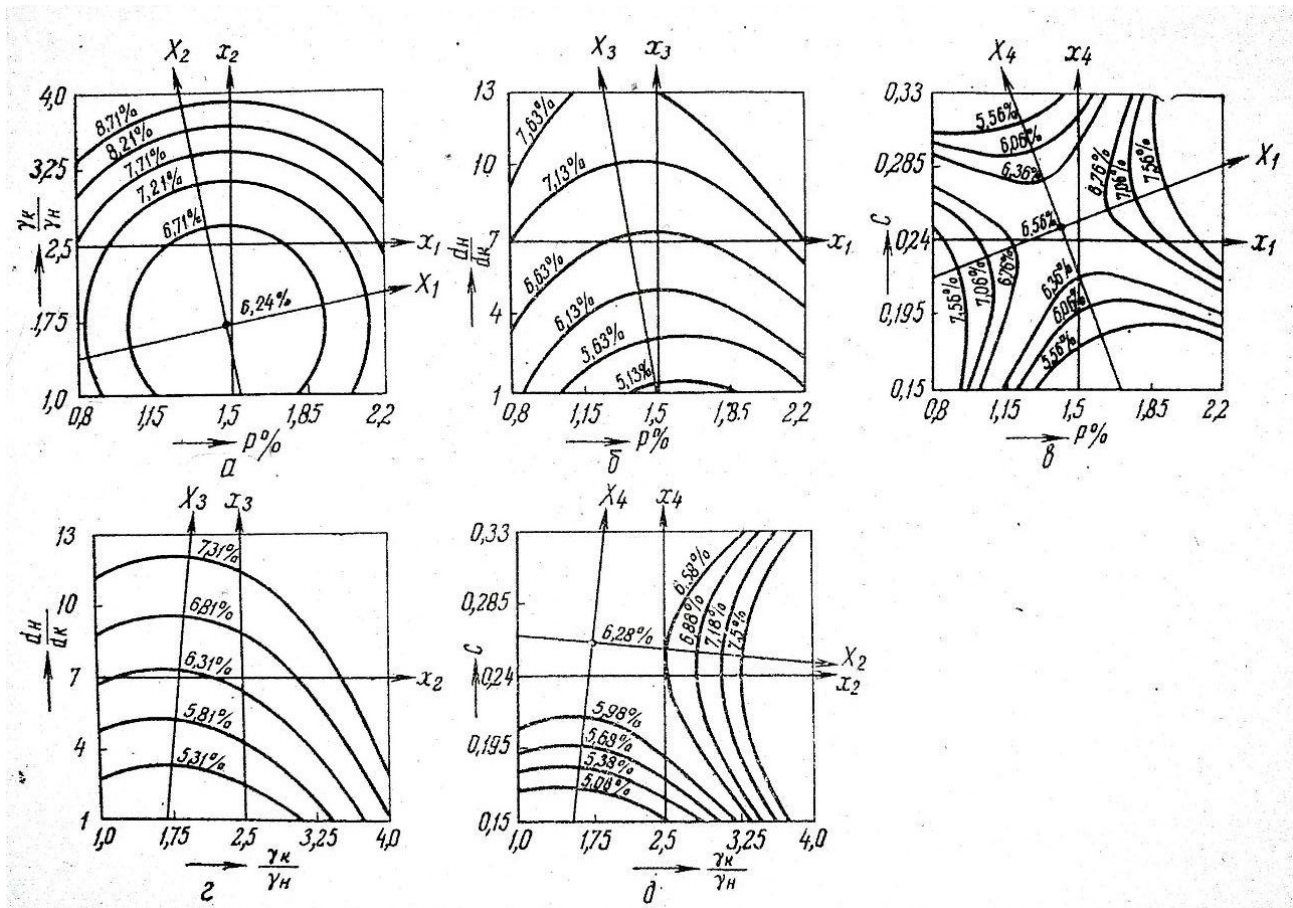


Рисунок 2.10 – Взаимодействие факторов и их влияние на качество смешивания:

*a* – концентрация компонента  $P$  и соотношения удельных весов  $\frac{\gamma_K}{\gamma_H}$ ;

*б* – концентрация компонента  $P$  и соотношения размеров зерен  $\frac{d_H}{d_K}$ ;

*в* – концентрации компонента  $P$  и сыпучести наполнителя  $c$ ;

*г* – соотношения размеров зерен  $\frac{d_H}{d_K}$  и удельных весов компонентов  $\frac{\gamma_K}{\gamma_H}$ ;

*д* – соотношения удельных весов  $\frac{\gamma_K}{\gamma_H}$  и сыпучести наполнителя  $c$

При небольшой концентрации «ключевого» компонента (до 1%) с увеличением сыпучести наполнителя (рисунок 2.10, *в*) наблюдается улучшение качества смешивания. Положительный эффект усиливается при увеличении  $c$  свыше 0,24. При сравнительно больших концентрациях (свыше 1,7%) наблюдается обратное явление. Аналогичная картина вырисовывается и при варьировании только концентрацией компонента.

Из полученных данных следует, что уменьшение неоднородности смеси можно достичь увеличением сыпучести наполнителя и уменьшением концентрации «ключевого» компонента, а при большой концентрации –

подбором наполнителя, поверхность частиц которого имеет большую удерживающую способность.

Эффективно воздействовать на процесс можно варьированием соотношения удельных весов компонентов или соотношением размеров частиц, особенно если варьировать обоими факторами одновременно. Минимальная неоднородность достигается при  $\frac{d_H}{d_K} = 1$  и  $\frac{\gamma_H}{\gamma_K} = 1 \div 1,7$  (рисунок 2.10, з).

На рисунок 2.10, д показаны влияние и взаимодействие удельных весов компонентов и сыпучесть наполнителя при постоянных условиях ( $p=1,5\%$  и  $\frac{d_H}{d_K} = 7$ ). Сыпучесть наполнителя особенно сильно влияет при увеличении соотношения удельных весов «ключевого» компонента и наполнителя примерно до 3; при  $\frac{\gamma_H}{\gamma_K} > 3$  влияние  $c$  незначительно.

Минимальная неоднородность достигается в интервале варьирования факторов от  $\frac{\gamma_H}{\gamma_K} = 1$  и  $c = 0,16$  до  $\frac{\gamma_H}{\gamma_K} = 1,7$  и  $c = 0,15$ .

При большом соотношении размеров зерен  $\frac{d_H}{d_K}$  для снижения разделяющего эффекта необходимо увеличить удерживающую способность поверхности частиц.

Из условий определяют общий объем  $V$ , занимаемый материалом, по формуле

$$V = \frac{G}{\gamma_{об}}, \text{ м}^3 \quad (2.77)$$

Оптимальные размеры цилиндрического корпуса смесителя (диаметр  $D$ , высота  $h$ ) вычисляют из условий минимальной затраты на трение материала о корпус. Для этого необходимо, чтобы полная поверхность слоя  $F$  была минимальной

$$F = 2\pi \left( r^2 + \frac{V}{\pi r} \right) = F_{min} \quad (2.78)$$

где  $r$  – радиус основная, слоя, м.

Ввиду того, что при работе лопастей слой расширяется, высота корпуса должна быть увеличена на 30% по сравнению с высотой слоя материала, т.е.  $h = 1,3H = 1,3D$ , м.

Параметры лопастного рабочего органа определяют из соотношений, полученных в результате исследования:

Ширина лопасти:

$$b = \frac{H}{(3,5 \div 5)z}, \text{ м}; \quad (2.79)$$

Число ярусов  $z = 1 \div 3$ , число лопастей в ярусе 2, размах лопастей  $L = (0,85 \div 0,95)D$ , м.

Число оборотов рабочего органа вычисляют по формуле:

$$n = \frac{60V_p}{\pi L}, \text{ об/мин}, \quad (2.80)$$

где  $V_p = 1,2 V_{кр}$  – рабочая окружная скорость лопастей, м/с;  $V_{кр} = 3,76 (H/b)^{0,18}$  – критическая скорость псевдооживления м/с.

Общая мощность для привода рабочего органа равна сумме мощностей, необходимых для привода каждого яруса лопастей, рассчитанных по формуле (2.80).

На основании проведенных исследований и методики расчета создан смеситель производственного и лабораторного назначения представленный в следующей главе [57].

## Выводы по главе 2

1. Усовершенствована методика установочных параметров, характеризующих миграционную способность мелких частиц различной плотности в диапазоне крупности от 1,0 до 0,001 мм, подверженных действию воздушного потока, определяемые состоянием равновесия частицы на наклонной поверхности и зависящие от скорости потока и угла наклона, что позволяет определить условия эффективности разделения смеси по крупности и плотности.

2. Усовершенствована методика расчета смесителей, работающих по принципу механического псевдооживления. Выявлены особенности перемещения частиц разной крупности и плотности в воздушно-материальных потоках при скоростях менее их скорости витания в шаровом корпусе смесителя и при скоростях псевдооживленного слоя в виде воздушно-материальной смеси и их активного взаимодействия, что позволяет предложить новую конструкцию смесителей.

3. Определено что минимальная неоднородность достигается в интервале варьирования факторов от  $\frac{\gamma_{н}}{\gamma_{к}} = 1$  и  $c = 0,16$  до  $\frac{\gamma_{н}}{\gamma_{к}} = 1,7$  и  $c = 0,15$ . Ввиду того, что при работе лопастей слой расширяется, высота корпуса должна быть увеличена на 30% по сравнению с высотой слоя материала, т.е.  $h = 1,3H = 1,3D$ , м. Число ярусов  $z = 1 \div 3$ , число лопастей в ярусе 2, размах лопастей  $L = (0,85 \div 0,95)D$ , м. Рассчитана рабочая окружная скорость лопастей  $V_p = 1,2 V_{кр}$ , м/с; и критическая скорость псевдооживления  $V_{кр} = 3,76 (H_i/b)^{0,18}$  м/с.

4. Установлено, что наиболее эффективные условия смешивания материалов различных размеров частиц и плотности достигается в воздушно-материальном потоке с обеспечением пересекающихся траекторий легких и тяжелых частиц в поле гравитационных, центробежных и аэродинамических сил.



# ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЯ РАБОТАЮЩЕГО ПО ПРИНЦИПУ МЕХАНИЧЕСКОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ

## 3.1 Программа и методика экспериментальных исследований

### Характеристика объекта

#### *Наименование и область применения*

Линия для приготовления гомогенных лечебных, витаминных и минеральных премиксов (в дальнейшем – установка).

Линия предназначен для приготовления высокооднородной (гомогенной) смеси лечебных витаминных и минеральных премиксов для группового скармливания животным и птице, а также для использования в технологии производств лечебных и полноценных комбикормов.

#### *Цель и назначение разработки*

Целью разработки является создание установки состоящей из:

- лабораторной мельницы, вместимостью 200-300 г смеси наполнителя и препарата (лекарства, витамины, минеральные добавки);
- сферического измельчителя-смесителя вместимостью 2-3 кг смеси;
- сферического смесителя вместимостью 10 кг смеси;
- пересыпание обрабатываемой смеси из верхнего в нижний узел осуществляется самотеком по герметичным каналам;
- готовый премикс собирается в специальную тару -например, крафт – мешки;
- все три узла разместить на рабочем столе, удобно для обслуживания.

Установка предназначена для использования ветеринарными службами во всех почвенно-климатических зонах России.

### Условия работы

Параметры окружающей среды в соответствии с условиями выполнения ветеринарных работ составляют: температура окружающей среды +5 ... +40 °С; относительная влажность до 100%; запыленность до 2,5 г/ м<sup>3</sup>.

### Технические характеристики разработки:

Конструкция установки состоит из рамы, лабораторной мельницы, измельчителя-смесителя и сферического смесителя, которые герметично сообщены между собой.

Таблица 3.1 – Общая техническая характеристика

№	Основные параметры	Значения
1	Масса (кг):	90-100
2	Габариты: высота (см):	70
3	ширина (см):	70
	длина (см):	120
4	Система питания	От внешних источников
5	Обеспечить плавное переключение скоростей вращения вала измельчителя-смесителя в диапазоне (об/мин): Или ступенчатое (об/мин): Мощность электропривода (кВт)	1200-500 1200;1000;800;600;400 0,5-0,6
6	Обеспечить плавное переключение скоростей вращения вала сферического смесителя в диапазоне (об/мин): Или ступенчатое (об/мин): Мощность электропривода (кВт)	600-200 600;500;400;300 и 200 0,8-1,1
7	Удобство замера оборотов валов измельчителя-смесителя и сферического измельчителя.	
8	Обеспечить регулировку зазора между рабочей поверхностью диска с насечкой и кромкой двухстороннего бича в диапазоне (мм):	0,5-3,0
9	Установка снабжена блоком управления и реле времени в диапазоне:	Лабораторная мельница -30-100 с; Измельчитель-смеситель – 1-4 мин; Сферический смеситель – 2-5 мин.

Изобретение [61] относится к сельскохозяйственному производству, а именно, к устройствам для приготовления смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных, минеральных и других премиксов (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Разработанный образец шарового смесителя-измельчителя

Запуск установки в работу осуществляется путем подачи питания на частотный преобразователь из бытовой сети 220 Вольт, (обязательно оснащенной линией заземления). Устанавливается требуемый режим работы оборудования задаваемый частотным преобразователем в соответствии с данными (таблица 3.2), изменение режимов работы оборудования, осуществляется путем вращения клавиши - 1, частотного преобразователя.

Клавишами 2 и 3 указанных на рисунке 3.2 задается направление вращения рабочего органа экспериментальной установки. Кнопкой - 4 осуществляется остановка рабочих органов.

Таблица 3.2 – Зависимость режимов работы электродвигателя от частоты электрического тока

№ п/п	Частота подаваемого тока, Гц	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>
1	50,00	1360
2	44,10	1200
3	29,40	800
4	22,05	600
5	14,7	400
6	7,3	200
7	3,6	100



Рисунок 3.2 – Частотный преобразователь ESQ A-500

Для подключения питания к частотному преобразователю (ЧП) необходимо воспользоваться входными клеммами R,S,T. Для подключения электродвигателя воспользуйтесь выходными клеммами U,V,W. Необходимо заземлить как частотный преобразователь, так и двигатель. Заземление подключить на клемму (рисунок 3.3).

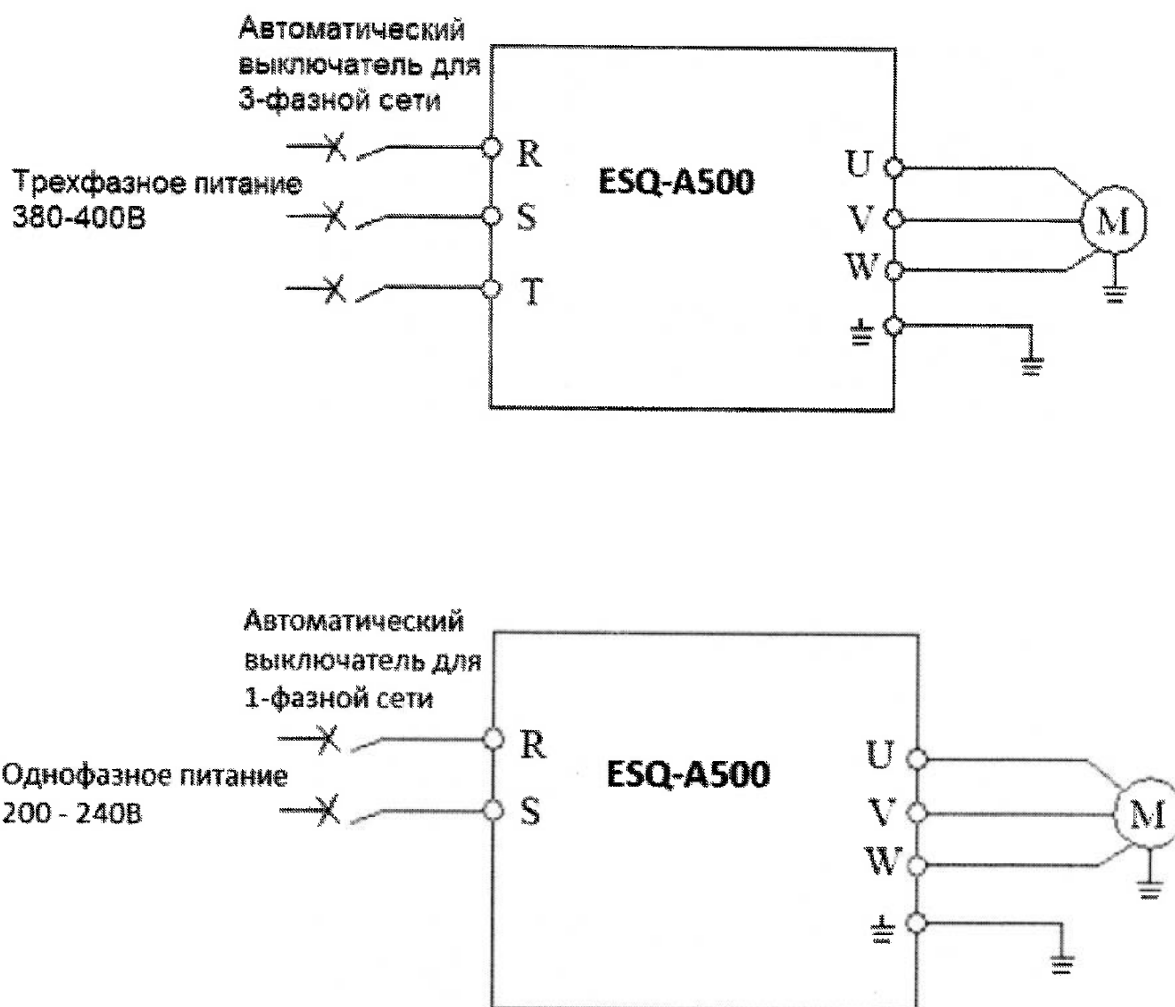


Рисунок 3.3 – Трехфазная и однофазная схемы подключения мотора к ЧП

Перед началом работы необходимо установить определённые параметры в частотном преобразователе. Для навигации по меню воспользуйтесь кнопкой «iv1ODE», расположенной на лицевой панели частотного преобразователя. Для перемещения по меню и изменения параметров, воспользуйтесь «Встроенным потенциометром». Для того чтобы сохранить в памяти параметр, который вы изменили, воспользуйтесь кнопкой «SET» (Длительное нажатие). При подачи питания на дисплее отобразятся значения «0.00».

Для изменения типа управления нажмите 3 раза кнопку «MODE», пока не увидите на дисплее «OPnd» (запуск частотного преобразователя в работу и задание выходной частоты осуществляется с внешних клемм).

Если повернуть ручку потенциометра вправо на одно деление, на дисплее отобразится «PU» (запуск частотного преобразователя в работу и задание выходной частоты осуществляется с панели оператора).

Если повернуть ручку потенциометра вправо ещё на одно деление, на дисплее отобразится «JOG» (запуск частотного преобразователя в режиме толчковой работы и задание выходной частоты осуществляется с панели оператора).

Параметр P.79(00-16) отвечает за выбор типа управления частотным преобразователем.

Возможно быстро переключать режимы «Opnd» (Работа с клемм), «PU» (работа с панели оператора) и «JOG» (Работа с панели оператора в режиме работы).

Возможно быстро переключать режимы «PU» (работа с панели оператора) и «JOG»(Работа с панели оператора в режиме токовой работы).

Только режим «Opnd» (Работа с клемм)

Работа в режиме «Передача данных» (Modbus или Shihlin protocol)

«Комбинированный режим 1» (Запуск с внешних клемм, задание частоты с потенциометра на панели оператора).

«Комбинированный режим 2» (Запуск с панели оператора, задание частоты с внешних клемм).

«Комбинированный режим 3» (Запуск с внешних клемм, задание частоты по протоколу связи).

«Комбинированный режим 4» (Запуск по протоколу связи, задание частоты с внешних клемм).

«Комбинированный режим 5» (Запуск с внешних клемм, задание частоты с пульта PU301).

2). Параметр задания базовой частоты P.3(01-03) = 50. (Установите частоту, на которую рассчитан электродвигатель, согласно данным на тильде) 3).

Параметр задания максимальной частоты P.305(05-04) = 50 (Диапазон установки от 0 до 650Гц) Время ускорения P.7(01-06) . Время торможения P.8(01-07).

Установка параметров мотора:

1. Параметр мощности мотора P.302(05-01) (Устанавливаете номинальную мощность мотора, подключенного к частотному преобразователю).

2. Количество полюсов мотора P.303(05-02) (Зависит от оборотов двигателя. 3000 = 2, 1500 = 4, 1000 = 6, 750 = 8).

3. Номинальный ток двигателя P.306(05-05). 4). Напряжение питания мотора P.304(05-03)

Подключение к внешним клеммам:

Для подключения устройств внешнего управления к частотному преобразователю используйте только экранированные провода, чтобы исключить влияние внешних наводок на сигналы управления.

Подключение к внешним клеммам

Для запуска частотного преобразователя в работу от внешних клемм необходимо замкнуть клеммы SD и STF(Прямое вращение) или STR(Обратное вращение).

Для задания выходной частоты от внешних клемм, необходимо подключить подстроечный резистор (1-2кОм) на клеммы: 1Ю(питание), 5(общая) и 3(клемма на которую будет подаваться управляющий сигнал).

Для управления с внешних клемм не забудьте установить параметр выбора способа управления - P.79(00-16)

Примечание: В случае неудачного программирования функций частотного преобразователя не расстраивайтесь. Вы всегда можете вернуться к заводским параметрам.

Для этого выберите параметр P.997 (00-02), установите er9 равным 1 и нажмите «SET».

Для настройки других задач обратитесь к основной инструкции, приложенной к частотному преобразователю.

Электродвигатель 5АИ унифицированной серии (рисунок 3.4). Асинхронные унифицированной серии с короткозамкнутым ротором, закрытого исполнения, предназначены для продолжительного режима работы S1 от сети переменного тока частотой 50 Гц. Характеристики представлены в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Электродвигатель 5АИ 71 А4 3081

№	Номинальные значения	Значения
1	Мощность (кВт)	0,55
2	Напряжение (В)	220/380
3	Частота вращения	1500
4	Ток статора	2.61/1,51
5	КПД	71
6	Кэф. мощности	0,78
7	$M_{max}/M_n$	2,2
8	$M_p/M_n$	2,1
9	$I_p/I_n$	5
10	Вес	8,9
11	Класс защиты	IP55
12	Климатическое исполнение	У2





Рисунок 3.4 – Электродвигатель 5АИ унифицированной серии

### **3.2 Программа и методика определения однородности смеси с применением ферромагнитных микротрейсеров**

Применяемые в стране контрольные ингредиенты- индикаторы: соль, окрашенное пшено, зерно ячменя, гороха и др. не позволяют получить достаточно объективных результатов, так как в процессе смешивания они частично разрушаются, а для оценки однородности смеси витаминных, минеральных и лечебных препаратов, которые применяются в малых количествах и отличаются высоким удельным весом и малыми размерами частиц, названные индикаторы вообще не применимы. Для этого необходимы микроаналоги названных препаратов [24].

Заводы, где применяются прогрессивные технологии производства комбикормов для оценки однородности смешивания в качестве индикаторов используют ферромагнитные микротрейсеры (МТ). В состав МТ входят частички железа или нержавеющей стали, размером 150-350 микрон, на поверхность которых адсорбированы (нанесены) пищевые красители различных

цветов, также можно применять хлористый натрий, соединения фосфора, кальция, марганца и кобальта, витамины, аминокислоты, лекарственные препараты. Ферромагнитные микротрейсеры совершенно безопасны, они показывают высокую эффективность, быстроту и доступность использования для оценки однородности комбикормов и премиксов. Расход трейсеров не превышает 50 г на тонну комбикорма. Определение качества смешивания с помощью микротрейсеров относится к простым, быстрым, экономичным и доступным методом. Ферромагнитные микротрейсеры нашли применение в 66 странах мира, с их использованием в 2016 г. проверено более 500 млн.т комбикормов [24].

Известно, что различные ингредиенты (компоненты) комбикормов содержат определенный химический и биологический состав и кормовую ценность. Зная состав каждого вида компонента комбикормов составляют рецепт, который наиболее полно удовлетворял бы потребности организма животного и с высокой отдачей продуктивности. Однако, в растительных кормах есть недостаток химических элементов, которые восполняются в виде минеральных, витаминных добавок и лечебных премиксов. Мировой объем производства комбикормов в настоящее время составляет около одного миллиарда тонн в год. Поэтому, неоправданный разброс в концентрации дорогих добавок в комбикормах приводит к значительным экономическим потерям. Излишняя продолжительность перемешивания нецелесообразна, так как бесполезно затрачивается электроэнергия, трудозатраты и капиталовложения, приводит к частичному распаду витаминов и лечебных препаратов, наблюдается сегрегация кормов. Следует учитывать, что комбикорма составляют 60-70% в себестоимости продукции птицеводства и свиноводства и до 30% в молочном скотоводстве; от качества комбикормов зависит не только безопасность животных и птицы, но и людей, которые потребляют эту продукцию. Не качественное смешивание микрокомпонентов с основными ингредиентами

комбикормов могут вызвать нарушение здоровья животных и птицы, снижение их продуктивности и качества продукции.

Интенсификация и концентрация животноводства и птицеводства, необходимость ветеринарной обработки в сжатые сроки большого поголовья, повышение нагрузки ветеринарных специалистов вызывают необходимость применения высокоэффективных, экономичных, удобных в работе способов и технических средств приготовления и дачи лекарственных препаратов. В связи с переходом отрасли на индустриальную основу все сложнее выявлять и лечить больных особей. Поэтому, способ группового скармливания смесей или комбикормов с биологически активными веществами (витамины, аминокислоты, лекарственные препараты) получили широкое распространение. Механизация их приготовления многократно снижает затраты труда и повышает эффективность профилактических и лечебных мер, предохраняет поражение обслуживающего персонала. Особенности смешивания препаратов с наполнителем: большое соотношение препарата и наполнителя (1:1000; 1:10 000) [24]. Например, Альбен применяют для дегельминтизации крупного рогатого скота, свиней, овец, коз, птиц, лошадей групповым способом в смеси с концентрированными кормами в следующих дозах.

Таблица 3.4 – Дозы ввода Альбена для различных видов животных и птицы

Вид животного	Мг/кг массы животного	На 100 кг массы животного (гр)	Количество таблеток на кг массы животного	Доза лечебных кормов на одну голову
Свиньи	10,0	5	1 таб на 35-40 кг	150-200 гр
КРС	7,5	3,75	1 таб на 40-50 кг	0,5-1,0 кг
Лошади	7,5	3,75	1 таб на 45-50 кг	0,5-1,0 кг
Овцы и козы	5,0	2,5	0,5 таб на 35-40 кг	150-200 гр
Птица	10,0	0,5	1 таб на 35-40 кг массы птицы	50 гр

Установлено, что однородность корма для цыплят и поросят раннего возраста является важным фактором, влияющим на рост и потребление корма. Животные и птица старшего возраста потребляют больше корма, который дольше задерживается в желудочно-кишечном тракте, поэтому они менее чувствительны к вариабельности его состава. Известны данные влияния среднего размера частиц и времени смешивания на коэффициент вариации состава смеси.

#### *Методика определения*

При поступлении на кафедру тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО ГРАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева испытуемые образцы индивидуально взвешивались, а частицы индикатора были выделены и подсчитаны. Ферромагнитные частицы Microtracers F-серии выделяли из шести исходных материалов с помощью магнитного сепаратора Rotary Detector. Восстановленные трассеры переносили с небольшой фильтровальной бумаги, помещенной на вращающийся магнит ротационного детектора, на поверхность большой фильтровальной бумаги (диаметром 18 см), смоченной 50% раствором этанола для растворения красителей из трассера и получения цветных пятен. Отдельные частицы трассера образовывали цветные пятна на фильтровальной бумаге, которую высушивали и пятна подсчитывали вручную или путем сканирования на компьютер и автоматического подсчета по программе, разработанной Micro-Tracers, Inc. и размещенной на их сайте [24].

В исследовании использовались два микротрейсера серии F, а именно F-Red #40 и F-Blue #1 производства Micro-Tracers, Inc. (Сан-Франциско, Калифорния, США) [20].



Рисунок 3.5 – Ферромагнитные микротрейсеры (МТ) – серия F(1г/25000 шт).

С помощью микротрейсеров можно определить:

- Качество смешивания кормов, концентратов, премиксов;
- Оптимизировать работу смесителя;
- Определить минимальный объем смешиваемых препаратов или добавок;
- Определить уровень контаминации смесей на данном производстве;
- Промаркировать продукцию.

Материалы и реактивы:

- Фильтровальная бумага, диаметром 7,5 и 16,5 см;
- Водно-спиртовой раствор (50:50), в случае если это микротрейсеры покрытые водорастворимой краской или 7% раствор соды (сода техническая)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- Кисточка художественная;
- Савок;
- Контейнеры для образцов;

Приборы и оборудование:

1. Весы лабораторные
2. Емкость с пульверизатором
3. мельница для гранулированных кормов
4. Банка мейсона
5. Специальный размагничиватель для микротрейсеров
6. Электроплитка

#### *Ввод микротрейсеров в кормосмесь*

При оценке качества смешивания микротрейсеры добавляются из расчета 50 грамм на тонну. Микротрейсеры смешиваются с небольшим количеством смеси- это может быть молотое сырье премикс, лекарственный препарат – в зависимости от цели исследования. Количество сырья смешиваемого с микротрейсерами определяется по вводу наименьшего компонента производимой продукции. Например- если минимальное количество компонента 500-1000 грамм, то и смесь с микротрейсерами должна быть 500-1000 грамм.

Место добавления микротрейсеров в смеситель определяется целью эксперимента и его условиями- смесь с микротрейсерами может быть добавлена в то же время и место как витамины, аминокислоты, лекарственные препараты и т.д. вручную, или может быть смешана с премиксом и добавлена в корм через компьютерную систему по добавке микро-ингредиентов.

#### *Отбор проб комбикорма или другой готовой смеси*

Лабораторные пробы можно отбирать из смесителя после окончания смешивания, непосредственно из смесителя или из транспортера (выхода из смесителя). Каждый образец должен не компоноваться из частей, а браться как одно целое однократно. Образцов берется не меньше 10 (десяти), массой примерно 100грамм. Для этого должна быть единая примерно 100 граммовая емкость, веверенная по весу. Отбор проб надо проверить с одинаковыми интервалами по времени.

Чтобы пробы были взяты вначале, середине и конце высыпания. Усредненный отбор проб ничего не скажет о качестве смешивания.

### *Извлечение микротрейсеров*

В лаборатории кафедры тракторов и автомобилей на лабораторных весах каждый образец взвешивается (рисунок 3.6). Микротрейсеры извлекаются из каждого образца комбикорма или другой смеси с помощью банки мейсона.

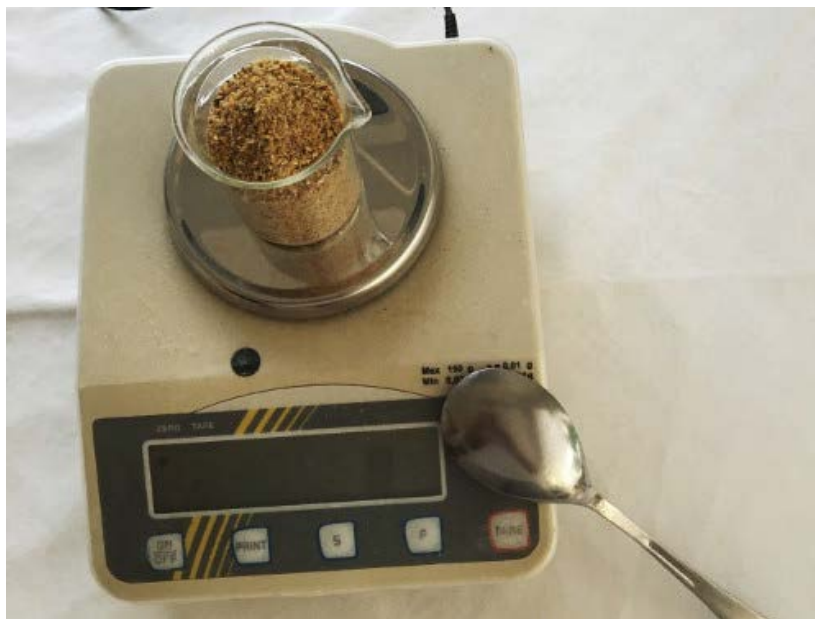


Рисунок 3.6 – Контрольное взвешивание пробы (образца).



Рисунок 3.7 – Банка мейсона.

Образец смеси засыпается в банку (рисунок 3.7), затем банка встряхивается, при соприкосновении смеси с крышкой банки, в которой расположен магнит, микротрейсеры удерживаются на фильтровальном диске (диаметром 7,5 см) расположенном в крышке между магнитом и рабочим объемом банки (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Магнитная сепарация МТ-Ф.

После того, как отделены микротрейсеры из образца, нужно снять крышку банки и на фильтрованной бумаге, что приложена к магниту, видны намагниченные микротрейсеры в виде кольца темных частиц (рисунок 3.9). Осторожно фильтр с магнитными частицами снимается с магнитного диска и частицы с помощью кисточки переносятся в совочек. Совочек прикладывается донной частью к специальному устройству - размагничителю и происходит размагничивание микротрейсеров.



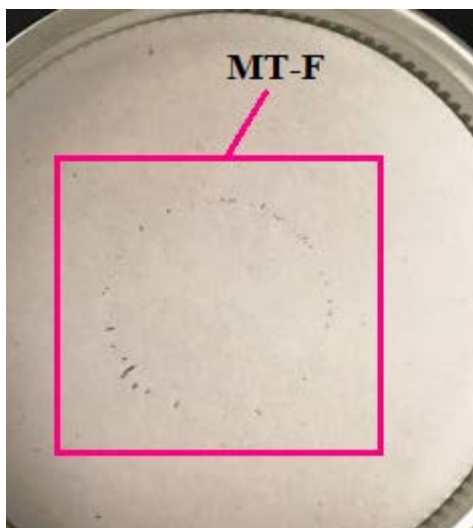


Рисунок 3.9 – Извлеченные ферромагниты МТ из пробы.

Размагниченные микротрейсеры переносятся методом встряхивания из совочка на большой фильтровальный круг и кисточкой равномерно распределяются по поверхности круга. После этого, водно-спиртовым раствором (или содовым) из пульверизатора (рисунок 3.10) поверхность круга смачивается и рассеянные микротрейсеры проявляются в виде цветных пятен (рисунок 3.11).



Рисунок 3.10 – МТ-F Обработанные водно-спиртовым раствором (50:50).

Смоченный фильтрованный круг кладется на включенную горячую электроплитку и сушится до полного высыхания.

После просушки на круге ставится номер образца, дата и подсчитать окрашенные следы микротрейсеров, записав их количество на этом же круге.

Такую последовательность операции проводят с каждым образцом. Одно дополнение: высыпать размагниченные микротрейсеры можно также не на сухой, а уже смоченный фильтровальный круг, но при этом можно не достичь желаемой равномерности распределения микрорейсеров по поверхности круга.

Если получилось неравномерное распределение частиц по кругу, частицы могут быть друг под другом, что затрудняет правильный подсчет, в этом случае необходимо взять повторную навеску образца и повторить определение.

Поскольку количество железных частиц микротрейсеров в одном грамме одинаковое- 25000 штук, то легко рассчитать сколько должно быть окрашенных следов на фильтровальной бумаге. Например: добавляем 50 грамм микротрейсеров на тонну корма. В этом количестве содержится 1 250 000штук частиц ( $25000*50 = 1\ 250\ 000$ )

Если мы использовали для оценки качества смешивания образцы по 100 грамм, то легко подсчитать, что в этих 100 граммах комбикорма при идеальном смешивании должно быть 125 частиц.



Рисунок 3.11 – Проявление МТ-Ф.

Интерпретация результатов.

1 Оценка с помощью коэффициента вариации

Если величины от A1 до A10 описывают количество частиц микротрейсеров в

10 образцах, то коэффициент вариации определяется в три этапа:

1 среднее:  $x = (A1+A2+A3+.....A10)/10$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.1)$$

2 стандартное отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

3 коэффициент вариации

$$V_c = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3.3)$$

Смешивания считаются удовлетворительными, если  $V_c$  меньше 10%.

### 3.3 Методика сбора и обработки экспериментальных данных

Определяем оценочные характеристики случайной величины:

- выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{25} \cdot 645.327 = 25,040; \quad (3.4)$$

- выборочная дисперсия

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \frac{1}{25-1} \cdot 169.441 = 7,098; \quad (3.5)$$

- среднее квадратическое отклонение

$$s_x = \sqrt{s_x^2} = \sqrt{7,098} = 2,664 \quad (3.6)$$

Проверяем наличие и исключаем грубые ошибки.

Проверяем, является ли  $X_{\max}$  грубой ошибкой, и рассмотрим порядок проверки статистических гипотез.

1. Формулируем основную и альтернативную статистические гипотезы:  $H_0$ :  $X_{\min}$  не является грубой ошибкой;  $H_1$ :  $X_{\min}$  является грубой ошибкой

2. Для проверки справедливости выдвинутых гипотез выбираем статистический критерий и находим его расчетное значение:

$$V_p = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{s_x} = \frac{30 - 25,040}{2,664} = 1,861 \quad (3.7)$$

Таблица 3.5 – Исходные данные для расчета оценочных характеристик.

№ П\п	Выборочные значения		$d_i = x_{i+1} - x_i$	$d_i^2$	$\Delta_i = x_i - x_{\text{ср}}$	$\Delta_i^2$
	В порядке появления	В порядке Возрастания (вариационный ряд)				
1	23	18	2	4	-7,040	49,562
2	25	20	2	4	-5,040	25,402
3	27	22	-2	4	-3,040	9,242
4	25	22	1	1	-3,040	9,242
5	26	23	2	4	-2,040	4,162
6	28	23	-1	1	-2,040	4,162
7	27	23	1	1	-2,040	4,162
8	28	23	-6	36	-2,040	4,162
9	22	24	3	9	-1,040	1,082

Продолжение таблицы 3.5

10	25	25	-2	4	-0,040	0,002
11	23	25	2	4	-0,040	0,002
12	25	25	-2	4	-0,040	0,002
13	23	25	-5	25	-0,040	0,002
14	18	25	11	121	-0,040	0,002
15	29	26	-2	4	0,960	0,922
16	27	26	-1	1	0,960	0,922
17	26	27	-3	9	1,960	3,842
18	23	27	-3	9	1,960	3,842
19	20	27	4	16	1,960	3,842
20	24	27	3	9	1,960	3,842
21	27	28	-2	4	2,960	8,762
22	25	28	5	25	2,960	8,762
23	30	28	-8	64	2,960	8,762
24	22	29	6	36	3,960	15,682
25	28	30				
	$\sum x_i=626$			$\sum d_i=399$	$\sum \Delta_i^2 =170,3584$	

Находим критическое значение статистического критерия по таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения  $U_{\alpha; n}$  критерия  $V$  (для отбрасывания грубых ошибок при измерениях), определяемые из условия  $P(V > U_{\alpha; n}) = \alpha$

n	$\alpha$			n	$\alpha$		
	0,10	0,05	0,01		0,10	0,05	0,01
3	1,406	1,412	1,414	20	2,447	2,623	2,959
5	1,791	1,869	1,955	25	2,537	2,717	3,071
7	1,974	2,093	2,265	30	2,609	2,792	3,156
10	2,146	2,294	2,540	40	2,718	2,904	3,281
15	2,326	2,493	2,800	50	2,800	2,987	3,370

$$V_{кр} \equiv V_{\alpha=0.05; n=25} = 2,717 \quad (3.8).$$

Расчетное значение критерия  $V_p$  сравниваем с критическим значением  $V_{кр}$  и выбираем справедливую гипотезу  $H_0$  или  $H_1$ .

Вывод:  $V_{кр} > V_p$ , следовательно

*Проверяем, является ли  $X_{min}$  грубой ошибкой.*

Расчетное значение критерия равно:

$$V_p = \frac{\bar{X} - X_{min}}{S_x} = \frac{25.040 - 18}{2.664} = 2,642. \quad (3.9)$$

Вывод: Так как,  $V_p < V_{кр}$ ,  $X_{max}$  не является грубой ошибкой подтверждается гипотеза  $H_1$ ; Так как,  $V_p < V_{кр}$ ,  $X_{min}$  не является грубой ошибкой подтверждается гипотеза  $H_0$

Для проверки случайности используем метод разностей. Для данной выборки формируем новую случайную величину  $d_i$ , равную разности смежных значений  $d_i = X_{i+1} - X_i$  (см. табл.3.6).

Рассчитываем дисперсию  $S_x^2$

$$c_x^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i \neq 1}^n d_i^2 = \frac{25.040}{48} = 0.0521 \quad (3.10)$$

Проверку гипотезы о случайности выборки выполним по критерию  $\tau$

$$\tau_p = \frac{c_x^2}{S_x^2} = \frac{0.052}{7.098} = 0.074, \quad (3.11)$$

где  $S_x^2$  – дисперсия случайной величины  $X$ ;  $C_x^2$  – дисперсия, подсчитанная по методу разностей.

Критическое значение выбранного критерия для объема выборки  $n \leq 20$

$\tau_{кр} \equiv \tau_{\alpha;n}$  находим по таблице 3.7

Таблица 3.7 – Критические значения  $\tau_{\alpha;k}$  критерия  $\tau$ , определяемые из условия

$$P(\tau < \tau_{\alpha;k}) = \alpha$$

n	$\alpha$		n	$\alpha$	
	0,05	0,01		0,05	0,01
4	0,390	0,256	10	0,531	0,376
5	0,410	0,269	12	0,564	0,414
6	0,445	0,281	14	0,591	0,447
7	0,468	0,307	16	0,614	0,475
8	0,491	0,331	18	0,633	0,499
9	0,512	0,354	20	0,650	0,520

Для выборки объемом больше  $n > 20$   $\tau$  распределено по нормальному закону распределения с параметрами

$$m_x = 1 ; S_x = \sqrt{\frac{1}{n+1} \cdot \left(1 - \frac{1}{n-1}\right)} \approx \frac{1}{\sqrt{n+1}} . \quad (3.12)$$

В этом случае  $\tau_{кр}$  определяется из условия

$$\frac{\sqrt{n+1}}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau_{кр}} \exp\left[-\frac{(\tau-1)^2 \cdot (n+1)}{2}\right] d\tau = \alpha . \quad (3.13)$$

Для  $n=25$ ,  $\alpha=0,05$  находим параметр нормирования ЗНР  $t = \frac{x-m_x}{S_x}$  по таблице 3.7 соответствующий уровню доверительной вероятности 0,95, получим  $t = 1,65$ , для 0,05  $t = -1,65$ .

Искомое значение будет равно  $\tau_{кр} = x = t \cdot S_x + m_x$ . Значение  $m_x = 1$ , а  $S_x$  подсчитываем по формуле (9)  $S_x = \frac{1}{\sqrt{25+1}} = 0,196$

Тогда

$$\tau_{кр} \equiv \tau_{\alpha=0,05;n=25} = -1,65 \cdot 0,196 + 1 = 0,6766 \quad (3.14)$$

Если  $\tau_p \geq \tau_{кр}$ , то принимаем гипотезу о случайности выборки,  $\tau_p < \tau_{кр}$ , то принимаем гипотезу о не случайном характере выборки.

Вывод: Так как  $\tau_p < \tau_{кр}$ , принимаем гипотезу о не случайном характере выборки.

Оцениваем достаточность выборки.

Рассчитаем оценочное значение среднего (3.14) для первых 3, 5, 10 и 25 значений и построим график зависимости среднего от объема выборки

Объем выборки	3	5	10	25
$m_x = \bar{x}$	21.456	22.192	23.090	25.813

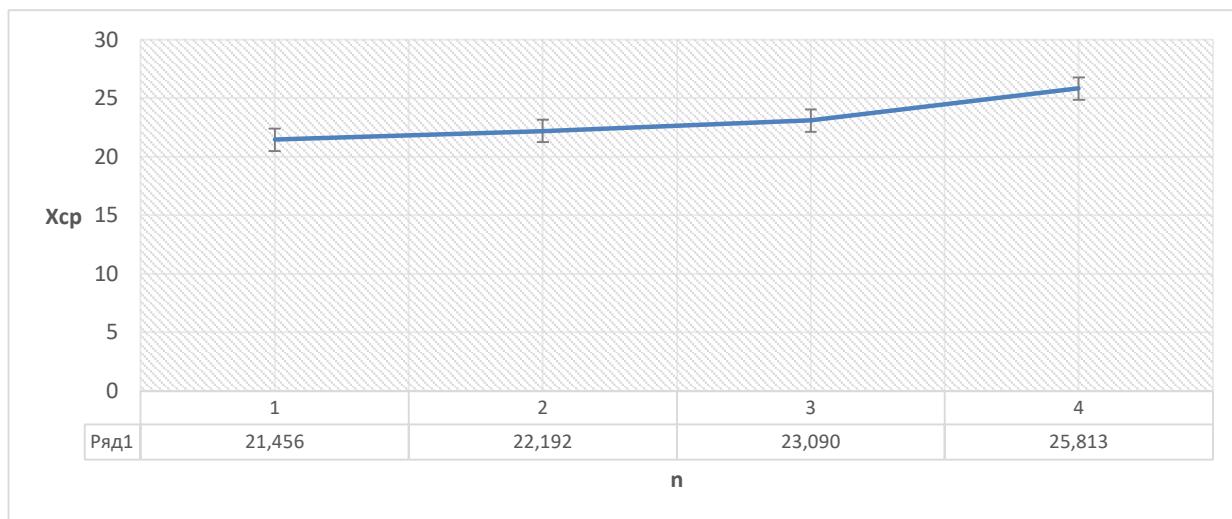


Рисунок 3.12 – Зависимость среднего от объема выборки

Необходимо проанализировать закономерность изменения среднего  $\bar{X}$  при увеличении объема выборки.

Вывод: Из графика видно, что среднее зависит от анализируемой величины и от объема выборки. Для достаточной выборки должно выполняться условие:

$$P(\bar{X} - I_{\text{дов}} \leq m_x \leq \bar{X} + I_{\text{дов}}) = \alpha \quad , \quad (3.15)$$

где  $I_{\text{дов}}$  – доверительный интервал для нахождения среднего значения;  $m_x$  – математическое ожидание среднего значения;  $\alpha$  – доверительная вероятность ( в расчетах принимаем  $\alpha=0,95$ ).

Для соблюдения условия (3.14) должно выполняться условие

$$\Delta = \frac{I_{\text{дов}}}{\bar{X}} \leq \frac{t_{\gamma;n} \cdot S_X}{\bar{X} \cdot \sqrt{n}} \quad , \quad (3.16)$$

$$\Delta = \frac{1.140}{25.813} = 0.044 \quad ,$$

$$\frac{2.060 \cdot 2.657}{25.813 \cdot \sqrt{25}} = 0.042$$

где  $\Delta$  – относительная погрешность определения среднего;  $t_{\gamma;n}$  – коэффициент Стьюдента (таблица , приложения 1),  $t_{\gamma=0,95;n=25} = 2,06$ .

Значение относительной погрешности задается методикой испытаний или измерений (в расчетах принимаем  $\Delta=10\%$  или 0,1).



Определяем минимально необходимый объем выборки:

$$n_p = \left( \frac{t_{\gamma;n} \cdot S_X}{\Delta \cdot \bar{x}} \right)^2 = \left( \frac{2.06 \cdot 2.657}{0.044 \cdot 25.813} \right)^2 23.224 \approx 24 \quad . \quad (3.17)$$

Значение относительной погрешности задается методикой испытаний или измерений (в расчетах принимаем  $\Delta=10\%$  или 0,1).

Полученное расчетное значение округляем до большего целого значения  $n_p = 24$  и сравниваем с объемом выборки

Представленный объем выборки удовлетворяет условию минимально необходимого объема, данную выборку можно считать достаточной.

Определение минимально необходимого числа измерений при разработке методики исследования.

$$d = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m} = \frac{30.906 - 18.479}{5} = 2,485 \quad .$$

Строим расчетную таблицу.

- установить левые и правые границы для каждого класса и занести в таблицу 2.1;
- определить среднее значение для каждого класса  $X_i$ ;
- принимается допущение 1: «значение случайной величины может принимать любое значение в пределах интервала, но в расчетах используем среднее значение (установили вариационный признак);
- подсчитываем количество выборочных значений, попадающих в каждый интервал (частоту)  $n_i$ ;
- определяем частоту (опытную вероятность)  $p_i$  (проверить условие нормирования:  $\sum_{i=1}^{m=5} p_i = 1$ );
- принимаем допущение 2: «значение вероятности в пределах интервала принимаем постоянными или подчиненными закону равномерной плотности».

Таблица 3.9 – Расчетная таблица

№ класса	Граница класса		Средняя класса $X_i$	Частота $n_i$	Частость $p_i = n_i/N$
	левая	правая			
1	18,479	20,964	19,722	1	0,04
2	20,964	23,449	22,207	3	0,12
3	23,449	25,935	24,692	10	0,4
4	25,935	28,420	27,178	7	0,28
5	28,420	30,906	29,663	4	0,16
				$\sum_{i=1}^m n_i = 25$	$\sum_{i=1}^m p_i = 1$

Определяем статистические характеристики.

Оценочное среднее:

$$\bar{X}_2 = \sum_{i=1}^{m=5} X_i \cdot p_i =$$

$$19.722 \cdot 0.04 + 22.207 \cdot 0.12 + 24.692 \cdot 0.4 + 27.178 \cdot 0.28 + 29.663 \cdot 0.16 = 25,686 \quad (2.1)$$

Оценочная дисперсия:

$$s_x^2 = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_2 - x_i)^2 \cdot P_i = 6,465 \quad (3.17)$$

$$(25,686 - 19,722)^2 + (25,686 - 22,207)^2 + (25,686 - 24,692)^2 + (25,686 - 27,178)^2 + (25,686 - 29,663)^2 = 6,465$$

Сравниваем полученные статистические характеристики, и характеристики подсчитанные ранее.

Для сравнения статистических характеристик подсчитаем относительную погрешность.

Для средних значений:

$$\Delta \bar{x} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\bar{x}_1} \cdot 100\% = \frac{25.813 - 25.606}{25.813} \cdot 100 = 0.802 \quad (3.18)$$

Для дисперсий:

$$\Delta s_{x2}^2 = \frac{s_{x1}^2 - s_{x2}^2}{s_{x1}^2} \cdot 100\% = \frac{7.06 - 6.465}{7.06} \cdot 100 = 8.428 \quad (3.19)$$

Сравниваем полученные погрешности. Если относительная погрешность окажется более 5% указать возможные причины и какие возможные действия необходимо предпринять.

Анализ полученных данных показывает удовлетворительную разницу между средними значениями 0,8%, а для дисперсии разницу существенная – 8,428%. В этом случае необходимо проводить дополнительные опыты.

Если провести дополнительные опыты невозможно, использовать поправку Шепарда  $\Delta s_x^2 = \frac{d^2}{12}$ . Для приближения оценочной дисперсии  $S_x^2$  к истинному значению при ограниченном числе опытных данных к дисперсии прибавим поправку Шепарда.

$$s_{x2}^2 = s_{x2}^2 + \frac{d^2}{12} = 6,465 + \frac{7,216}{12} = 7,066 \quad (3.20)$$

Для уменьшения относительной погрешности можно попробовать увеличить число интервалов и (или) провести дополнительные опыты.

Для построения гистограммы на горизонтальной оси в выбранном масштабе отмечаем границы соответствующих интервалов. На вертикальной оси выбираем масштаб в соответствии с максимальным значением опытной вероятности и откладываем значения вероятности для интервала.

Строят столбчатую диаграмму, затем середины столбчатой диаграммы соединяют отрезками ломаной прямой (рисунок 3.13 ).

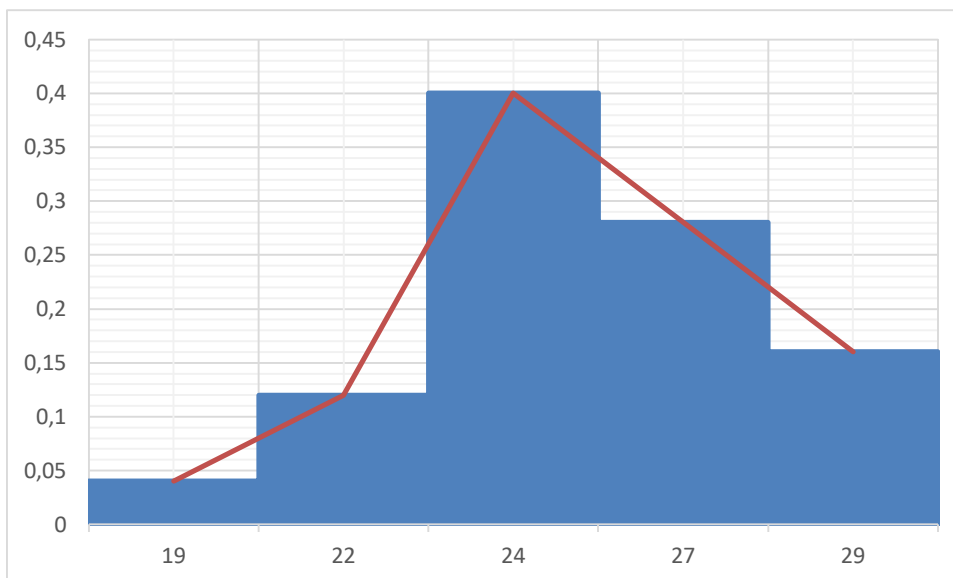


Рисунок 3.13 – Гистограмма и полигон распределения

Для построения графика накопленных относительных частот по вертикальной оси в интервале (0,1) откладываем накопленные частоты из условия:  $F^*(x) = P(X < x) = \alpha$ , где  $x$  – заданное значение. По горизонтальной оси, как и для гистограммы, отмечаем границы интервалов.

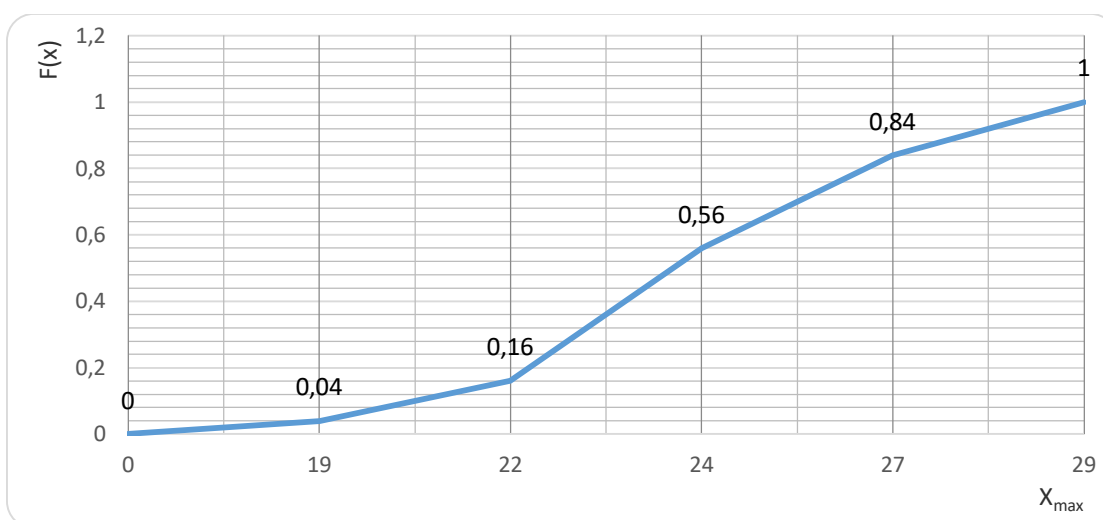


Рисунок 3.14 – Опытная функция распределения (кумулята)

Проверка гипотезы по критерию согласия Пирсона

- из таблицы 3.9 перенести значения середин интервалов  $X_i$  и опытные вероятности  $p_i$  в таблицу 3.10(столбцы 2 и 3);

- вычислить параметр нормирования  $t_i$  для закона нормального распределения (среднее  $\bar{x}=25.813$  и среднее квадратическое  $S_x = 2.657$  берутся из задания 1). Значения  $t_i$  записываем в столбец 4 таблицы 3.1.

$$t_i = \frac{x-a}{b} = \frac{x_i-\bar{x}}{S_x}; \quad (3.21)$$

- по значению  $t_i$  находим по таблице 3.10 значения теоретической функции плотности распределения для закона нормального распределения  $f(x_i)$  ;

Таблица 3.10 – Расчетная таблица преобразования выборки в ряд распределения

№ класса	$X_i$	$P_i$	$t_i$	$f(x_i)$	$\frac{[(p_i - f(x_i))]^2}{f(x_i)}$
1	19,722	0,04	-2,293	0,028985	0,004186
2	22,207	0,12	-1,357	0,160383	0,010168
3	24,692	0,4	-0,298	0,381388	0,000908
4	27,178	0,28	0,637	0,327133	0,006791
5	29,663	0,16	1,5724	0,116323	0,0164

- подсчитаем расчетное значение критерия Пирсона

$$\chi_p^2 = \sum_{i=1}^m \frac{[(p_i - f(x_i))]^2}{f(x_i)} = 0,038453; \quad (3.22)$$

- найдем критическое значение критерия Пирсона  $\chi_{кр}^2$ , по таблице 3.10 для уровня достоверности 0,95 и числу степеней свободы  $k=m-1=5-1=4$

$$\chi_{кр}^2 \equiv \chi_{\alpha=0.95;k=4}^2 = 0,71; \quad (3.23)$$

- сравним полученное расчетное значение с критическим и сделаем вывод о справедливости проверяемой гипотезы.

Так как  $\chi_p^2 \leq \chi_{кр}^2$ , то принимаем гипотезу о том, что случайная величина подчинена нормальному закону распределения

Проверка гипотезы по критерию согласия Колмогорова А.Н. [37]

- из таблицы 3.10 переносим значения середин интервалов  $x_i$ , опытные вероятности  $p_i$  и параметра нормирования  $t_i$  ;

- находим значения опытной функции  $F^*(x_i)$  распределения для середины интервалов (столбец 5):

$$F^*(x_1) = 1/2p_1 = 0,5 * 0,04 = 0,2;$$

$$F^*(x_2) = p_1 + 1/2p_2 = 0,04 + 0,5 * 0,12 = 0,1;$$

$$F^*(x_3) = p_1 + p_2 + 1/2p_3 = 0,04 + 0,12 + 0,5 * 0,4 = 0,36;$$

$$F^*(x_4) = p_1 + p_2 + p_3 + 1/2p_4 = 0,04 + 0,12 + 1 + 0,4 + 0,5 * 0,28 = 0,7$$

$$F^*(x_5) = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + 1/2p_5 = 0,04 + 0,12 + 0,4 + 0,28 + 0,5 * 0,16 = 0,92;$$

Находим значения теоретической функции распределения для  $t_i$  по таблице 3.10, при этом учитываем знак: для  $t_i < 0$  значение  $F(x) = 0.5 - \Phi(t)$ , а для  $t_i > 0$  значения  $F(x) = 0.5 + \Phi(t)$ . Полученные значения заносят в таблицу 3.11 (столбец б);

- находим разницу между опытной и теоретической функцией распределения (столбец 7):

$$D_i = |F^*(x_i) - F(x_i)| \quad ; \quad (3.24)$$

- находим максимальное значение  $D_i$  и рассчитываем расчетное значение критерия Колмогорова:

$$D_{\max} = \max |F^*(x_i) - F(x_i)| = 0,124; \quad (3.25)$$

$$\lambda_p = D_{\max} \cdot \sqrt{m} = 0,124 \cdot \sqrt{5} = 0,277; \quad (3.26)$$

Таблица 3.11 – Расчетная таблица для критерия Колмогорова

№	$X_i$	$P_i$	$t_i$	$F^*(x_i)$	$F^t(x_i)$	$D_i =  F^* - F^t $
1	19,722	0,04	-2,293	0,02	0,01101	0,00899
2	22,207	0,12	-1,357	0,1	0,08851	0,01149
3	24,692	0,4	-0,298	0,36	0,484	0,124
4	27,178	0,28	0,637	0,7	0,73565	0,03565
5	29,663	0,16	1,5724	0,92	0,94179	0,02179

- по таблице из источника [37] находим критическое значение для заданного уровня доверительной вероятности 0,95  $\lambda_{кр} = 0,3275$ ; сравниваем критическое значение с расчетным  $\lambda_p$  и делаем вывод о справедливости проверяемой гипотезы: Так как  $\lambda_p < \lambda_{кр}$ , следовательно, расхождение между теоретическими и опытными значениями не превышает допустимого значения

значит принимаем гипотезу о том, что случайная величина подчинена нормальному закону распределения.

Таблица 3.12 – Исходные данные для оценки статистической взаимосвязи двух случайных величин

№	$X_i$	$Y_i$	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(Y_i - \bar{Y})$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	9	249	-3,18	10,112	-34,200	1169,640
2	15	324	2,82	7,9524	40,800	1664,640
3	11	224	-1,18	1,3924	-59,200	3504,640
4	13,5	251	1,32	1,7424	-32,200	1036,840
5	12,4	368	0,22	0,0484	84,800	7191,040

Определим статистические характеристики:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i = 12.18$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i = 283.200$$

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 5.312$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 = 3641,700$$

$$s_x = \sqrt{s_x^2} = \sqrt{5,312} = 2.305$$

$$s_y = \sqrt{s_y^2} = \sqrt{3641.700} = 60,346$$

$$K_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) = \frac{1}{4} * 268,820 = 67,455$$

$$R_{xy} = \frac{K_{xy}}{s_x \cdot s_y} = \frac{67,455}{2.305 * 60.346} = 0,485$$

Оценим значимость коэффициента парной корреляции

Для этого расчетное значение коэффициента парной корреляции сравним с критическим значением (таблица 3.12)

$$r_{кр} \equiv r_{\alpha=0,05;n-2} = 0,811.$$

Сравниваем расчетное и критическое значение и делаем вывод:

Так как  $R_{xy} < R_{кр}$ , следовательно между объемом двигателя и мощностью нет существенной статистической взаимосвязи.

Находим уравнение большой оси эллипса рассеивания и строим график

$$\hat{y} = 283.200 + 0,25 * \frac{67,455}{2,305} (x - 12,18) = 290.516 * (x - 12,18)$$

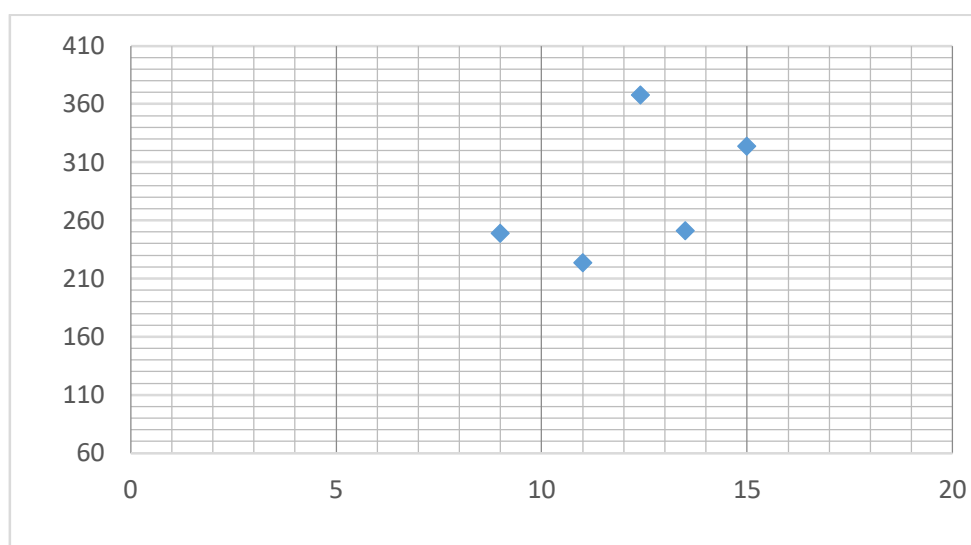


Рисунок 3.15 – Корреляционная зависимость

Таблица 3.13 – Критические значения коэффициента парной корреляции

k=n-2	Доверительная ошибка $\alpha$			k=n-2	Доверительная ошибка $\alpha$		
	0,10	0,05	0,01		0,10	0,05	0,01
1	0,988	0,997	0,999	6	0,621	0,707	0,834
2	0,900	0,950	0,990	7	0,582	0,666	0,798
3	0,805	0,878	0,959	8	0,549	0,632	0,765
4	0,729	0,811	0,971	9	0,521	0,602	0,735
5	0,669	0,755	0,875	10	0,497	0,576	0,708

Сравним полученные дисперсии и сделаем вывод о виде зависимости, рекомендуемой для аппроксимации опытных данных.



Таблица 3.14 – Исходные данные для анализа

№	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> · Y <sub>i</sub>	X <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	9	249	2241	81
2	15	324	4860	225
3	11	224	2464	121
4	13,5	251	3388,5	182,25
5	12,4	368	4563,2	153,76
	∑ x <sub>i</sub> = 60,9	∑ y <sub>i</sub> = 1416	∑ x <sub>i</sub> y <sub>i</sub> = 17516,7	∑ x <sub>i</sub> <sup>2</sup> = 763,01

1. Составим систему уравнений

$$a \cdot 5 + 60,9b = 1455$$

$$a \cdot 60,9 + 134,5b = 10010$$

2. Определим значения коэффициентов по предыдущим формулам:

$$a = \frac{\sum y_i \cdot \sum x_i^2 - \sum x_i \cdot \sum y_i x_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{1416 \cdot 763,01 - 60,9 \cdot 17516,7}{5 \cdot 763,01 - (60,9)^2} = 136,327$$

$$b = \frac{n \cdot \sum y_i x_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{5 \cdot 17516,7 - 60,9 \cdot 1416}{5 \cdot 763,01 - (60,9)^2} = 12,699$$

Получим уравнение прямой  $\hat{y} = 136,327 + 12,699 \cdot x$ .

3. Подсчитаем дисперсию адекватности для прямой по формуле (3.19)

$$S_{ад1}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{3} \cdot 11444,726 = 3814,9$$

Число степеней свободы равно  $f_{ад} = N - d - 1 = 5 - 1 - 1 = 3$ .

Таблица 3.15 – Определение дисперсии адекватности для прямой

№	X <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	$\hat{y}_i$	(y <sub>i</sub> - $\hat{y}_i$ )	(y <sub>i</sub> - $\hat{y}_i$ ) <sup>2</sup>
1	9	249	250,618	-1,618	2,617924
2	15	324	326,812	-2,812	7,907344
3	11	224	276,016	-52,016	2705,664256
4	13,5	251	307,7635	-56,7635	3222,094932
5	12,4	368	293,7946	74,2054	5506,441389
					∑(y <sub>i</sub> - $\hat{y}_i$ ) <sup>2</sup> = 11444,726

Эмпирические коэффициенты для уравнения параболы находим по программе «Полиномиальная регрессия» (рисунок 3.16). Для этого вводим вектор переменной  $X$  и  $Y$  (рисунок 3.16). В результате расчета в векторе  $S$  для уравнения 2-ой степени три последних цифры показывают значения коэффициентов уравнения:  $a=54.422$ ;  $b=25.467$ ;  $c=-0.534$  и дисперсии адекватности  $S_{ад2}^2 = 3706$ , Число степеней свободы  $f_{ад2} = N - 2 - 1=2$ .

Полиномиальная регрессия

$$X := (9 \ 15 \ 11 \ 13.5 \ 12.4)^T$$

$$Y := (249 \ 324 \ 224 \ 251 \ 368)^T$$

$$C := \text{regress}(X, Y, 2)$$

$$t := 3, 3.1.. 25$$

$$i := 0.. n - .1$$

$$\text{rows}(X) = 5$$

$$n := \text{rows}(X)$$

$$x := 0, 0.1.. 32$$

$$\text{mean}(Y) = 283.2$$

$$\text{var}(Y) = 2.913 \times 10^3$$

$$\text{stdev}(Y) = 53.976$$

$$\text{mean}(X) = 12.18$$

$$\text{var}(X) = 4.25$$

$$\text{stdev}(X) = 2.061$$

$$B(x) := \text{interp}(C, X, Y, x)$$

$$f1(x) := C_3 + C_4 \cdot x + C_5 \cdot x^2$$

$$\text{corr}(X, Y) = 0.485$$

$$x_i := X_i$$

$$\text{sad} := \frac{\sum (Y - f1(x))^2}{n - 2}$$

$$\text{sad} = 3.706 \times 10^3$$

$$C = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \\ 2 \\ 54.422 \\ 25.467 \\ -0.534 \end{pmatrix}$$

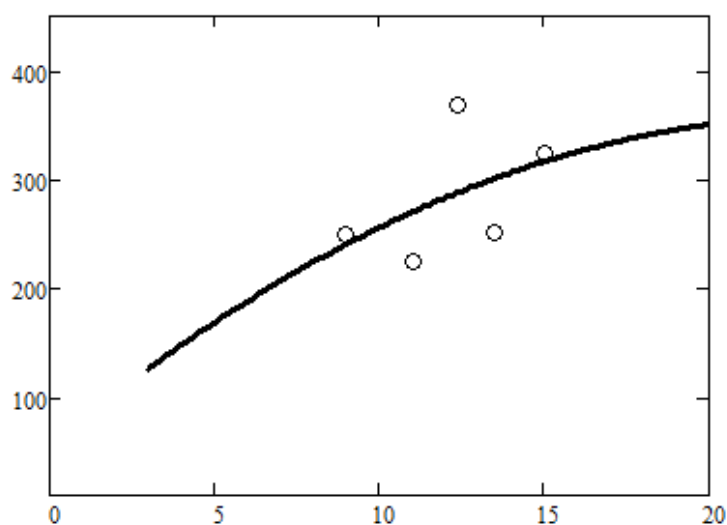


Рисунок 3.16 – Программа «Полиномиальная регрессия» [37]

3. Сравниваем дисперсии  $S_{ад1}^2$  и  $S_{ад2}^2$  по критерию Фишера

$$F_p = \frac{S_{ад1}^2}{S_{ад2}^2} = \frac{3814.9}{3706} = 1.029$$

По таблице 3.5 находим критическое значение :

$$F_{кр} \equiv F_{\alpha=0.05; k_1=5; k_2=4} = 5.132$$

Вывод: Так как  $F_{кр} > F_p$  , то дисперсии различаются существенно и выбираем уравнение, имеющее меньшую дисперсию адекватности.

Метод наименьших квадратов не может быть применим для нахождения эмпирических коэффициентов нелинейной зависимости (кроме степенных). Для таких функций подбирают порядок преобразования координат так, чтобы геометрический образ принял линейную форму.

Для вычисления параметров функции  $Y=ax^b$  необходимо предварительно ее прологарифмировать  $\ln Y = \ln ax^b = \ln a + b \ln x$  . После чего замена  $Z = \ln Y$  ,  $X = \ln x$  ,  $A = \ln a$  приводит заданную функцию к линейному виду  $Z = bX + A$  , где коэффициенты  $A$  и  $b$  вычисляются по формулам (5.7 и 5.8).

Аналогично можно подобрать параметры функции вида  $Y=ae^{bx}$ . Прологарифмируем заданную функцию  $\ln y = \ln a + bx \ln e$ ,  $\ln y = \ln a + bx$  . Проведём замену  $Y = \ln y$  ,  $A = \ln a$  и получим линейную зависимость  $Y = bx + A$  .

Для подбора параметров функции (гипербола)  $y = \frac{1}{ax+b}$  сделаем замену  $Z = 1/Y$  В результате получим линейную зависимость  $Z = ax + b$  .

Аналогичными приемами (логарифмированием, заменами и т. п.) можно многие подбираемые зависимости преобразовать к такому виду, что получаемая при решении задачи оптимизации была системой линейных алгебраических уравнений.

С помощью имитационной модели для условного 3 факторного пространства:

- задаться диапазоном варьирования каждого фактора;
- построить план-матрицу полного факторного эксперимента (ПФЭ  $2^3$ );

- провести имитационное моделирование в соответствии с блоком планирования план-матрицы и выбранными уровнями варьирования;
- провести дисперсионный анализ полученных результатов;
- получить уравнение регрессии и оценить его адекватность;
- оценить значимость коэффициентов уравнения.

Выбираем уровни варьирования действующих факторов. Верхний и нижний уровень варьирования каждого действующего фактора задается произвольно из допустимого диапазона (0,100) для условной физической системы и записываем в таблицу 3.16. При выборе интервала варьирования необходимо учитывать, что большие значения интервала повышают точность линейной аппроксимации, но при этом увеличивают погрешность описания.

Таблица 3.16 – Уровни варьирования действующих факторов

Уровни	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1.Нижний ( $x_{in}$ )	5	10	15
2.Верхний ( $x_{ib}$ )	35	30	25
3.Основной ( $x_{io}$ )	20	20	20
4. Интервал варьирования ( $J_{in}$ )	15	10	5

План-матрица представляет таблицу (таблица 3.17), в которой в первом столбце указывается номер опыта (для плана  $2^3$  потребуется проведение 8 опытов), второй – фиктивный столбец, необходимый для определения среднего значения функции отклика, 3, 4 и 5 столбцы представляют блок планирования и указывают очередность одновременного изменения факторов.

Для повышения точности аппроксимации включаем 3 повторности (столбцы 6, 7 и 8), в которые будем записывать результаты опытов. В столбцы 9 и 10 записываются результаты статистической обработки полученных результатов: среднее значение функции отклика в опыте и дисперсия. В последний столбец записывают значения отклика, подсчитанные по уравнению регрессии (3.6).

Таблица 3.17 – План-матрица полного факторного эксперимента ПФЭ  $2^3$

№ опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Повторности			$\bar{y}_j$	$S_j^2$	$\hat{y}_j$
					1	2	3			
1	+	+	+	+	8,335	8,538	9,029	8,634	0,085	8,543
2	+	-	+	+	8,537	8,465	7,949	8,317	0,068	8,193
3	+	+	-	+	8,330	8,083	8,518	8,310	0,032	8,281
4	+	-	-	+	8,146	8,007	7,984	8,046	0,005	7,931
5	+	+	+	-	8,187	8,509	8,268	8,321	0,019	8,413
6	+	-	+	-	8,260	8,611	8,021	8,297	0,059	8,063
7	+	+	-	-	8,280	8,612	8,547	8,480	0,021	8,151
8	+	-	-	-	7,301	7,524	8,233	7,686	0,158	7,226

Проведение имитационного моделирования.

Проведение эксперимента осуществляется в следующем порядке. Для каждого опыта в соответствии с блоком планирования (*столбцы переменных выделены жирной чертой*) в программе MathCAD [37,72], (рисунок 3.17) устанавливают значения переменных в физической системе (таблица 3.17) на верхнем (+1) или на нижнем (-1) уровне.

В каждом опыте задают моделирование трех значений ( $n:=3$ ) центрированных случайных поправок.

Результаты моделирования заносят в таблицу 3.17 :

- значения функции отклика для каждой повторности – 1, 2 и 3;
- среднее [ $\text{mean}(y)$ ];
- дисперсию [ $\text{var}(y)$ ].

В указанном порядке проводят 8 опытов.

### Планирование эксперимента

ввод значений переменных из области определения факторов в исходной размерности

$$x_1 := 2 \quad x_2 := 12 \quad x_3 := 14$$

ввести каждый раз число повторных опытов  
 $\text{mean}(y) = 8.001$

$$y := y_0 + c$$

$$n := 3$$

$$c := \text{norm}(n, 0, 0.3)$$

Значения функции отклика  
 в повторностях

$$y = \begin{pmatrix} 8.029 \\ 7.957 \\ 8.019 \end{pmatrix}$$

среднее

дисперсия

$$\text{var}(y) = 1.015 \times 10^{-3}$$

Рисунок 3.17 – Программа имитационного моделирования «Планирование эксперимента»

### *Дисперсионный анализ результатов эксперимента*

Проверяем однородность ряда дисперсий. Для оценки наличия грубых ошибок в полученных данных проверяем гипотезу об однородности ряда дисперсий, для этого выбираем максимальное значение дисперсии из проведенных опытов и подсчитываем расчетное значение критерия Кохрена

$$G_p = \frac{S_{jmax}^2}{\sum S_j^2} = \frac{0,158}{0,447} = 0,353 \quad (3.28)$$

Критические значения критерия находят по таблице [37,72] для относительной ошибки  $\alpha=0,05$ , для  $N=8$  опытов и 3 повторностей  $n=3$

$$G_{кр} \equiv G_{\alpha=0.05; N=8; n-1=2} = 0,516 . \quad (3.29)$$

Расчетное значение сравнивают с критическим и делают вывод: так как  $G_p < G_{кр}$  следовательно ряд дисперсий однороден и серии опытов (столбцы 6-8) не содержат грубых ошибок.

Определяем дисперсию воспроизводимости, оценивающую точность определения показателя (отклика функции)  $y$

$$S_B^2 = \frac{\sum S_j^2}{N} = \frac{0,447}{8} = 0,056 \quad (3.30)$$

Число степеней свободы для дисперсии воспроизводимости  $S_B^2$  равно  $f_B = N(n - 1) = 8 \cdot 2 = 16$ .

Определяем коэффициенты  $a_i$  уравнения регрессии (3.31) по методу наименьших квадратов

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3. \quad (3.31)$$

Для ортогональной матрицы ( $\sum x_i = 0$ ) метод наименьших квадратов примет вид

$$a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot \bar{y}_j \quad (3.32)$$

$$a_0 = \frac{1}{8} (8.335 + 8.537 + 8.330 + 8.146 + 8.187 + 8.260 + 8.280 + 7.301) = 8.172;$$

$$a_1 = \frac{1}{8} (8.634 - 8.317 + 8.310 - 8.046 + 8.321 - 8.297 + 8.480 - 7.686) = 0.175;$$

$$a_2 = \frac{1}{8} (8.634 + 8.317 - 8.310 - 8.046 + 8.321 + 8.297 - 8.480 - 7.686) = 0.131;$$

$$a_3 = \frac{1}{8} (8.634 + 8.317 + 8.310 + 8.046 - 8.321 - 8.297 - 8.480 - 7.686) = 0.065;$$

Получим уравнение

$$\hat{y} = 8,172 + 0,175x_1 + 0,131 x_2 + 0,065x_3.$$

$$\hat{y}_1 = 8,172 + 0,175 + 0,131 + 0,065 = 8,543;$$

$$\hat{y}_2 = 8,172 - 0,175 + 0,131 + 0,065 = 8,193;$$

$$\hat{y}_3 = 8,172 + 0,175 - 0,131 + 0,065 = 8,281;$$

$$\hat{y}_4 = 8,172 - 0,175 - 0,131 + 0,065 = 7,931;$$

$$\hat{y}_5 = 8,172 + 0,175 + 0,131 - 0,065 = 8,413;$$

$$\hat{y}_6 = 8,172 - 0,175 + 0,131 - 0,065 = 8,063;$$

$$\hat{y}_7 = 8,172 + 0,175 - 0,131 - 0,065 = 8,151;$$

$$\hat{y}_8 = 8,172 - 0,175 - 0,131 - 0,065 = 7,226;$$

Определяем дисперсию адекватности

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \cdot \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2 = \frac{0.419}{4} = 0,105 \quad (6.8)$$

Число степеней свободы для дисперсии адекватности равно  $f_{ад} = N - d - 1 = N - 3 - 1 = 4$ .

Оцениваем адекватность полученного уравнения, для чего сравниваем дисперсию воспроизводимости  $S_B^2$  и дисперсию адекватности  $S_{ад}^2$ . Для этого подсчитываем расчетное значение критерия Фишера

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_B^2} = \frac{0.105}{0.056} = 1.875 \quad (3.33)$$

Критическое значение критерия находим по таблице 7 (приложения 1 Методических указаний) для  $\alpha=0.05$ ;  $f_{ад} = 4$  и  $f_B = 16$

$$F_{кр} \equiv F_{\alpha=0.05; f_{ад}=4; f_B=16} = 3.007 \quad (3.34)$$

Сравниваем расчетное значение с критическим и делаем вывод что дисперсии отличаются не существенно, следовательно модель адекватна. Это означает то, что провести дополнительный опыт или рассчитать значение по уравнению регрессии равнозначно.

Оцениваем значимость коэффициентов уравнения регрессии. Для этого определяем среднее квадратическое отклонение для коэффициентов

$$S_{a_i} = \sqrt{\frac{S_B^2}{N \cdot n}} = \sqrt{\frac{0.056}{8 \cdot 3}} = 0.048 \quad (3.35)$$

Далее определяем расчетные значения критерия Стьюдента для каждого коэффициента при неизвестных

$$t_{p1} = \frac{a_1}{S_{a_i}} = \frac{0.175}{0.048} = 3.646;$$

$$t_{p2} = \frac{a_2}{S_{a_i}} = \frac{0.131}{0.048} = 2.729;$$

$$t_{p3} = \frac{a_3}{S_{a_i}} = \frac{0.065}{0.048} = 1.354.$$

По таблице [37,72] определяем критическое значение критерия Стьюдента для  $\alpha=0.05$ ,  $k = N \cdot n = 8 \cdot 3 = 24$



$$t_{кр} \equiv t_{\alpha=0.05;k=24} = 2,0639.$$

Сравниваем расчетные значения с критическим и делаем вывод: коэффициент  $a_3=0.065$  оказался незначим, так как  $t_{p1}$  меньше критического и его можно исключить из уравнения регрессии, коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$  – значимы

Задаемся уровнями варьирования факторов. В данном задании уровни варьирования перенесем из таблицы 3.17.

Таблица 3.18 – Уровни варьирования действующих факторов

Уровни	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1.Нижний	5	10	15
2.Верхний	35	30	25
3.Основной	20	20	20
4. Интервал варьирования	15	10	5

Построение план-матрицы дробного факторного эксперимента 2.

За основу плана берем план-матрицу ПФЭ 2<sup>2</sup> (4 опыта). Значения фактора X<sub>3</sub> приравняем к парному произведению  $x_3 = x_1 \cdot x_2$  (столбец 5). Повторности будем учитывать при проведении имитационного моделирования, но в таблицу 3.19 будем записывать только средние значения и дисперсию

Таблица 3.19 – План-матрица ДФЭ 2

№ опыта	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3 = x_1 \cdot x_2$	$\bar{y}_j$	$S_j^2$	$\hat{y}_j$
1	+	+	+	+	8,112	0,045	
2	+	-	+	-	8,496	0,085	
3	+	+	-	-	8,334	0,068	
4	+	-	-	+	8,202	0,032	

Проведение имитационного моделирования. Проведение эксперимента осуществляется в том же порядке, что и в таблице 3.17.

Результаты имитационного моделирования заносят в таблицу 3.20:

- среднее [mean(y)] ;
- дисперсию [var(y)].

Дисперсионный анализ результатов эксперимента

Проверка однородности ряда дисперсий

$$G_p = \frac{S_{jmax}^2}{\sum S_j^2} = \frac{0.085}{0.23} = 0.369 \quad (3.36)$$

Критическое значения критерия равно:

$$G_{кр} \equiv G_{\alpha=0.05;N=4;n-1=2} = 0.906 . \quad (3.37)$$

Расчетное значение критерия Кохрена сравниваем с критическим и делаем вывод: так, как  $G_p < G_{кр}$ , то принимаем гипотезу о том, что ряд дисперсий однороден, и следовательно в серии опытов грубых ошибок нет.

Определяют дисперсию воспроизводимости:

$$S_B^2 = \frac{\sum S_j^2}{N} = \frac{0.23}{4} = 0.057 \quad (3.38)$$

Число степеней свободы для дисперсии воспроизводимости  $S_B^2$  равно  $f_B = N(n - 1) = 4 \cdot 2 = 8$ .

Определяют коэффициенты  $a_i$  уравнения регрессии (3.31) по методу наименьших квадратов:

$$a_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot \bar{y}_j \quad (3.39)$$

$$a_0 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_{1j} \cdot \bar{y}_j = 0.25(8.112+8.496+8.334+8.202)=8.286;$$

$$a_1 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_{1j} \cdot \bar{y}_j = 0.25(8.112 - 8.496 + 8.334 - 8.202) = -0.063;$$

$$a_2 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_{2j} \cdot \bar{y}_j = 0,25(8.112 + \_8.496 - 8.334 - 8.202) = 0.018;$$

$$a_3 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_{3j} \cdot \bar{y}_j = 0,25(8.112 - 8.496 - 8.334 + 8.202) = -0.129.$$

Получим уравнение

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

$$\hat{y} = 8.286 - 0,063x_1 + 0,018 x_2 - 0.129x_3;$$

$$\hat{y}_1 = 8,286 + 0,063 + 0,018 + 0,129 = 8,496;$$

$$\hat{y}_2 = 8,286 - 0,063 + 0,018 - 0,129 = 8,112;$$

$$\hat{y}_3 = 8,286 + 0,063 - 0,018 - 0,129 = 8,202;$$

$$\hat{y}_4 = 8,286 - 0,063 - 0,018 + 0,129 = 8,334;$$

Определяем дисперсию адекватности

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_{ад}} \cdot \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2 = \frac{1}{3}(0.147+0.147+0.017+0.017) = 0.11 \quad (3.40)$$

Число степеней свободы равно  $f_{ад} = N - 0 - 1 = 3$ . Если дисперсия адекватности близка к 0, точки принадлежат поверхности и п 7 не проводят, считаем модель адекватной.

Для оценки адекватности полученного уравнения подсчитываем расчетное значение критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_B^2} = \frac{0.11}{0.057} = 1.93 \quad (3.41)$$

Критическое значение критерия Фишера находим по таблице [37,72] для  $\alpha=0.05$ ;  $f_{ад} = 3$  и  $f_B = 8$

$$F_{кр} \equiv F_{\alpha=0.05; f_{ад}=3; f_B=8} = 4,07 \quad (3.42)$$

Сравниваем расчетное значение с критическим и делаем вывод:

так, как расчетное значение меньше критического, то делаем вывод о том, что сравниваемые дисперсии отличаются не существенно, следовательно модель адекватна. Это означает то, что провести дополнительный опыт или рассчитать значение по уравнению регрессии равнозначно.

Для уровней варьирования 3-х факторов, принятые в [37,72], и уравнения регрессии (3.31) :

- рассчитать допустимые смещения вдоль осей для движения вдоль вектора градиента и составить план эксперимента;

- с помощью имитационной модели для условного 3-х факторного пространства проводить опыты, начиная с центра факторного пространства;

- после каждого опыта провести анализ динамики изменения частного сечения неизвестной функции отклика и проводить опыты до достижения максимума.

Задаемся уровнями варьирования факторов Таблица 3.20. При выполнении задания уровни варьирования перенесем из таблицы 3.17.

Таблица 3.20 – Уровни варьирования действующих факторов

Уровни	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1.Нижний	5	10	15
2.Верхний	35	30	25
3.Основной	20	20	20
4. Интервал варьирования	15	10	5

В качестве опорного решения берем результаты полного факторного эксперимента (таблица 3.17). Уравнение регрессии, полученное при проведении полного факторного эксперимента

$$\hat{y} = 8.172 + 0.175x_1 + 0.131x_2 + 0.065x_3 \quad (3.43)$$

Построение расчетной таблицы и матрицы планирования (таблица 3.21).

1. В первую строчку запишем коэффициенты уравнения с соблюдением знака (учитываем только значимые значения коэффициентов).

2. Значения коэффициентов умножаем на величину интервала варьирования (табл.3.21) и результат записываем во вторую строчку.

3. Находим базовый коэффициент, соответствующий минимуму абсолютных значений второй строчки.

4. Подсчитываем масштабный коэффициент и рассчитываем расчетный шаг движения вдоль градиента (строчка 3). Расчетные значения округляют до удобного для реализации эксперимента значения  $\Delta_i$ .

Таблица 3.21 – Расчетная таблица матрица планирования эксперимента

Показатель	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Расчеты
1. Коэффициенты уравнения, $a_i$	0.175	0.131	0,065	$Min\{ a_i \cdot J_i \} = 1,31$ $a_{\delta a_3} = 0.131$ Масштабный коэффициент: $k_m = 1/a_{\delta a_3} = 7,633$
2. Произведение $a_i \cdot J_i$	2.625	1.31	0.325	
3. Расчетное смещение (шаг движения), $a_i \cdot J_i \cdot k_m$	20.036	9,99	2.480	
4. Округленный шаг смещения $\Delta_i$	20	10	2	
0 ( $x_{i0}$ )	20	20	20	$y_0 = 8,346$
1	40	30	22	$y_1 = 8.576$
2	60	40	24	$y_2 = 8,269$
3	80	60	26	$y_3 = 8,601$
	10	80	28	8,193

Максимум функции отклика  $y_{\max} = 8,547$  достигается в точке с координатами  $X_1=80; X_2=60; X_3=26$ .

### 3.4 Результаты смешивания лечебных кормов и премиксов

Результаты исследований и опытов по смешиванию сыпучих кормов показывают, что лучшая однородность смеси достигается в режиме псевдооживления [9].

Конвективное смешивание в псевдооживленном слое отличается высокой эффективностью, малым временем смешивания, простой конструкцией, однако при работе смесителя происходит сегрегация смеси – рассортирование компонентов по удельной массе частиц и размерам. Поэтому, для каждого типа смесителя и вида смеси необходимо экспериментально установить режим работы смесителя: соотношение компонентов, число оборотов вала смесителя, время смешивания, степень загрузки емкости смесителя и др. Процесс смешивания зависит, в основном, от конструкции смесителя, рабочих органов и режима его работы [11,12,13].

Известно, что самые напряженные и ответственные детали и узлы самолетов, ракет, кораблей и др. в настоящее время изготавливаются из композитных материалов. Это достигается путем совместного измельчения состава полимеров до мельчайших частиц и одновременного диффузионного смешивания с последующим нагревом и прессованием, где уже между частицами, составляющих полимеров, действуют межмолекулярные силы [30].

Установка диска из искусственных жерновых камней, закаленного чугуна, песчаников или гранита и других точильных камней с высоким коэффициентом трения обеспечивает процесс смятия, а угол трения  $\alpha=12-15^\circ$  [41]. Насечка на рабочей поверхности рабочего диска в форме Архимедовой спирали определена из условий сохранения постоянного угла зацебления измельчаемых кусочков  $\beta=18-20^\circ$  по всему диаметру диска [42,44]. Угол трения, угол зацебления и зазоры проверены экспериментально и на практике.

Особенность смешивания лечебных препаратов и витаминных термолабильных и минеральных премиксов в том, что размеры частиц солей микроэлементов, используемых в комбикормовом производстве, варьируют в широких пределах – от пылевидных, способных витать в воздухе, до аномально крупных (1,2 мм), ограниченных лишь требованиями ГОСТ 52356-2005 «Премиксы. Номенклатура показателей», что не противоречит действующим нормативным документам [47].

Если размер компонентов не соответствует нормативам (ГОСТ), то для цыплят-бройлеров в норму комбикорма 20 грамм в сутки может не попасть нужный элемент, а если в эти 20 грамм корма попадает лишь одна частичка размером 1,2 мм, то будет перекорм. Применяемые компоненты являются солями тяжелых металлов. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов, даже при невысоких превышениях допустимых норм, а также способствуют биоаккумуляции их в организме. Однако, их применение позволяет на треть повысить продуктивность животных, птицы и рыб [34].

Если в смесителе частицы различной крупности и плотности движутся независимо и вероятность попадания каждой из них в любое место смеси одинакова, то конечное распределение компонентов в смесителе считается равномерным, а смесь принимается как однородная. Это идеальный случай работы смесителей.

Математическое описание этого сложного многофакторного процесса смешивания, основанного на применении математических методов планирования экспериментов, позволяет получить аналитические распределения компонентов смеси [37,50]. В общем случае объект исследования можно представить в виде структурной схемы, показанной на рисунке 3.18.

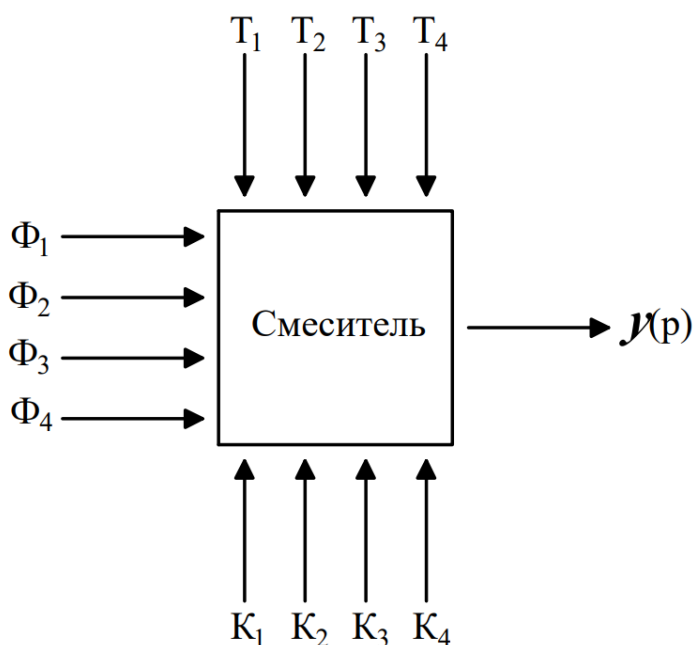


Рисунок 3.18 – Структурная схема связей физико-механических, технологических и конструктивных факторов, влияющих на процесс смешивания

Физико-механические факторы:  $\Phi_1$  – размер частиц, смешиваемых ингредиентов;  $\Phi_2$ - удельный вес препаратов и наполнителя;  $\Phi_3$ - сыпучесть препаратов и наполнителя;  $\Phi_4$ - концентрация контрольного компонента в смеси.

Технологические факторы:  $T_1$ - время смешивания;  $T_2$  – скорость вращения вала ротора;  $T_3$  – окружная скорость концов лопастей;  $T_4$  – удельные затраты энергии.

Конструктивные факторы:  $K_1$  – количество лопастей;  $K_2$  – угол наклона лопастей;  $K_3$  – емкость ванны смесителя;  $K_4$  – отношение  $L/D$  (длины лопасти к диаметру емкости смесителя);  $K_5$  – ширина лопастей.

Представление объекта в виде такой схемы основано на принципе «черного ящика». Имеем следующие группы параметров:

- 1) управляющие (входные)  $\Phi_i$ ,  $K_i$  и  $T_i$ , которые называются факторами;
- 2) выходной параметр  $y$ , параметр оптимизации (однородность);

Каждый фактор  $\Phi_i$ ,  $K_i$  и  $T_i$  имеет область определения, которая должна быть установлена до проведения эксперимента.

Комбинацию факторов можно представить как точку в многомерном пространстве, характеризующую состояние системы.

На практике целью многофакторного эксперимента является установление зависимости  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , описывающей поведение процесса смешивания.

По результатам анализа, выявлены следующие факторы, существенным образом влияющие на параметр оптимизации ( $y$ ), формула может быть представлена в таком виде:

$$y = f\left(P; \frac{Y_k}{Y_n}; \frac{d_n}{d_k}; C\right), \quad (3.44)$$

где  $y$  – параметр оптимизации – однородность смеси, %;  $P$  – концентрация ключевого компонента, %;  $\frac{Y_k}{Y_n}$  – соотношение удельных весов контрольного компонента и наполнителя;  $\frac{d_n}{d_k}$  – соотношение размеров частиц наполнителя и контрольного компонента;  $C = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$ ; [54].

Однородность смеси в основном зависит от указанных выше факторов. Известны и другие менее значимые факторы: парусность смешиваемых компонентов, коэффициенты их внешнего и внутреннего трения, удельные затраты энергии, которые для упрощения решения задачи не учитываются.

Комбинацию факторов можно представить как точку в многомерном пространстве, характеризующую состояние системы, тогда она примет вид полинома (многочлена) [59]:



$$y = b_0 \sum_1^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_1^k b_{ji} x_i^2 \quad (3.45)$$

где  $y$  – расчетное значение параметра оптимизации;  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ji}$  – коэффициенты регрессии;  $x_i$  и  $x_j$  интервалы варьирования, выбираются из данных, приведенных в условиях матрицы, интервал варьирования факторов выбирается с учетом условий приготовления смесей лечебных кормов.

Составляем матрицу планирования эксперимента (таблица 3.22), которая представляет собой таблицу дискретных величин и факторов.

Таблица 3.22 – Матрица планирования эксперимента

	код	P	$\frac{\gamma_k}{\gamma_n}$	$\frac{d_n}{d_k}$	C	Степень неоднородности смеси	
			X1	X2		X3	X4
Верхний уровень	+1	0,3	5	17	0,33	>12,2	12,95
Нулевой	0	0,15	3	9	0,24	>5,04	6,54
Нижний	-1	0,001	0,6	1	0,15	>7,33	6,72
Интервал варьирования		0,7	1,5	6	0,09		

Сопоставление значений P;  $\frac{\gamma_k}{\gamma_n}$ ;  $\frac{d_n}{d_k}$ , представленных в таблице 3.22, с аналогичными значениями данных исследования [64] показывает, что в предложенном варианте разрыв между верхним и нижним уровнем всех показателей, а также интервал варьирования значительно больше, чем у сравниваемого варианта, поэтому значение параметра оптимизации предложенного варианта  $y$  больше.

Этот вывод является убедительным поводом для разработки нового способа и смесителя, обеспечивающего заданную однородность лечебных кормов (не менее 95-98%).

Смешивание в смесителе с цилиндрическим вертикальным корпусом и плоскими лопастями, установленными под углом  $45^\circ$  к оси вала, осуществляется

следующим образом. Под действием вращающихся наклонных лопастей материально-воздушный поток перемещается по вертикальной цилиндрической поверхности корпуса смесителя и скапливается в ее верхней части, а под действием вакуума, который образуется при вращении лопастей по оси корпуса и гравитационных сил, поступает на лопасти и процесс повторяется.

Образуется замкнутый материально-воздушный поток в виде воронки, в котором непрерывно повторяется один и тот же установившийся процесс конвективного смешивания и разделения (сегрегации) соответствующей смеси, где частицы по удельному весу, форме, размерам и другим особенностям смешиваемых компонентов потока в поле аэродинамических, гравитационных и центробежных сил приобретают устойчивую скорость и траекторию движения. При этом созданы равные условия для смешивания и разделения (рисунок 3.19).

Протекание процесса смешивания препаратов с наполнителем в смесителе с вертикальным цилиндрическим и сферическим корпусами:

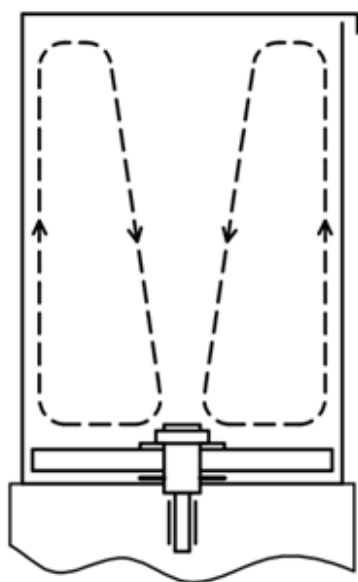


Рисунок 3.19 – Конвективный способ смешивания

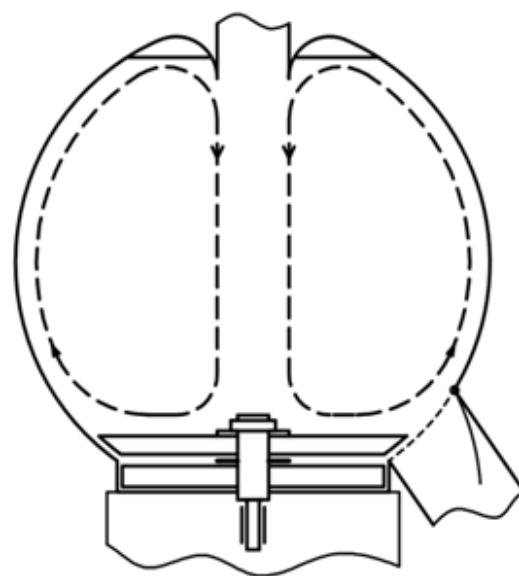


Рисунок 3.20 – Конвективный и диффузионный способ смешивания

Диффузионное смешивание осуществляется способом взаимного внедрения компонентов при совместном смятии, в результате из двух гетерогенных (неоднородных) компонентов образуется гомогенный

(однородный) продукт – вещества находятся в одном агрегатном состоянии и при последующем смешивании не разделяются. Диффузионное смешивание представляется как процесс взаимного проникновения молекул одного вещества между молекулами другого, что приводит к выравниванию их концентрации по всему занимаемому объему. При этом происходит перенос вещества с мест высокой концентрации в места низкой концентрации и наоборот. Атомы соприкасающихся материалов перемешиваются на границе соприкосновения рабочих органов (рисунок 3.20) [65].

Известно, что при добыче золота, алмазов и других полезных ископаемых в аэродинамическом потоке используется вогнутая сферическая поверхность, изменяющая скорость и траекторию движения частиц различных по удельному весу, размерам и форме.

Исследования показывают, что точка отрыва (схода) частиц отдельных компонентов из воздушно-материального потока смеси, которая формируется лопастями на рабочей поверхности диска и выбрасывается по всему периметру ( $360^\circ$ ) на нижнюю вогнутую, внутреннюю сферическую поверхность корпуса смесителя и движется снизу-вверх, зависит от скорости витания (удельного веса) компонента.

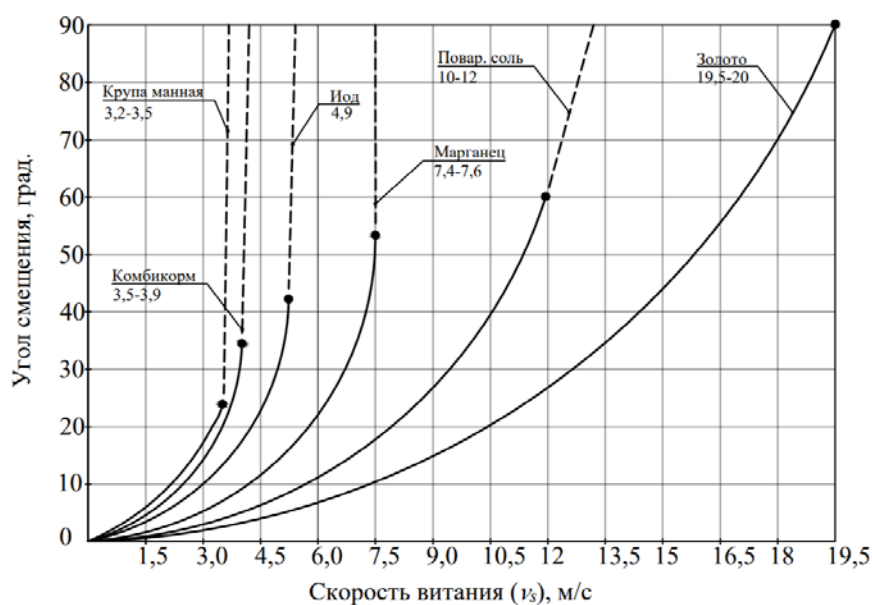


Рисунок 3.21 – Точка отрыва (схода) различных материалов от сферической поверхности, град

Из графика видно (рисунок 3.21), что точка отрыва легких компонентов начинается на высоте 20°, а тяжелых – 110-130°. Достигнув верхней точки сферы материально-воздушный поток под воздействием вакуума и собственного веса с различной скоростью частиц движется вниз к оси вала. Таким образом созданы условия свободного движения частиц компонентов с различными физико-механическими свойствами (удельным весом и скоростью витания), в объеме шарового смесителя.

При свободном падении твердого тела в воздухе на него действуют две силы: вес тела и сила сопротивления среды. Вес тела равен его массе умноженной на ускорение свободного падения, а сила сопротивления пропорциональна площади поперечного сечения тела, квадрату скорости и плотности атмосферы. Поэтому любое твердое тело падает равноускоренно только на начальном этапе. С ростом скорости ускорение свободного падения сокращается с 9,81 м/с<sup>2</sup> до 0 м/с<sup>2</sup> и тело продолжает свое падение с постоянной скоростью.

Таблица 3.23 – Скорость витания материалов

Наименование материала	Скорость витания, м/с
Горох шлифованный	14,7-15,5
Крахмал	1,5-1,8
Крупа манная	3,2-4,5
Комбикорм мелкий сухой	3,5-3,9
Просо	8,2-9,5
Соль мелкая (до 1 мм)	9,8-12

Скорость потока, при которой частица находится во взвешенном состоянии или в состоянии безразличного равновесия, называется скоростью витания ( $v_s$ ).

Любая твердая частица может находиться во взвешенном состоянии при условии равенства веса частицы силам, возникающим при движении воздушного потока, и действующим на частицу, в направлении, снизу-вверх (рисунок 3.22).

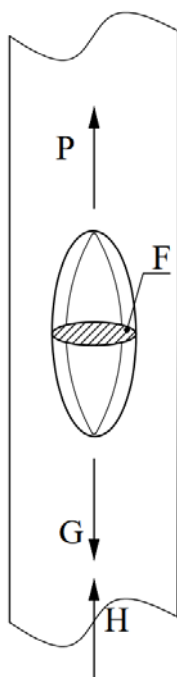


Рисунок 3.22 – Движение твердой частицы в вертикальном воздушном потоке

$G$  – вес частицы;  $F$  – площадь миделевого сечения частицы;  $P$  – сила, действующая на частицу снизу вверх под воздействием воздушного потока –  $H$

Сила действия движущегося воздуха может быть определена из выражения:

$$P = k \cdot A \cdot \rho_a \cdot v_s^2 \quad (3.46)$$

где  $k$  – безразмерный коэффициент пропорциональности;  $F$  – площадь миделевого сечения частицы,  $m^2$ ;  $\rho_a$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ ;  $v_s$  – скорость витания,  $m/s$ .

В свою очередь скорость витания равна:

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{k \cdot F \cdot \rho_a}} \quad (3.47)$$

Таблица 3.22 – Влияние размера частиц на эффективность смешивания

Средний размер частиц комбикорма, мкм(микрон)	Время смешивания, мин		
	0,5	1,5	3,0
	Коэффициент вариации, %		
<699	35,1	8,3	8,8
100-899	43,1	10,3	8,7
>900	50,1	14,3	11,6

Из таблицы 3.22 видно, что коэффициент вариации однородности смеси возрастал с увеличением размера частиц и времени смешивания. Из этого следует, что помол премикса, добавляемого в комбикорм, должен быть максимально однородным.

Однородность смеси (коэффициент вариации) зависит от уровня загрузки ванны смесителя. Перегрузка, даже на 20%, приводит к снижению качества смеси.

Таблица 3.23 – Влияние заполнения смесителя и времени смешивания на коэффициент вариации однородности смеси

Заполненный объем,%	Время смешивания, мин	Коэффициент вариации,%	
		лизин	метионин
100	2,0	11,99	34,61
100	2,5	8,33	4,99
100	3,0	4,64	2,59
120	2,0	56,18	34,88
120	2,5	62,58	31,37
120	3,0	33,96	29,80

Коэффициент вариации ( $V_c$ ) распределения компонентов в выборках ( $M_b$ ) зависит от уровня его ввода в смесь, его плотности и размера частиц [69].

Результаты опытов по смешиванию сыпучих кормов показывают (рисунок 3.23), что небольшая однородность смеси достигается в режиме псевдооживления.

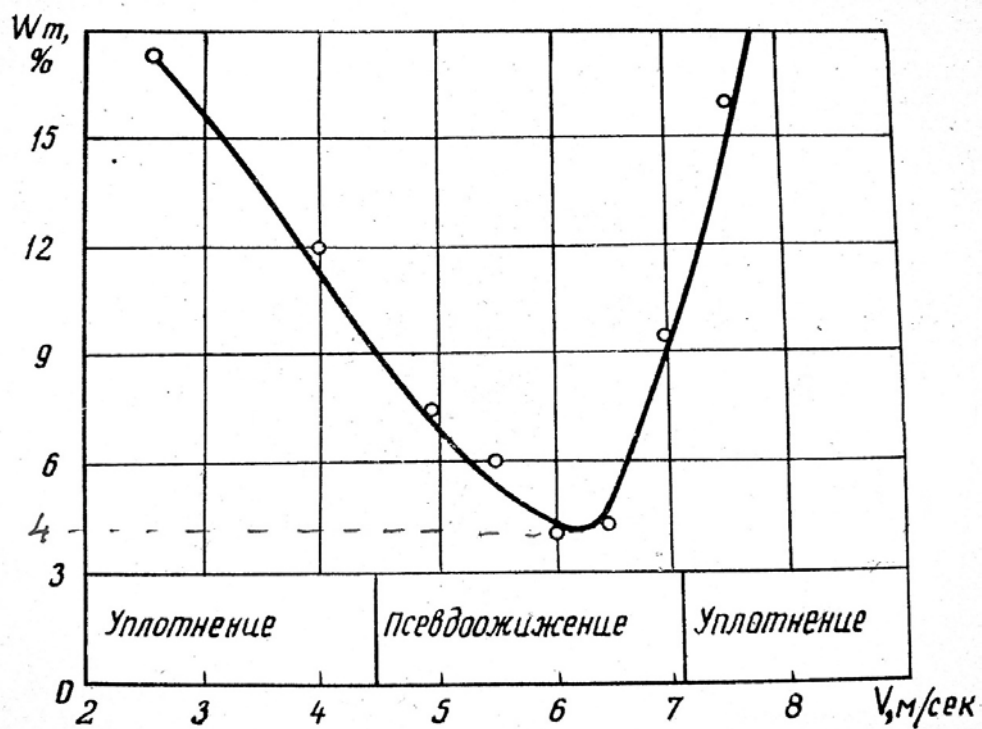


Рисунок 3.23 – Качество смешивания сыпучих кормов при различных физических состояниях

Таблица 3.24 – Коэффициенты вариации распределения компонентов в зависимости от содержания микроэлементов в корме от плотности, размеров частиц компонентов, от веса выборок

Микроэлемент	Нормы содержания микроэлемента в комбикорме, г/т	Компонент-носитель микроэлемента	Плотность частиц компонента, г/см <sup>3</sup>	Средний размер частиц компонента, мк	Коэффициенты вариации (Vс) распределения компонента в выборках, %	
					Мв=20 г	Мв=150 г
1	2	3	4	5	6	7
Zn	70,0	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	3,740	320	10,2	3,7
Zn	70,0	$ZnCO_3$	4,440	360	21,2	7,7
Zn	70,0	$ZnO$	5,700	210	11,9	4,4
Co	1,0	$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	1,948	800	232,5	84,9
Co	1,0	$CoCO_3$	4,130	560	292,6	106,9
Co	1,0	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	1,924	1130	424,6	155,0

Продолжение таблицы 3.24

Mn	100,0	$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	2,950	280	6,1	2,2
Mn	100,0	$MnCO_3$	3,125	120	2,5	0,9
Cu	2,5	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	2,290	640	122,1	44,6
Cu	2,5	$CuCO_3$	4,000	100	15,2	5,6
J	0,7	$KJ$	3,140	620	459,4	167,7
Se	0,2	$Na_2SeO_3$ (измельченный)	3,070	320	244,0	89,1
Se	0,2	$Na_2SeO_3$ (измельченный)	3,070	780	928,4	339,0

Из таблицы 3.24 видно (столбец 6 и 7), что коэффициент вариации менее 5% в выборках 20 г распределен смесителем только один компонент ( $MnCO_3$ ), а в выборках 150 г уже четыре компонента. Сравнивая значения столбцов 6 и 7 можно отметить, что с увеличением выборок коэффициент  $V_c$  снижается.

Размеры частиц солей микроэлементов, используемых в комбикормовом производстве, варьируют в широких пределах – от пылевидных, способных витать в воздухе, до аномально крупных (1,2 мм), ограниченных лишь требованиями ГОСТ 52356-2005 «Премиксы. Номенклатура показателей», что не противоречит действующим нормативным документам.

Если размер компонентов не соответствует нормативам (ГОСТ), то для цыплят-бройлеров, норма комбикорма 20 г в сутки, может не попасть нужный элемент, а если в эти 20 г корма попадает лишь одна частичка размером 1,2 мм, то будет перекорм. Применяемые компоненты являются солями тяжелых металлов. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов, даже при невысоких превышениях допустимых норм, а также способствуют биоаккумуляции их в организме.

Качество смешивания комбикормов определяется следующими показателями: уровнем ввода компонентов в смесь (например 1:100 000, то есть препарат массой 10 г распределяется в 1т (10 :100 000), коэффициентом вариации ( $V_c$ ) – от 2 до 5%, с которыми эти 10 г должны быть распределены смесителем и весом выборок -  $M_B=20-150$  г. При производстве комбикормов,



содержание в них витаминов К3, В1,В2,В6 в 1т не достигают и 10 г, а таких микроэлементов, как фолиевая кислота, витамин В12, биотин, селенит натрия, соли кобальта и йода не превышают 1 г. Эти биологически активные вещества важны, они обеспечивают состояние здоровья, рост продуктивности животных и птицы. На современных комбикормовых заводах в качестве индикаторов применяют ферромагнитные микротрейсеры (МТ).

Микротрейсеры надежные и безопасные добавки премиксов используются для поддержания здоровья животных; для оценки качества смешивания. Микротрейсеры добавляют в микроколичествах, результаты их легко воспроизводимы; они не токсичны, дешевы, не изменяют цвет премиксов [3]. Микротрейсеры содержат частицы железа, нержавеющей стали, покрытые слоем пищевых красителей. Количество МТ добавляемых в комбикорм - от 5 до 50 г/т для проверки качества перемешивания. Разрешенное содержание железа в кормах – до 100 г/т, пищевого красителя в МТ до 2%, т.е. до 2 г/т. Число частиц на грамм: микротрейсеры FS:50 000 частиц на гр., микротрейсеры RF: более 1 000 000 частиц на грамм.

МТ бывают разного цвета: синий, красный, оранжевый, зеленый,желтый, фиолетовый, различные сочетания цветов.

Физиологические свойства МТ: микротрейсеры F и FS не усваиваются организмом животных, RF частично усваиваются (15-20% их использования разрешено в количестве 100 г/т комбикорма). Применяют пищевые красители, полимерные связующие (шеллак), карбонат натрия, они разрешены для использования в кормах. Выбор растворителей для проявления цветных пятен от частиц микротрейсеров и определения концентрации красителя:

- вода или вода и этиловый спирт (1:1) для всех водорастворимых красителей;
- 100% этиловый спирт для красителя «Природный и желтый»;
- 7% раствор карбоната натрия – для всех водонерастворимых красителей (красители-лаки).

Количество МТ на одну тонну: если МТ добавляются к комбикормам как микроэлементы, то их количество не превышает 3-5 г/т комбикорма; если МТ используются для оценки качества смешивания комбикормов или премиксов (индикатор), то норма ввода 50 г/т комбикорма. В этом случае на 1 т комбикорма приходится 1250 000 оранжевых частиц или 125 частиц/г.

Для извлечения микротрейсеров из образцов комбикорма или премиксов используется простой прибор (детектор).

Устройство и принцип действия прибора (банки Мейсона США) очень простой. Стеклобанка на 0,5-1,0 литра с крышкой, на нижней части которой установлен плоский магнит, на поверхность магнита накладывается экран из чистой бумаги. В банку засыпают 60-70 г. смеси, закрывают крышку и встряхивают в течение 2-3 минут. Плоский магнит притягивает частички ферромагнитных МТ и они удерживаются на бумажном экране; затем его промывают смесью этилового спирта и воды. После подсушивания фильтровальной бумаги на электрической плитке цветные пятна подсчитывают вручную и по известной формуле 3.44 определяют коэффициент вариации или однородности смеси в процентах.

Формула предложена на основании многочисленных экспериментов и математической статистики [4,5,6]:

$$V_c = \frac{100}{B_0} \sqrt{\frac{\sum (B_i - B_0)^2}{n-1}} \%, \quad (3.48)$$

где  $B_i$  – фактическое содержание контрольного компонента в пробе, кг (шт.);

$B_0$  – расчетное содержание контрольного компонента в пробе, кг (шт.).

Оценка определяется из 10-20 проб весом 60-70г. Исходя из эффективности скармливания комбикормов различной степени однородности, технических возможностей в нашей стране установлены допустимые пределы однородности смешивания. Так, для поросят в возрасте до 4 месяцев  $V_c < 7\%$ , свиней старше 4 месяцев  $V_c < 10-15\%$ , для птицы  $V_c < 10\%$ , для КРС  $V_c < 12-16\%$  [7].

В США и передовых странах мира на современных комбикормовых заводах придерживаются следующих показателей качества смешивания: при  $V_c < 3\%$  качество смеси отличное, при  $V_c > 3\% < 7\%$  - хорошее, при  $V_c > 7\% < 15\%$  - удовлетворительное, при  $V_c > 15\%$  - плохое.

1. Рациональное использование комбикормов, премиксов и лечебных кормов возможно при высокой однородности смеси, при этом, коэффициент вариации находится в пределах  $2\% < V_c < 15\%$ .

2. Для определения однородности смешивания комбикорма в качестве индикаторов (маркеров) целесообразно использовать ферромагнитные микротрейсеры (МТ).

Для этого было изучено поведение частиц различной плотности и крупности состава воздушно-материального потока в поле центробежных, гравитационных и аэродинамических сил; исследовать их миграцию и влияние искривленных, вогнутых (сферических) поверхностей на траекторию их перемещения; определить наиболее рациональные условия (режимы) получения высокой однородности смеси микроскопических лечебных препаратов, малых доз термолабильных витаминных и минеральных добавок с наполнителем.

Рассмотрим энергетику смешиваемых частиц на горизонтальной вращающейся лопасти (точка А), на вогнутой (кривизне) сферической поверхности (точка В), и на вертикальном участке корпуса смесителя (точка С) (рисунок 3.18).

При рассмотрении движения отдельной твердой частицы, находящейся на рабочей поверхности треугольной лопасти смесителя (рисунок 3.19, точка А) приняты следующие допущения [7]: частицы считаем шарообразными и изолированными одна от другой, не учитываем скорость турбулентного воздушного потока, создаваемого ротором в сферическом объеме и не учитываем движение частиц по оси  $u$ .

Движение единичной рассматриваемой частицы описывается уравнением:

$$m \frac{dv}{dt} = \sum_i F_i , \quad (3.49)$$

где  $m$  – масса частицы;  $\frac{dV}{dt}$  – ускорение частицы;  $\sum_i F_i$  – равнодействующая сила, приложенная к частице  $m$ .

Для составления уравнения движения частицы принимаем переносную систему координат  $X_I O_I Y_I$  [8], которую свяжем с вращательным движением лопасти и относительную систему  $xoy$ , которой обозначаем движение частицы относительно рабочей поверхности лопасти. Используя схему сил (рисунки 3.24 и 3.25) составим дифференцируемое уравнение движения частицы  $m$  в принятых системах координат [89]:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV_{отн}}{dt} &= m\omega^2 \rho \cdot \cos\varphi - P_{тр} - CF \frac{V^2}{2g} \sin\lambda, \\ O &= N + m\omega^2 \rho \cdot \sin\varphi - 2m\omega V_{отн} - CF \frac{V^2}{2g} \cos\lambda, \end{aligned} \right\} \quad (3.50)$$

или

$$N = 2m\omega V_{отн} + CF \frac{V^2}{2g} \cos\lambda - m\omega^2 \rho \cdot \sin\varphi; \quad (3.51)$$

при этом  $P_{тр} = N \cdot f$ , тогда

$$\begin{aligned} m \frac{dV_{отн}}{dt} &= m\omega^2 \rho \cdot \cos\varphi - f \left( 2m\omega V_{отн} + CF \frac{V^2}{2g} \gamma_B \cos\lambda - m\omega^2 \rho \cdot \sin\varphi \right) - \\ &CF \frac{V^2}{2g} \gamma_B \sin\lambda \end{aligned} \quad (3.52)$$

где  $\omega$  – угловая скорость;  $V_{отн}$  – скорость движения частицы по рабочей поверхности лопасти;  $f$  – коэффициент трения частицы смеси по стали;  $F$  – проекция частицы по направлению ее движения (миделево сечение тела)  $\gamma_B$  – удельный вес воздуха;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $C$  – коэффициент аэродинамического сопротивления, который зависит от формы, размера тела и является функцией критерия Рейнольдса (Re) [8].

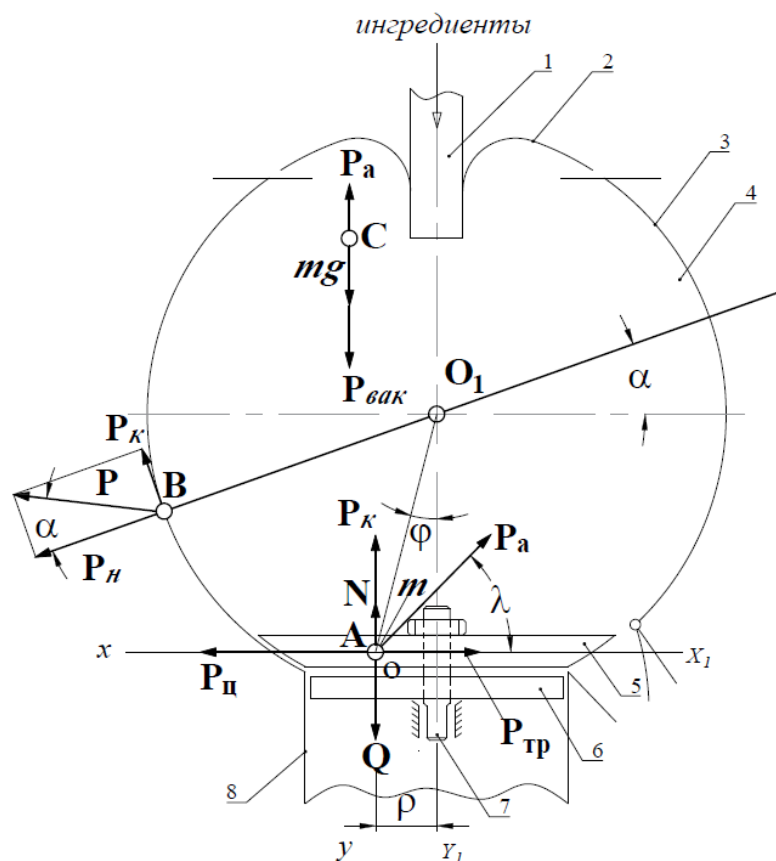


Рисунок 3.24 – Схема приложения сил на частицу  $m$ , расположенную на лопасти, шарового смесителя (точка А), на сферической поверхности (точка В) и на вертикальном участке (точка С), где 1 – загрузочный шлюз; 2 – направляющий обтекатель; 3 – шаровой корпус смесителя; 4 – сферический объем смесителя; 5 – двухсторонняя лопасть; 6 – рабочий диск; 7 – вал привода лопастей; 8 – рама смесителя

Процесс смешивания в смесителе со сферическим корпусом осуществляется следующим образом. Вращающиеся лопасти образуют и выбрасывают материально-воздушный поток на нижнюю вогнутую сферическую поверхность корпуса смесителя, с усилием  $P$ , (рисунок 3.24, точка В), где оно распределяется на нормальное –  $P_n = m\omega^2\rho\cos\alpha$ , которое достигает максимального значения на уровне  $90^\circ$  и касательное  $P_{кас.} = m\omega^2\rho\sin\alpha$  на этом уровне равно нулю, где  $\alpha$  – угол падения, образованный горизонтальной осью сферы и радиусом с центра сферы к точке В (рисунок 3.24).

В верхней полусфере обрабатываемый поток перемещается к вершине сферы, где направляющий обтекатель – он же составляет вершину сферы,

изменяет траекторию движения потока снизу-вверх на обратное: сверху-вниз (рисунок 3.24, точка С). Каждая частица  $m$  в составе воздушного потока под влиянием силы тяжести  $mg$ , воздушного потока ( $P_\lambda$ ) и силы вакуума ( $P_{\text{вак.}}$ ) с различной скоростью устремляются вниз к оси вала привода лопастей; поступает на лопасти и процесс повторяется. Известно, что максимальный вакуум образуется у вертикальной оси сферической камеры, а максимальное давление на внутренней поверхности сферы. Нейтральная линия – линия разграничения вакуума от давления, которая параллельна меридиане сферы и находится на расстоянии  $\frac{2}{3}R_{\text{сф.}}$  от вертикальной оси (рисунок 3.25).

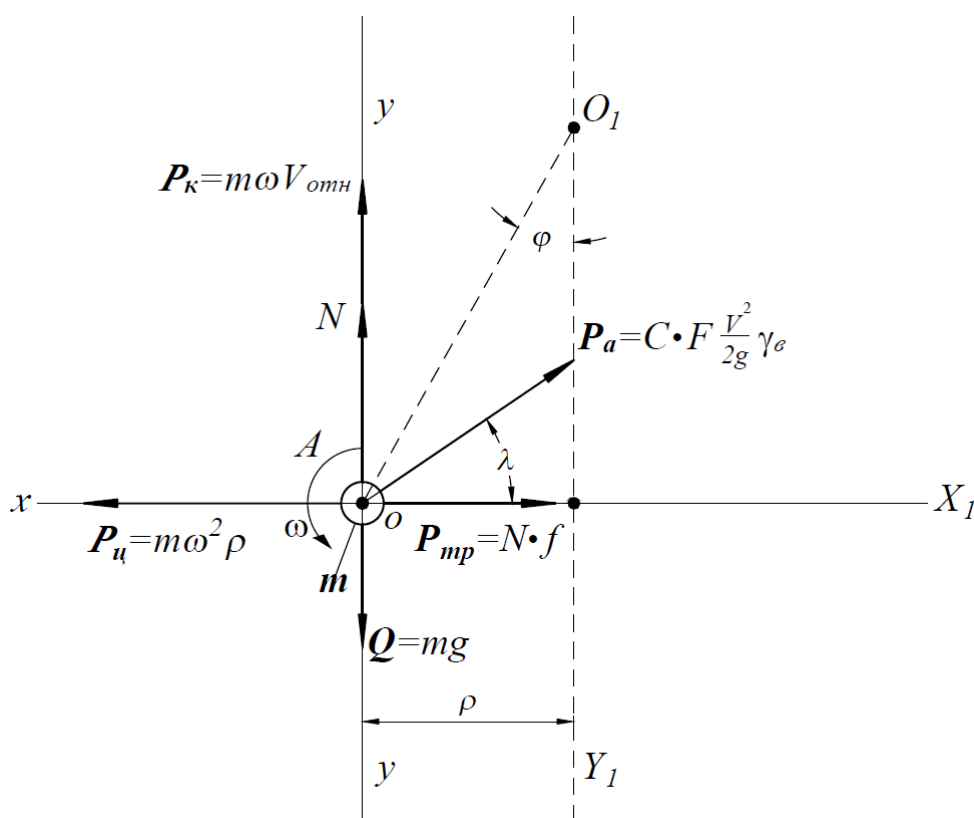


Рисунок 3.25 – Переносная система координат  $X_1O_1Y_1$  и относительная  $хоу$  и формулы для расчета сил, приложенных к частице  $m$ , расположенную на лопасти, где  $P_u$  – центробежная сила;  $P_a$  – аэродинамическая сила;  $P_k$  – сила Кориолиса;  $P_{\text{тр}}$  – сила трения по поверхности лопасти;  $N$  – сила реакции;  $Q$  – сила тяжести частицы  $m$ .

По результатам расчета построен график (рисунок 3.26), из которого видно, что материальные частицы различных размеров и плотности перемещаются по стальной рабочей поверхности вращающейся лопасти с разной скоростью и, как следовало ожидать, доминирующей для крупных и плотных частиц является центробежная сила ( $P_{ц}$ ) для мелких легких – аэродинамическая ( $P_a$ ). Скорость движения крупных частиц в центробежном силовом поле больше, чем мелких. В материально-воздушном потоке они сортируются, постоянно соударяются, при этом происходит обмен скоростями: меньшие частицы ускоряются, а большие – замедляются [12]. Происходит постоянная миграция частиц и процесс конвективного смешивания [13].

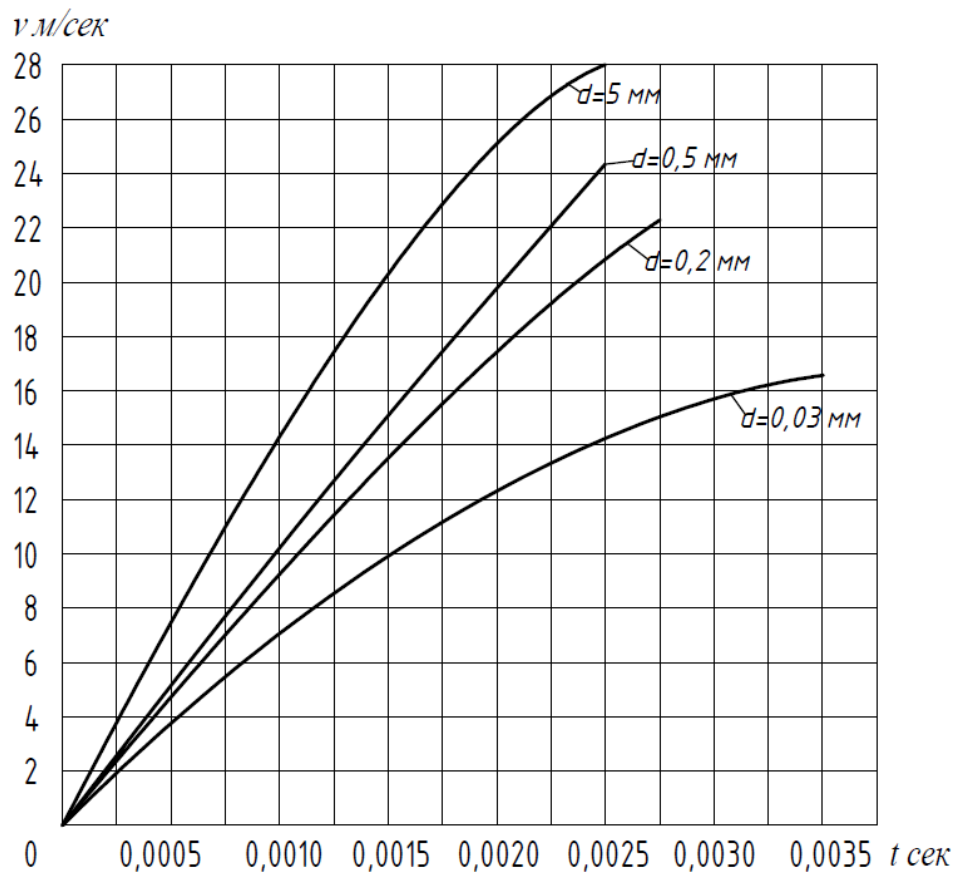


Рисунок 3.26 – Скорость перемещения частиц различных размеров по рабочей поверхности лопасти.

Кинетика (траектория, вектор, скорость) движения отдельных частиц с различными физико-механическими свойствами материально-воздушного потока в объеме сферической камеры в большой степени зависит также от

величины приложенной к ним силы Кориолиса ( $P_k$ ). Под влиянием этой силы частицы потока перемещаются снизу-вверх под различным углом к линии меридиана сферы, с разной скоростью и вектором движения. Поэтому в объеме сферической камеры образуется многообразная кинетика перемещения, взаимное проникновение смешиваемых компонентов, что является условием оптимального процесса конвективного смешивания (рисунок 3.27).

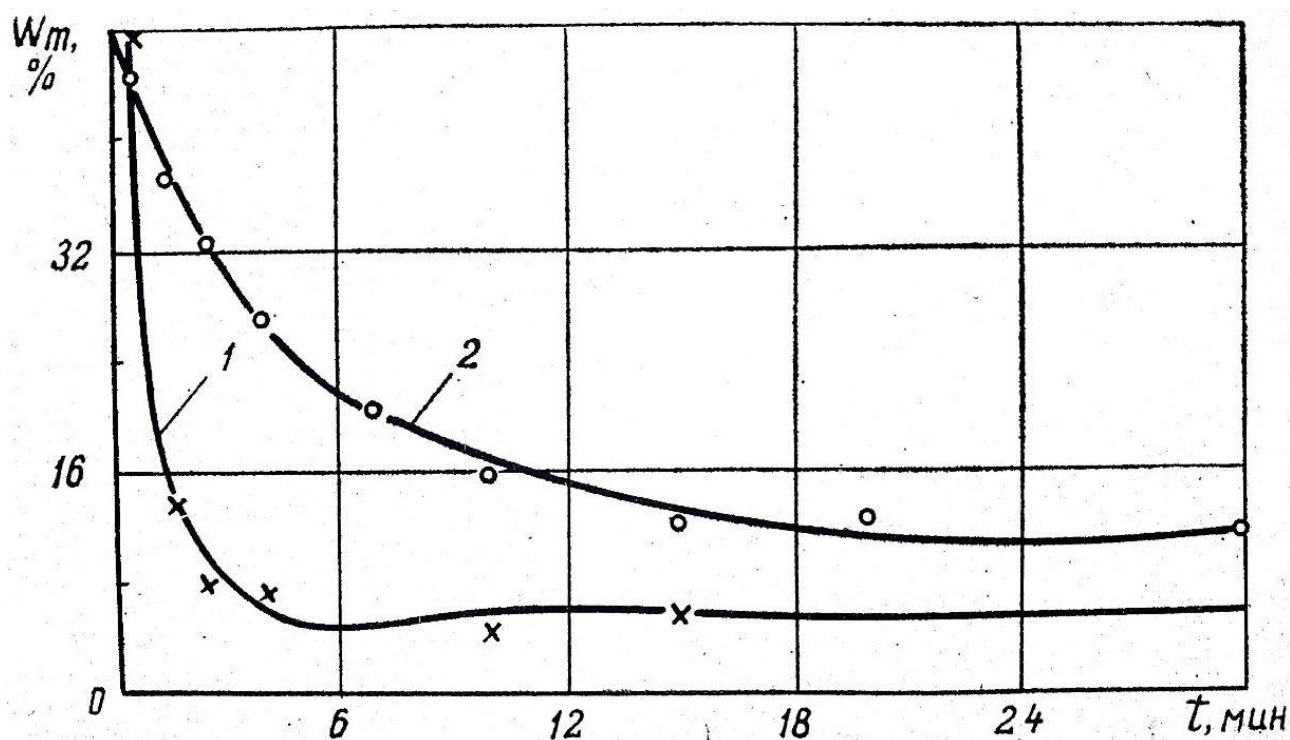


Рисунок 3.27 – Кинетика процесса смешивания в новом (1) и вертикально-шнековом (2) смесителях.

Таким образом на сферической поверхности создаются благоприятные условия пересекающихся траекторий движения легких и тяжелых материалов в поле действия аэродинамических, гравитационных и центробежных сил.

### Выводы по главе 3

По результатам исследований смешивания и качества работы смесителей, выявлены следующие технологические и технические возможности повышения однородности смеси лечебных кормов:



1. Исследования проводили с целью изучения возможности повышения однородности смеси лечебных комбикормов, с учетом кинетики движения (траектория, скорость, вектор) отдельных частиц ингредиентов в составе материально-воздушного потока в процессе смешивания лечебных препаратов, минеральных и витаминных добавок в смесителе со сферической камерой в поле центробежных, аэродинамических и инерционных сил, а также сил Кориолиса.

2. При вращении лопастей на их плоскости под действием центробежных сил происходит сепарация (разделение, сегрегация) состава смеси по таким физико-механическим свойствам, как плотность, размер частиц, коэффициент трения, парусность и др. При сходе с лопасти материально-воздушный поток ударяется в нижнюю цилиндрическую поверхность корпуса, тормозится и меняет направление движения на  $90^\circ$ , а у крышки - на  $180^\circ$ . При этом для применяемых смесителей с цилиндрическим вертикальным корпусом, работающих в режиме псевдооживления, условия сегрегации не ограничены.

3. Выявлены технологические и конструктивные возможности повышения однородности смеси, реализация которых в одной установке позволит повысить однородность смеси лечебных кормов до 95-98 %.

Таким образом, измельчитель-смеситель и смеситель линии приготовления лечебных кормов выполнены в форме шара, внутри которых установлены сферические экраны, разделяющие их объемы на зоны повышенного давления и вакуума и с вращающимися лопастями формируют целенаправленный устойчивый поток материально-воздушной смеси по вогнутым поверхностям сферы в зоны диффузионного и конвективного смешивания. Этим достигается более высокая однородность смеси лечебных кормов.

## **ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ**

### **4.1 Определение оптимальных технологических и конструктивных параметров линии по приготовлению лечебных кормов и премиксов**

Наиболее близкой по технической сущности разработанной установки является «Установка для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов RU 2703196 С1, 15.10.2019 принята за прототип, которая включает измельчитель-смеситель и смеситель, а также устройства для загрузки и выгрузки. Однако, в этих блоках на двухсторонних лопастях под действием центробежных сил происходит сепарация смеси, а в объеме сферических корпусов – беспорядочное перемещение компонентов смеси, при котором возможности смешивания и сегрегации компонентов смеси не управляемые.

Задача разработанной в исследовании установки заключается в создании линии, исключающей разделение ингредиентов смеси при вращательном движении двухсторонней лопасти смесителя устойчивой траектории и обеспечении движения материально-воздушного потока в обеих блоках по криволинейной, внутренней сферической поверхности, которая обеспечивает управляемый активный процесс смешивания.

Поставленная задача достигается тем, что линия смешивания лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем, включающая лабораторную мельницу для первичных премиксов и сообщающейся с ней измельчитель-смеситель для вторичных премиксов, а также сообщающийся с ним смеситель для приготовления лечебных кормов, устройства загрузки и выгрузки, достигается тем, что линия приготовления лечебных кормов, включающая лабораторную мельницу, сообщающейся с ней измельчитель-смеситель и сообщающийся с ними смеситель для приготовления лечебных

кормов, устройства загрузки и выгрузки, отличающаяся тем, что в шаровом корпусе измельчителя-смесителя концентрично, установлен сферический экран, поверхность которого образована окружностью радиусом равным  $2/3$  радиуса шарового корпуса измельчителя-смесителя, а плоские лопасти установлены вертикально широкой стороной вдоль оси вала привода, сторона лопасти параллельная и прилегающая к рабочей поверхности диска с регулируемым зазором 0,6-1,2 мм срезана под углом естественного откоса смеси 23-31°; конструктивное исполнение сферического экрана смесителя аналогично измельчителю-смесителю, но длинная сторона плоской лопасти параллельна гладкой поверхности пода, закрепленного на раме смесителя, установлена с зазором 1,0 мм; при этом кольцевой зазор между верхней кромкой сферических экранов и поверхностью загрузочных шлюзов измельчителя-смесителя и смесителя составляет 20-25 мм, а расстояние между нижней кромкой сферического экрана и двухсторонней лопастью, а также вертикальной осевой линией составляет 15-20 мм; при чем лабораторный смеситель для первичных премиксов расположен над измельчителем-смесителем для вторичных премиксов, который установлен над смесителем лечебных кормов, все блоки герметично соединены посредством патрубков в единый поток.

#### **4.2 Стационарная линия по приготовлению лечебных кормов и премиксов**

По результатам вышеизложенных исследований разработана установка приготовления смеси лечебных кормов. Сущность предполагаемой установки поясняется рисунок 4.1 – схема установки для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных минеральных премиксов, рисунок 4.1 вид А, рисунок 4.1 – вид Б, рисунок 4.1 – вид В[23].

Установка для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов содержит измельчитель-смеситель для первичных премиксов 1 (рисунок 4.1), включающий сферический корпус 2 с крышкой 3, в нижней цилиндрической

части сферического корпуса на раме 4 закреплен рабочий диск 5, по оси которого проходит вал привода 6, на нем закреплена двухсторонняя лопасть 7 (рис. 7, вид А), сторона лопасти, прилегающая к диску, срезана под углом  $\alpha$  (рис. 8, вид Б), между диском и двухсторонней лопастью имеются регулировочные прокладки 8, в нижней части измельчителя-смесителя для первичных премиксов установлен патрубок 9 с заслонкой 10.

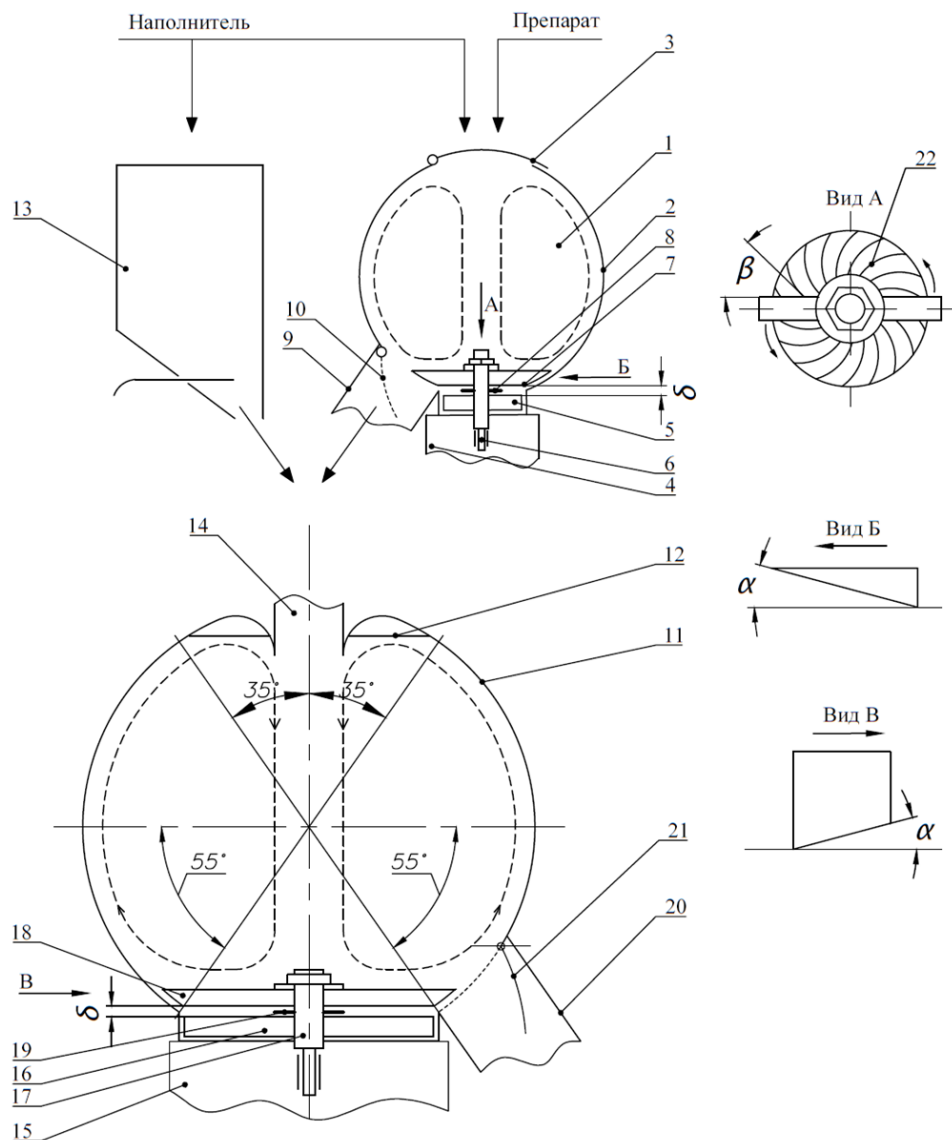


Рисунок 4.1 – Установка для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов [79,80]

Измельчитель-смеситель кормовой смеси 11 включает корпус в виде усеченной сферы с направляющим обтекателем 12, устройство загрузки 13 с загрузочным шлюзом 14; в нижней части рамы 15 установлен диск 16, а на валу

привода 17 закреплен двухсторонний бич 18, стороны его, прилегающие к диску, срезаны под углом трения  $\alpha$  (вид В); между двухсторонним бичем и диском установлены регулировочные прокладки 19; внизу измельчителя-смесителя кормовой смеси расположен шлюз выгрузки 20 с задвижкой 21.

Работает установка для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов следующим образом.

В измельчитель-смеситель для первичных премиксов 1 с корпусом сферической формы 2 при открытой крышке 3 и закрытой заслонке 10 помещают лечебный премикс и наполнитель в соотношении 1:1 или 1:3. Включают работу привода вала 6 и закрепленную на нем двухстороннюю лопасть 7. Сторона, прилегающая к диску 5, закрепленного на раме 4 под углом трения  $\alpha = 12-15^\circ$  (Рис. 8, Вид А), при её вращении смесь собирается в зазоре 0,6-1,2 мм между лезвиями лопастей и насечкой на диске в форме Архимедовой спирали 22 зажимается под постоянным углом защемления  $\beta = 18-20^\circ$ , где при совместном смятии компонентов происходит процесс взаимной диффузии, механическое вдавливание одного компонента в другой. Двухсторонняя лопасть выбрасывает смесь измельченной массы с воздухом на внутреннюю сферическую поверхность измельчителя-смесителя для первичных премиксов, создается устойчивый поток – псевдооживленный слой, в котором компоненты равномерно распределяются, а вакуум, в зоне вертикальной оси сферы, устойчиво направляет поток на рабочую поверхность диска в зону диффузии; достигается замкнутый устойчивый процесс одновременного измельчения и смешивания препаратов и наполнителя – смешивание способом диффузии. При необходимости зазор регулируется прокладками 8. Процесс смешивания в измельчителе-смесителе для первичных премиксов происходит в течении 30-40 с. Полученный первичный премикс через патрубок 9 при открытой заслонке 10 и шлюз 14 высыпается в измельчитель-смеситель кормовой смеси 11 и в него из загрузочного устройства 13 добавляют 15-20% от установленной дозы наполнителя. Приводится в работу вал привода 17 с закрепленным на нем

двухсторонним бичем 18, который срезанной плоскостью под углом трения  $\alpha$  (Рис. 9, вид В), примыкающей к диску 16, закрепленного на раме 15, захватывает смешиваемую массу, прижимает к насечке на диске, измельчает и равномерно выбрасывает по всему периметру ( $360^\circ$ ) внутренней сферической поверхности измельчителя-смесителя кормовой смеси поднимая его вверх, где направляющий обтекатель 12 плавно переводит направление движения псевдооживленного слоя снизу-вверх в движение сверху-вниз, чему способствует вакуум, создаваемый по оси сферического корпуса большого смесителя плоскими сторонами бича 18 и достигается устойчивый процесс диффузионного смешивания компонентов, который продолжается 3-4 мин. Работа привода останавливается, добавляется остальная доза наполнителя.

Смесители для приготовления комбикормов и лечебных кормов, которые используют в нашей стране и за рубежом, работают по принципу конвективного смешивания, при этом коэффициент однородности смешивания составляет 0,80-0,85, а для лечебных кормов по ветеринарным требованиям он равен – 0,95-0,97[83,84,85].

Высший коэффициент однородности смешивания двухфазной неоднородной системы достигается в псевдооживленном слое [87,88,101,107]. Процесс смешивания зависит в основном от конструкции смесителя, рабочих органов и режима его работы.

Конвективное смешивание в псевдооживленном слое отличается высокой эффективностью, малым временем смешивания, простой конструкцией, однако при работе смесителя происходит сегрегация смеси – рассортирование компонентов по удельной массе частиц и размерам. Поэтому, для каждого типа смесителя и вида смеси необходимо экспериментально установить режим работы смесителя: соотношение компонентов, число оборотов вала смесителя, время смешивания, степень загрузки емкости смесителя и др.

Диффузионное смешивание осуществляется способом взаимной диффузии компонентов при совместном смятии, в результате из двух гетерогенных

(неоднородных) компонентов образуется гомогенный (однородный) продукт – вещества находятся в одном агрегатном состоянии и при последующем смешивании не разделяются. Диффузионное смешивание представляется как процесс взаимного проникновения молекул одного вещества между молекулами другого, что приводит к выравниванию их концентрации по всему занимаемому объему. При этом происходит перенос вещества с мест высокой концентрации в места низкой концентрации и наоборот. Атомы соприкасающихся материалов перемешиваются на границе соприкосновения рабочих органов.

Известно, что самые напряженные и ответственные детали и узлы самолетов, ракет, кораблей и др. в настоящее время изготавливаются из композитных материалов [102,103,104,105]. Это достигается путем совместного измельчения состава полимеров до мельчайших частиц и одновременного диффузионного смешивания с последующим нагревом и прессованием, где уже между частицами, составляющих полимеров, действуют межмолекулярные силы.

Особенность смешивания лечебных препаратов и витаминных термолабильных и минеральных премиксов в том, что размеры частиц солей микроэлементов, используемых в комбикормовом производстве, варьируют в широких пределах – от пылевидных, способных витать в воздухе, до аномально крупных (1,2 мм), ограниченных лишь требованиями ГОСТ 52356-2005 «Премиксы. Номенклатура показателей», что не противоречит действующим нормативным документам.

Если размер компонентов не соответствует нормативам (ГОСТ), то для цыплят-бройлеров норма комбикорма 20 г в сутки, может не попасть нужный элемент, а если в эти 20 г корма попадает лишь одна частичка размером 1,2 мм, то будет перекорм. Применяемые компоненты являются солями тяжелых металлов. Они обладают высокой токсичностью для живых организмов, даже при невысоких превышениях допустимых норм, а также способствуют

биоаккумуляции их в организме. Однако, их применение позволяет на треть повысить продуктивность животных и птицы.

Сферическая форма корпусов измельчителя-смесителя для вторичных премиксов и измельчителя-смесителя кормовой смеси формирует устойчивую траекторию движения обрабатываемых компонентов, при этом происходит их конвективное смешивание и в псевдооживленном слое; осуществляет целенаправленную устойчивую подачу на рабочие поверхности диска, где совместно происходит измельчение и смешивание способом диффузии.

Установлено, что миграционную способность материальных частиц различной плотности в диапазоне крупности от 0,1 до 3 мм, подверженных действию воздушного потока, определяется состоянием равновесия частиц на кривой (наклонной) поверхности и зависит от скорости потока и угла наклона. На сферической поверхности создаются благоприятные условия пересекающихся траекторий движения легких и тяжелых материалов в поле действия аэродинамических, гравитационных и центробежных сил [91,92,106]. Эти принципы приняты за основу процесса смешивания предложенной линии.

Сущность предполагаемого изобретения (рисунок 4.2) поясняется фиг.1 – схема линии приготовления лечебных кормов, фиг.2 – вид А, фиг.3 – вид –Б.



Линия приготовления лечебных кормов

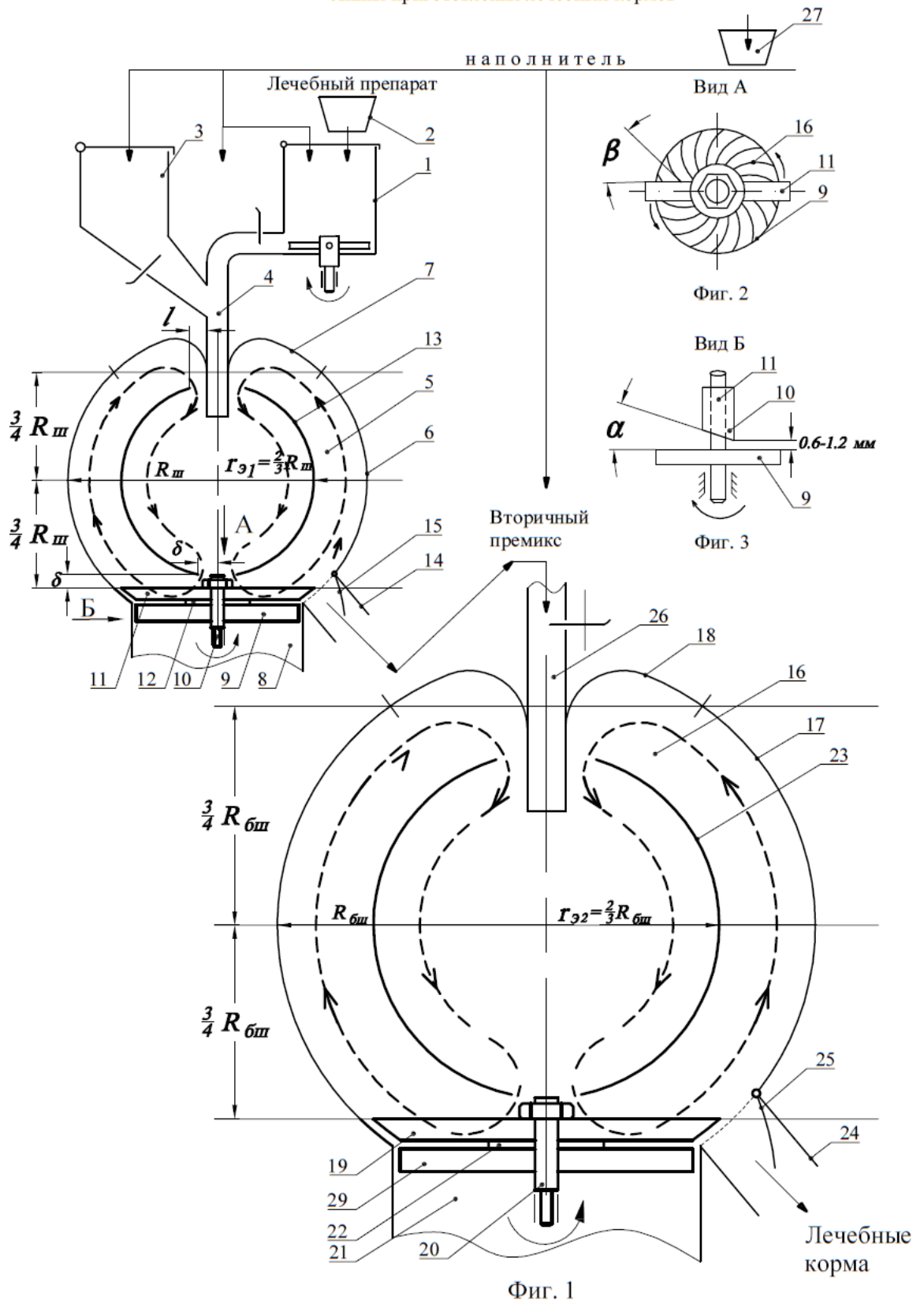


Рисунок 4.2 – Линия приготовления лечебных кормов [62]

Линия приготовления лечебных кормов включает лабораторную мельницу 1 для приготовления первичных премиксов с устройством ввода препаратов 2, бункер для наполнителя 3 с загрузочным шлюзом 4; измельчитель-смеситель 5 для приготовления вторичных премиксов содержит шаровой корпус 6 с обтекателем 7 в верхней части, в нижней цилиндрической части сферического корпуса на раме 8 закреплен рабочий диск 9 с насечкой на рабочей стороне в форме Архимедовой спирали по центру которого проходит вал привода 10, на нем закреплена двухсторонняя лопасть 11 (вид А), стороны лопастей, прилегающие к рабочей поверхности диска, срезаны по углом естественного откоса смеси  $\alpha=23-31^\circ$  (фиг.3, вид Б), между рабочим диском и двухсторонней лопастью установлены регулировочные прокладки 12; вдоль вертикальной оси шарового корпуса измельчителя-смесителя установлен сферический экран 13 радиусом, образующей ее поверхность ( $r_{\text{экр.}}$ ), равный  $2/3$  радиуса шарового корпуса  $R_{\text{ш}}$ , ( $r_{\text{экр.}}=2/3 R_{\text{ш}}$ ); в нижней части шарового корпуса установлен выгрузной патрубок 14 с заслонкой 15.

Для устойчивого движения материально-воздушного потока смеси на верхнем повороте расстояние (кольцевой зазор) между верхней кромкой сферического экрана 13 и нижней кромкой обтекателя 7 составляет величину  $l$ , а расстояние между нижней кромкой сферического экрана и двухсторонней лопастью 11, а также вертикальной осевой линией измельчителя-смесителя составляет величину  $\delta$ . Опытным путем установлено: в зависимости от производительности измельчителя-смесителя величина  $l=25-30$  мм, а  $\delta=15-20$  мм; линия содержит смеситель 16 с шаровым корпусом 17, обтекателем 18; в нижней части шарового смесителя установлена двухсторонняя плоская лопасть 19, закрепленная на валу привода 20, между двухсторонней лопастью и подовым диском 29 закрепленного на раме 21 установлены регулировочные прокладки 22; вдоль вертикальной оси смесителя установлена направляющая сфера 23, линия, образующая ее поверхность конуса проведена радиусом равным  $2/3$

радиуса большого шара ( $R_{б.ш}$ ) смесителя, в нижней части смесителя расположены выгрузной патрубок 24 с задвижкой 25; загрузочный шлюз 26 сообщен с бункером 27 для наполнителя.

Работает линия приготовления лечебных кормов следующим образом: В лабораторную мельницу 1 для приготовления первичных премиксов при открытой крышке и закрытой заслонке с устройства ввода препаратов 2 помещают лечебный премикс, а из бункера 3 добавляют наполнитель в соотношении 1:3. Включают в работу лабораторную мельницу и в течение 60с совместно измельчают ударом и смешивают компоненты. Полученный первичный премикс при открытой заслонке и работающей лабораторной мельнице через шлюз 4 выгружают в измельчитель-смеситель 5 для приготовления вторичного премикса; в него же из бункера 3 добавляют 15-20% установленной дозы наполнителя в лечебном комбикорме. Включают в работу вал привода 10 измельчителя-смесителя и закрепленную на нем двухстороннюю лопасть 11, сторона его, прилегающая к рабочей поверхности диска 9, закрепленного на раме 8 срезана под углом естественного откоса смеси 23-31° (вид Б); при вращении лопасти смесь зажимается наклонной ее стороной и в зазоре 0,6-1,2 мм, который регулируется прокладками 12, между лезвием лопастей и насечкой на рабочей стороне диска в форме Архимедовой спирали зажимается под постоянным углом зацебления  $\beta=18-20^\circ$  (вид А) при совместном смятии компонентов происходит процесс взаимной диффузии – механическое вдавливание одного компонента в другой; двухсторонняя лопасть равномерно выбрасывает смесь измельчаемой массы с воздухом на 360° внутренней сферической поверхности корпуса 6 измельчителя-смесителя вторичных премиксов, создается устойчивый поток – псевдооживленный слой, в режиме повышенного давления, в котором компоненты равномерно распределяются, а обтекатель 7 через кольцевой зазор направляет поток смеси вниз, где в объеме сферического экрана 13 с радиусом  $r$  продолжается процесс смешивания в псевдооживленном слое в режиме пониженного давления и на его

вогнутой поверхности, которая через зазор  $\delta$  направляет поток смеси к оси двухсторонней лопасти, далее в зазор между лезвиями лопастей и насечкой на рабочей стороне диска 9; вакуум в зоне вертикальной оси сферы способствует устойчивой подаче смеси на рабочие органы в зону диффузии; достигается замкнутый устойчивый процесс: одновременного измельчения путем совместного смятия компонентов, смешивания на вогнутой поверхности шара и сферического экрана, а также в их объемах в режиме псевдооживленного слоя, при переменном давлении [91,92,93,94].

Процесс смешивания в измельчителе-смесителе для вторичных премиксов осуществляется в течение 100-120с. Полученный вторичный премикс при включенном приводе через патрубок 14 при открытой заслонке 15 и шлюз 26 высыпает в большой смеситель 16; в него же добавляется остальная доза наполнителя, включается в работу вал привода 20 и двухсторонняя лопасть 19, которая при вращении захватывает смешиваемую массу и равномерно выбрасывает материально-воздушный поток по всему периметру ( $360^\circ$ ) вогнутой поверхности сферы шара 17, поднимая его вверх, где направляющий обтекатель 18 плавно переводит направление движения псевдооживленного слоя снизу-вверх в движение сверху-вниз и по вогнутой поверхности направляющего сферического экрана 23, образующая линия которой проведена радиусом  $2/3 R_{б.ш}$ . Зазор между рабочей частью подового диска 29, закрепленного на раме 21 и двухсторонней лопастью 19 регулируется прокладками 22. Процесс смешивания продолжается 120-180с. и при открытой заслонке 25 через выгрузной патрубок 24 готовые лечебные комбикорма выгружаются в тару.

Для обоснования оптимального режима работы и геометрических параметров лопастного рабочего органа проведены экспериментальные исследования взаимодействия вращающейся наклонной лопасти и сыпучей среды.

Таким образом, измельчитель-смеситель и смеситель линии приготовления лечебных кормов выполнены в форме шара, внутри которых

установлены сферические экраны, разделяющие их объемы на зоны повышенного давления и вакуума и с вращающимися лопастями формируют целенаправленный устойчивый поток материально-воздушной смеси по вогнутым поверхностям сферы в зоны диффузионного и конвективного смешивания. Этим достигается более высокая однородность смеси лечебных кормов.

#### **4.3 Мобильная установка по производству лечебных комбикормов и премиксов**

Исходя из конъюнктуры, географии и вышеизложенного предлагается концепция мобильной установки по производству лечебных кормов, витаминных и минеральных добавок для обслуживания небольших хозяйств, ферм не имеющих технического оснащения для производства высококачественных кормовых смесей.

Мобильная установка обеспечит возможность производить лечебные корма и минеральные добавки с высокой степенью однородности на базе рациона, который применяется в конкретном хозяйстве. А также обеспечит лекарственными смесями хозяйства в условиях отсутствия дорог или дорог с низкой категорией качества дорожного покрытия.

Мобильная установка представляет собой подвижной состав специализированного назначения, снаряженный всем необходимым оборудованием для выполнения технологического процесса.

Установка по приготовлению гомогенной смеси (Рисунок 4.3) смонтирована на базе автомобиля ГАЗ - ГАЗель Next и размещена внутри кузова. В комплект установки входят: два смесителя, весы технологические, мельница для размолва компонентов, загрузочное и разгрузочное средства, силовой электропит, штыковое заземление, соединительный кабель.

Технические характеристики: Средняя производительность лечебного корма в час, 600-800 кг; привод: электропривод; суммарная мощность

электродвигателей, кВт: 4,7.

Мобильная установка для приготовления лечебных кормов и может применяться как на отгонных пастбищах, так и на фермах и комплексах любых размеров и во всех зонах России.

Установка, укомплектованная соответствующими техническими средствами (рисунок 4.3), может быть использована:

– для приготовления лечебных кормов с антигельминтными препаратами, кокцидиостатиками, антибиотиками, сульфамидными и другими лечебными препаратами;

– для обогащения кормов непосредственно на фермах и предприятиях макро и микроэлементами, витаминами, белковыми добавками;

– для проведения других профилактических мероприятий.

Процесс приготовления лечебных кормов двухстадийный: вначале готовят рабочий премикс (лекарственный препарат и наполнитель) и далее лечебный корм (рабочий премикс с наполнителем). В качестве наполнителя используют измельченные концентрированные корма – дерть, комбикормы.

Лекарственный препарат и наполнитель в нужном соотношении взвешивают и поочередно измельчают на измельчителе до мелкодисперсного состояния и загружают в малый смеситель, где в результате псевдооживления материалов в течении 2-3 минут достигается необходимая однородность 95-98%.

Далее, в зависимости от заданного рецепта лечебного корма, отвешивается необходимое количество рабочего премикса и наполнителя, которые затем перемешиваются во смесителе. Готовую кормолекарственную смесь выгружают в тару. За один цикл работы можно приготовить около 50 кг лечебного корма.

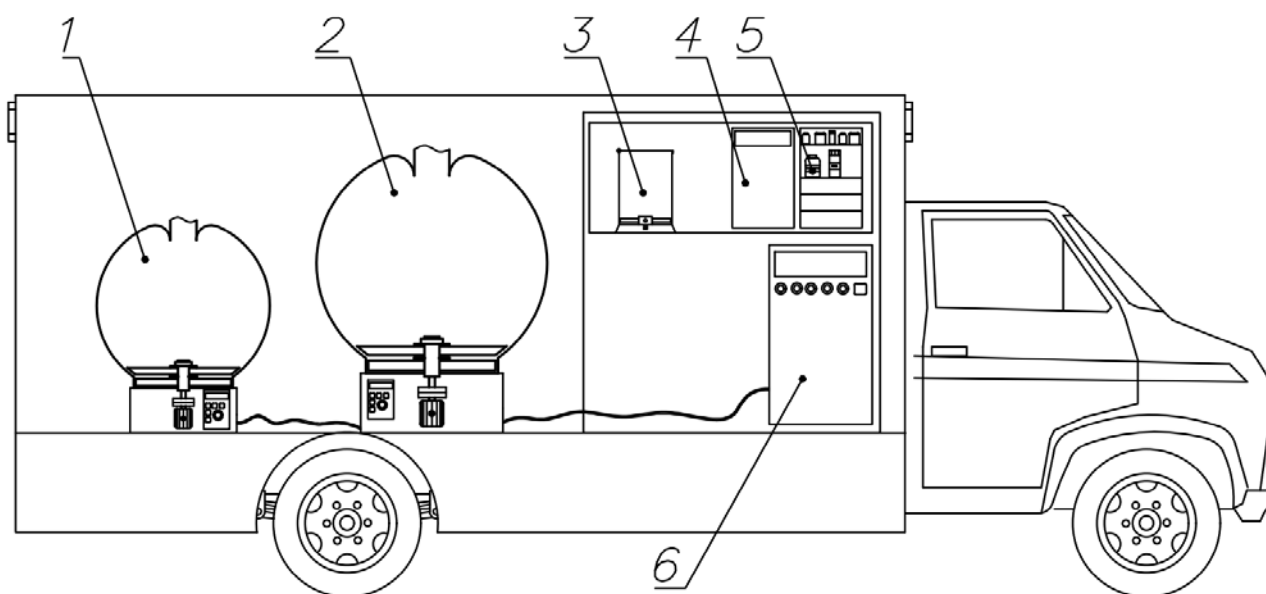


Рисунок 4.3 – Мобильная установка по приготовления лечебных кормов, витаминных и минеральных премиксов. 1 – измельчитель смеситель первичных премиксов; 2 – смеситель; 3 – лабораторная мельница; 4 – лабораторные весы; 5 – рефрижератор для хранения лечебных препаратов; 6 – установка энергообеспечения.

Сущность предлагаемой разработки поясняется чертежами (рисунки 4.4, 4.5.,4.6).

На рисунке 4.4 представлена принципиальная схема мобильной установки, вид сбоку; на рисунке 4.5 - то же, вид сверху; на рисунке 4.6 представлена линия приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке, и представлены вид А и вид Б.

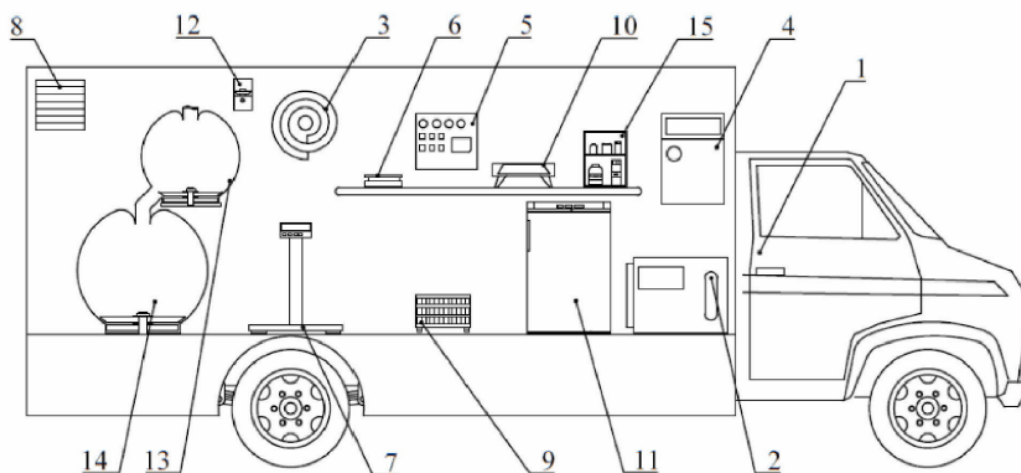


Рисунок 4.4 –Мобильная установка для приготовления смеси лечебных комбикормов и премиксов в турбулентном

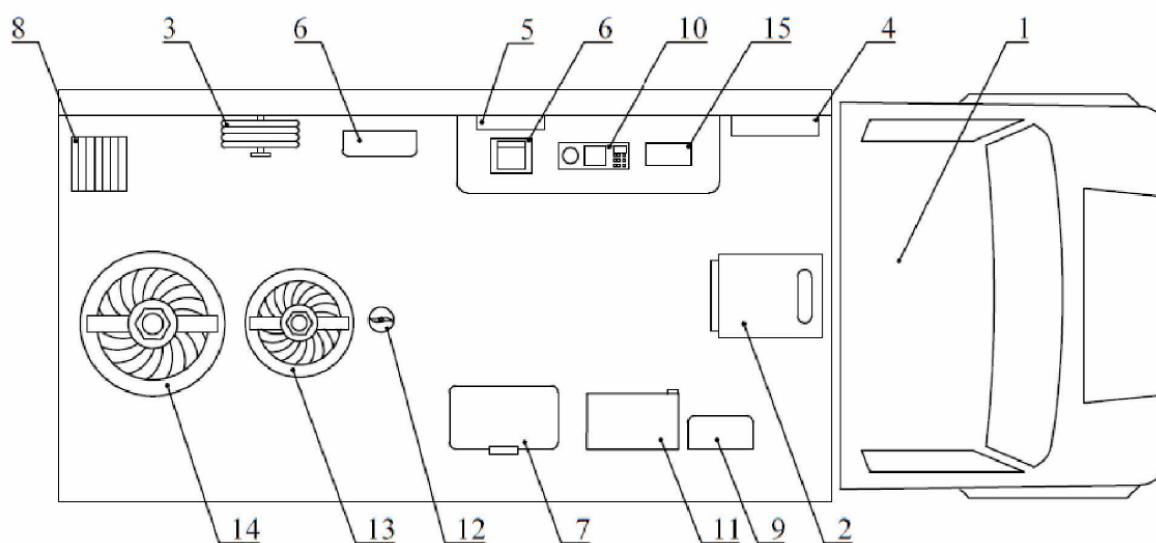


Рисунок 4.5 –Мобильная установка для приготовления смеси лечебных комбикормов и премиксов в турбулентном, вид сверху



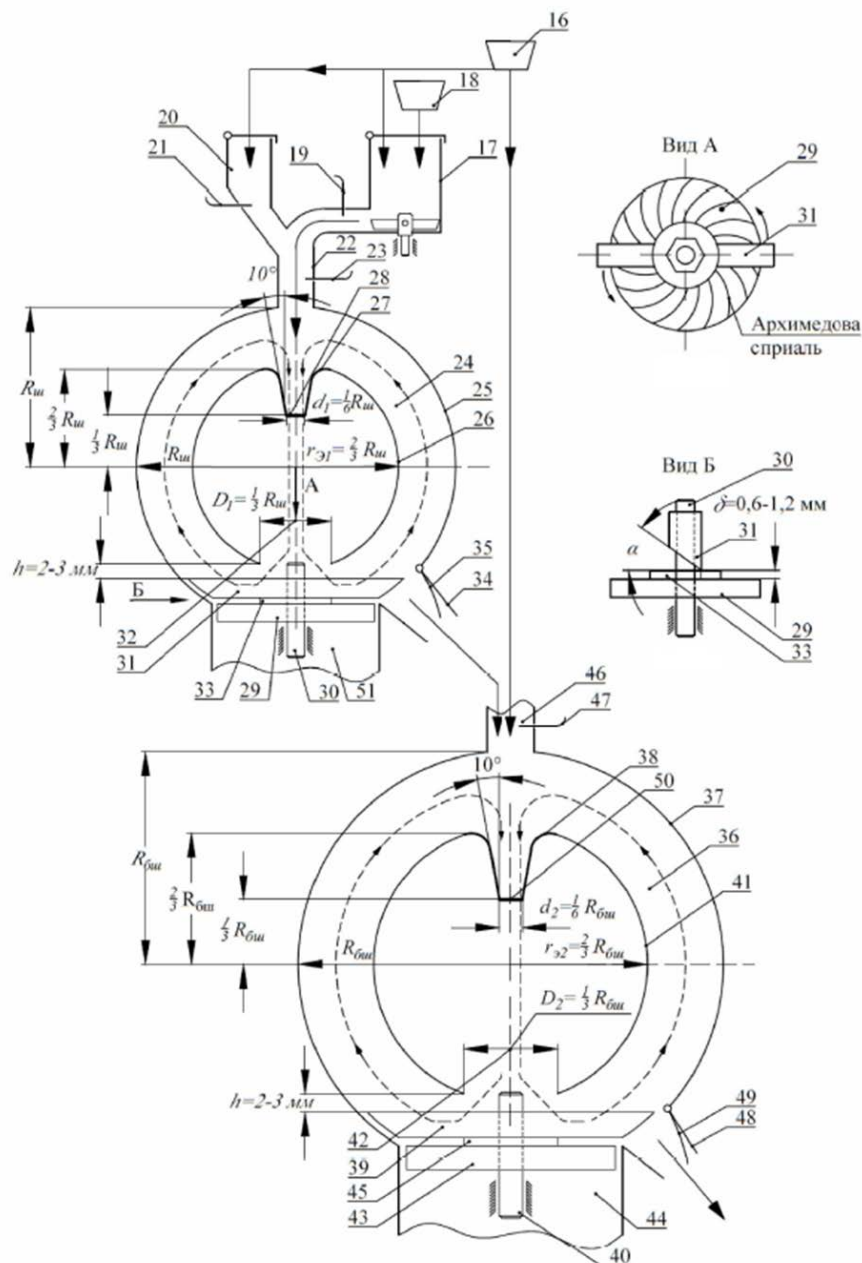


Рисунок 4.6 –Линия приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке

Мобильная установка 1 для приготовления смеси лечебных комбикормов и премиксов в турбулентном потоке содержит электрогенератор 2 с приводом от двигателя автомобиля и переносным силовым кабелем 3 для подключения к электросети. В крытом кузове автомобиля установлен силовой щит 4, пульт управления 5, весы медицинские 6 и платформенные весы 7, приточно-вытяжная система вентиляции 8, электрокалорифер 9, прибор по определению однородности смеси 10, холодильник 11 и линию для приготовления гомогенной

кормолекарственной смеси, включающую лабораторную мельницу 12, для приготовления первичных премиксов, измельчитель-смеситель со сферической камерой 13 для приготовления вторичных премиксов и шаровой смеситель 14 для приготовления кормолекарственной смеси и шкаф 15 для хранения лечебных препаратов [53-62].

#### **4.3.1. Работа мобильной установки для приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке**

Электроэнергия от центральной электросети, как самая дешевая, посредством переносного кабеля 3 подключается к силовому щиту 4, а на отгонных пастбищах в работу включается электрогенератор 2 и электроэнергия подается на силовой щит 3, а от него на пульт управления 5. К щиту 3 подключены все потребители тока и приборы. В лабораторный смеситель 17 при закрытой задвижке 19 из бункера 16 засыпают наполнитель, а из устройства ввода препаратов 18 добавляют препарат в соотношении 1:1 сыпучего препарата или в таблетках и наполнителя, а жидкого препарата 1:3. Включают в работу привод лабораторного смесителя. Процесс смешивания продолжается 40-60 с, затем открывается задвижка 19 лабораторной мельнице 17 и задвижка 23 измельчителя-смесителя 24. Первичный премикс высыпают в выключенный измельчитель-смеситель 24, в него же из бункера-накопителя 20 через открытую заслонку 21, загрузочный шлюз 22 при открытой заслонке 23 засыпается 15-20% от установленной дозы наполнителя. Включается в работу электропривод измельчителя-смесителя 24, двухсторонняя лопасть 31, вращаясь от вала привода 30, захватывает, прижимает к рабочей нарезной поверхности диска 29 совместно измельчает компоненты, диффузионно смешивает и равномерно выбрасывает материально-воздушный поток по всему периметру (360°) на внутреннюю сферическую поверхность шарового корпуса 25 измельчителя-смесителя 24. При вращении лопастей 31 в центре шарового корпуса 25 по оси сферы измельчителя-смесителя 24 создается вакуум, а у сферической поверхности - давление. Нейтральная зона проходит на расстоянии  $2/3 R_{ш}$  от оси

шара, где размещен сферический экран 26. Материально-воздушный поток в верхней части сферического экрана 26 под давлением сверху и вакуума снизу попадает в насадку 27 сопла Лавалья и продавливается через его узкий конфузор 28. На выходе материально-воздушный поток получает большое ускорение, расширяется, скорость частиц увеличивается многократно, в объеме сферического экрана происходит интенсивное турбулентное движение частиц и конвективное смешивание компонентов; а в нижней части на срезе экрана смесителя 26 материально-воздушный поток проходит через широкий диффузор 32, где скорость потока снижается и поток направляется к оси вала привода 30, попадает в зазор 0,6-1,2 мм между лезвием лопасти 31 и насечкой на рабочей поверхности подового диска 29, где осуществляется диффузионное измельчение смешиваемых компонентов - взаимное проникновение препаратов в наполнитель. Степень измельчения регулируется прокладками 33.

Процесс смешивания в измельчителе-смесителе 24 длится 90-100 с. Готовый вторичный премикс при открытой заслонке 35 через выгрузной патрубок 34 высыпается в загрузочный шлюз 46 и при открытой задвижке смесителя 47 высыпается в не включенный большой шаровой смеситель 36. Таким же образом из основного бункера 16 загружается остальная доза наполнителя, приводится в работу вал привода 40 с закрепленной на нем двухсторонней лопастью 39, которая срезана под углом естественного откоса смеси  $\alpha$  (рисунок 4.6, вид Б). Двухсторонняя лопасть 39, примыкающая к подовому диску 43, закрепленному на раме смесителя 44, захватывает смешиваемую массу, прижимает к насечке на диске 43, измельчает и одновременно смешивает методом диффузии и равномерно выбрасывает по всему периметру ( $360^\circ$ ) внутренней сферической поверхности большого шарового смесителя 37, поднимая массу вверх, где под действием давления сверху и вакуума снизу поток поступает в насадок сопло Лавалья 38, проходит через конфузор 50, при выходе из него скорость потока резко ускоряется и турбулентность усиливается и в объеме сферического экрана 41. Происходит

интенсивное конвективное смешивание ингредиентов, а в нижней части сферического большого смесителя материально-воздушный поток под действием вакуума проходит через диффузор 42, образованный нижним срезом сферического экрана большого смесителя 37, захватывается лопастями 39, попадает в зазор 06,-1,2 мм между лезвиями лопастей 39 и насечкой (борозды) на рабочей поверхности подового диска 43, где осуществляется совместное измельчение компонентов сдвигом и диффузионное смешивание, которое продолжается 100-120 с, затем при открытой заслонке 49 большого шарового смесителя 36, через выгрузной патрубок 48 кормолекарственная смесь выгружается в тару.

Таким образом, способ приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке, реализованный в мобильной установке, оборудованной конструктивно простой и технологичной линией смешивания, может обеспечить однородность смеси 0,95-0,98% и своевременную подготовку смеси для животноводства и птицеводства во всех регионах страны, при этом время смешивания и удельные затраты энергии снижаются в 2 раза [53-62].

#### **4.4. Технико-экономическая оценка мобильной установки для приготовления лечебных кормов**

##### **Исходные данные**

В данном разделе представлен расчет экономического эффекта от мероприятий, проведенных в расчёте на 1 автомобиль Газель NEXT с установленной в кузове линией приготовления лечебных кормов и премиксов для животноводства и птицеводства [51]. Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Планируемое значение
Годовая трудоемкость приготовления лечебных кормов [46]	$T_{\text{ТР}}$	чел.-ч	18034
Количество штатных вет.работников и водителей на 1 автомобиль	$P_{\text{Ш}}$	чел	3
Количество рабочих дней	$D_{\text{р.г.}}$	дни	354
Количество смен в день	$n_{\text{см}}$	–	1
Продолжительность смены	$T_{\text{см}}$	час	12
Годовые фонды времени производственных вет.рабочих [46]	$\Phi_{\text{в.р}}$	час	2871
	$\Phi_{\text{вод}}$		1806
Производственная площадь линии лечебных кормов	$F_{\text{ТР}}$	м <sup>2</sup>	6,5

Перечень оборудования представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Перечень приобретенного оборудования

№	Наименование детали	Количество, шт.	Сумма, руб.
1	Измельчитель-смеситель	1	355 000
2	Сферический измельчитель	1	580 000
3	Лабораторная мельница	1	90 000
4	Весы технологические 2 класса точности	1	50 000
5	Рефрижератор для хранения лечебных препаратов	1	30 000
6	Установка энергообеспечения	1	70000

Продолжение таблицы 4.2

7	Дополнительное лабораторное оборудование (средство контроля качества смеси, средства введения и дозирования ключевых ингредиентов и т.д.)	1	200 000
8	Автомобиль Газель Некст	1	4 200 000
9	Итого	-	5 575 000

Общая стоимость оборудования и автомобиля составит 5 575 000 руб., учитывая доставку и монтаж и регулировку линии для приготовления лечебных кормов и премиксов, примем объем капитальных вложений равным 6 000 000 рублей [52].

Проектирование мобильной установки по приготовлению лечебных кормов связано с неизбежными финансовыми вложениями. В экономике они называются единовременными затратами [52].

При создании мобильной установки по приготовлению лечебных кормов к единовременным затратам относятся следующие:

- стоимость транспортного средства;
- стоимость технологического оборудования;
- стоимость технологической оснастки;
- доставка оборудования и оснастки, их монтаж, настройка и регулировка.

Для того чтобы не вносить конструктивные изменения в транспортное средство производственную линию по приготовлению лечебных кормов изготовим на пневматической платформе, поддерживающее ровную поверхность, независимо от транспортного средства.

Расчет стоимости пневматической платформы проводим по формуле:

$$C_{TC} = F_{TC} \cdot C_{M^2}, \quad (4.1)$$

где  $F_{TC}$  – производственная площадь кузова ТС, площадь производственного кузова мобильной установки по приготовлению лечебных кормов согласно паспортным данным автомобиля составляет 6,5 м<sup>2</sup>;

$C_{M^2}$  - стоимость 1 м<sup>2</sup> строительных работ, данный показатель принимается на основе анализа рынка строительных услуг и на текущий момент мы можем принять в размере 60 тыс. руб.

Подставив данные в формулу (4.1), получаем:

$$C_{TC} = 6,5 \cdot 60000 = 390000 \text{ руб.}$$

Перечень необходимого технологического оборудования и организационной оснастки приведен в таблице 4.2, его стоимость составляет 5 575 000 рублей.

Стоимость технологической оснастки, куда относят разнообразный инструмент, посуду, приспособления и приборы, необходимые для выполнения производственных операций, составляет приблизительно 1000000 рублей.

В итоге общая стоимость необходимого оборудования, организационной и технологической оснастки составит:

$$C_{\text{об.общ.}} = 5575000 + 1000000 = 6575000 \text{ руб.}$$

Требуемое оборудование заказывается у разных поставщиков и производителей, в связи с чем в расчетах затрат необходимо учитывать стоимость доставки и монтажа. Принимаем затраты на эту статью расходов равными 20 % от общей стоимости оборудования. Расчет произведем по формуле:

$$C_{\text{ДМ}} = 0,2 \cdot C_{\text{об.общ.}} \quad (4.2)$$

Подставив данные в формулу (4.2), получим:

$$C_{\text{ДМ}} = 0,2 \cdot 6575000 = 1315000 \text{ руб.}$$

Величину единовременных затрат найдем по формуле:

$$EZ = C_{TC} + C_{\text{об.общ.}} + C_{\text{ДМ}} \quad (4.3)$$

Получим:

$$EZ = 390000 + 6575000 + 1315000 = 8280000 \text{ руб.}$$

Расчет общих производственных расходов

Расчет расценок оплаты труда вет.работников

Работникам мобильной установки по приготовлению лечебных кормов будет начисляться заработная плата с учетом их квалификации. Для этого определим коэффициенты для корректирования стоимости нормо-часа работы. Результаты представим в виде табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Коэффициент корректировки стоимости нормо-часа

Квалификация работника	Коэффициент корректировки, $K_{кор}$
Ветоператор 3-го разряда	1,0
Ветоператор 4-го разряда	1,2
Ветоператор 5-го разряда	1,4

На основании анализа деятельности конкурентов и среднерыночной заработной платы по данным Хэд Хантер за 2023 год, принимаем стоимость одного нормо-час работы Ветоператор равным 900 рублей.

Средняя стоимость нормо-часа рассчитывается по формуле:

$$S_{cp} = \frac{S \cdot K_{кор} \cdot P_{3шт} + S \cdot K_{кор} \cdot P_{4шт} + S \cdot K_{кор} \cdot P_{5шт}}{P_{шт}}, \quad (4.4)$$

где  $S$  – стоимость нормо-часа работ;

$P_{3шт}$ ,  $P_{4шт}$ ,  $P_{5шт}$  – количество вет.работников соответствующей квалификации;

$P_{шт}$  – общее количество вет.работников.

$$S_{cp} = \frac{900 \cdot 1 \cdot 1 + 900 \cdot 1,2 \cdot 1 + 900 \cdot 1,4 \cdot 1}{3} = 2400 \text{ руб.}$$

Расчет фонда оплаты труда

Расчёт фонда оплаты труда проводим по формуле:



$$OT_C = T_{Вет} \cdot S_{ср}, \quad (4.5)$$

где  $T_{Вет}$  – годовой объем работ.

$$OT_C = 18034 \cdot 2400 = 43281600 \text{ руб.}$$

Премия за количественные и качественные показатели

Размер премии за высокие количественные и качественные показатели работы составляет 20 % от фонда оплаты труда. Коэффициент премирования равен  $K_{прем} = 0,2$ .

Размер премии определим по формуле:

$$Пр = 0,2 \cdot OT_C. \quad (4.6)$$

$$Пр = 0,2 \cdot 43281600 = 8656320 \text{ руб.}$$

Расчет фонда основной заработной платы

Фонд основной заработной платы определим по формуле:

$$ОЗП = OT_C + Пр. \quad (4.7)$$

$$ОЗП = 43281600 + 8656320 = 51937920 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата – заработная плата за нерабочее время, то есть дни отпуска и дни выполнения государственных обязанностей. Количество дней отпуска принимаем равным 24.

Количество рабочих дней в году одного ве.рабочего составляет  $D_{раб} = 354$  дня.

Фонд дополнительной заработной платы определяется в % от основной заработной платы:

$$\% ДЗП = \frac{D_{отп}}{D_{раб}} \cdot 100\% + 1, \quad (4.8)$$

$$\% ДЗП = \frac{24}{354} \cdot 100\% + 1 = 15\%$$

$$ДЗП = \frac{ОЗП \cdot \% ДЗП}{100}. \quad (4.9)$$

$$ДЗП = \frac{51937920 \cdot 15}{100} = 7790688 \text{ руб.}$$

Расчет общего фонда оплаты труда вет.работников

Расчет общего фонда оплаты труда производим суммированием основной и дополнительной заработной платы по формуле:

$$\Phi OT_{\text{общ}} = ОЗП + ДЗП. \quad (4.10)$$

$$\Phi OT_{\text{общ}} = 51937920 + 7790688 = 59728608 \text{ руб.}$$

Расчет страховых взносов

Социальные отчисления (страховые взносы) составляют 30,2 % от общего фонда оплаты труда и рассчитываются по формуле:

$$СО = \Phi OT_{\text{общ}} \cdot K_{\text{СВ}}, \quad (4.11)$$

где  $K_{\text{СВ}}$  – коэффициент, учитывающий начисление страховых взносов на заработную плату вет.работников.

$$СО = 59728608 \cdot 0,302 = 18038040 \text{ руб.}$$

Расчет фонда заработной платы с начислениями

Величину фонда заработной платы с начислениями определяем по формуле:

$$\Phi OT_{\text{общ.нач.}} = \Phi OT_{\text{общ}} + СО. \quad (4.12)$$

$$\Phi OT_{\text{общ.нач.}} = 59728608 + 18038040 = 77766648 \text{ руб.}$$

Расчет расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды<sup>^</sup>

$$C_{\text{хоз.нуж.}} = \frac{(40 \cdot P_{\text{яв.}} + 1,5 \cdot F_{\text{ТС}}) \cdot D_{\text{раб.}} \cdot 1,2 \cdot Ц_{\text{В}}}{1000}, \quad (4.13)$$

где  $P_{\text{яв}}$  – численность работающих на линии приготовления лечебных кормов и премиксов для животноводства и птицеводства, чел.

$D_{\text{р}}$  - дни работы линии, дни.

$F_{\text{ТС}}$  - площадь линии, м<sup>2</sup>

$\Pi_{\text{в}}$ - цена за 1 м<sup>3</sup> согласно тарифам Московской области составляет 50 руб/м<sup>3</sup>.

$$C_{\text{хоз.нуж.}} = \frac{(40 \cdot 3 + 1,5 \cdot 6,5) \cdot 354 \cdot 1,2 \cdot 50}{100} = 27559 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на электроэнергию для технических целей

Расчет затрат на электроэнергию для технических целей проводим по формуле:

$$C_{\text{э.сил.}} = \sum P_{\text{уст.}} \cdot T_{\text{с}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{з}} \cdot K_{\text{ПС}} \cdot \Pi_{\text{э.с.}}, \quad (4.14)$$

где:  $\sum P_{\text{уст.}}$  - установленная мощность потребителей электроэнергии, кВт.

$T_{\text{с}}$ - годовое количество часов использования силовой нагрузки, кВт.

$K_{\text{с}}$ - коэффициент спроса, показывающий степень использования установленной мощности (0,3...0,6)

$K_{\text{з}}$ - коэффициент загрузки оборудования (0,7...0,8)

$K_{\text{ПС}}$ - коэффициент, учитывающий потери в сети (0,95...0,98)

$\Pi_{\text{э.с.}}$ - стоимость 1 кВт силовой электроэнергии согласно данным ПАО «Мосэнергосбыт Московская область» 5,7 руб/ кВт.

$$C_{\text{э.сил.}} = 91,15 \cdot 4248 \cdot 0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 5,7 = 733851 \text{ руб.}$$

Расчет затрат электроэнергии для целей освещения

Расчет затрат электроэнергии для целей освещения проводим по формуле:

$$C_{\text{осв.}} = N_{\text{м}^2} \cdot F_{\text{ТС}} \cdot T_{\text{осв}} \cdot \Pi_{\text{осв}}, \quad (4.15)$$

где:  $N_{\text{м}^2}$  – освещенность 1 м<sup>2</sup> площади равная от 18 до 20 Вт (0,018...0,02 кВт)

$F_{\text{ТС}}$  – площадь ТС, м<sup>2</sup>

$T_{\text{осв}}$  – число часов использования освещения в год, час,

$\Pi_{\text{осв}}$  – стоимость 1 кВт осветительной электроэнергии согласно данным ПАО «Мосэнергосбыт Московская область» 5,2 руб/ кВт.

$$T_{\text{осв}} = D_{\text{раб.}} \cdot t_{\text{осв.день}} \cdot \quad (4.16)$$

где  $D_{\text{раб.}}$  – количество дней работы линии в году,

$t_{\text{осв.день}}$  – количество часов использования освещения в сутки.

$$T_{\text{осв}} = 354 \cdot 12 = 4248 \text{ часов.}$$

Подставив данные в формулу (4.15), получим:

$$C_{\text{осв.}} = 0,02 \cdot 6,5 \cdot 4248 \cdot 5,2 = 2872 \text{ руб.}$$

Расчет общих затрат на электроэнергию

Расчет общих затрат на электроэнергию проводим по формуле:

$$C_{\text{общ.}} = C_{\text{э.сил.}} + C_{\text{осв.}}, \quad (4.17)$$

$$C_{\text{общ.}} = 733851 + 2872 = 736723 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений по основным производственным фондам

Результаты расчета амортизационных отчислений сведем в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Амортизационные отчисления

№ п/п	Группа основных фондов	Стоимость ОПФ, руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1	Автомобиль	4 200 000	5	210 000
2	Оборудование	1 375 000	7	96 250
Итого		5 575 000	-	306 250

#### Затраты на содержание и ремонт ОПФ

Содержание и текущий ремонт производственных платформ принимается в размере 5 % от её стоимости:

$$C_{\text{тр.зд.}} = 0,05 \cdot C_{\text{ТС}}. \quad (4.18)$$

$$C_{\text{тр.зд.}} = 0,05 \cdot 39000 = 19500 \text{ руб.}$$

Содержание и текущий ремонт оборудования принимается в размере 5 % от стоимости оборудования:

$$C_{\text{тр.об.}} = 0,05 \cdot C_{\text{ОБ}}. \quad (4.19)$$

$$C_{\text{тр.об.}} = 0,05 \cdot 1375 000 = 68750 \text{ руб.}$$

Общие затраты на содержание ОПФ рассчитаем по формуле:

$$C_{\text{общ.тр.}} = C_{\text{тр.зд.}} + C_{\text{тр.об.}} \quad (4.20)$$

$$C_{\text{общ.тр.}} = 19500 + 68750 = 88250 \text{ руб.}$$

Прочие накладные расходы

Прочие накладные расходы принимаются в размере 10 % от стоимости производственного корпуса и рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{проч}} = 0,1 \cdot C_{\text{ТС}} \quad (4.21)$$

$$C_{\text{проч}} = 0,1 \cdot 390000 = 39000 \text{ руб.}$$

Определение общей суммы затрат

$$C_{\text{общ}} = \sum C_{\text{затрат}}$$

$$C_{\text{общ}} = 39000 + 88250 + 68750 + 19500 + 736723 + \\ + 27559 + 77766648 = 78746430 \text{ руб.}$$

Расчет финансовых результатов

Расчет стоимости одного нормо-часа проводим по формуле:

$$S_{\text{1нч}} = \frac{C_{\text{общ}}}{Q}, \quad (4.22)$$

где  $C_{\text{общ}}$  – общая сумма затрат, руб.

$Q$  – годовой объем работ мобильной установки [46], чел.-ч.

$$S_{\text{1нч}} = \frac{78746430}{18034} = 4366 \text{ руб.}$$

Стоимость одного нормо-часа составляет:

$$T_{\text{1нч}} = S_{\text{1нч}} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot 1,2, \quad (4.23)$$

где  $R$  – наценка на услуги мобильной установки, % ( $R = 15$  %).

$$T_{\text{1нч}} = 4366 \cdot \left(1 + \frac{15}{100}\right) \cdot 1,2 = 6025 \text{ руб.}$$

Доход, полученный от линии, определяется по формуле:

$$D = T_{\text{инч}} \cdot Q, \quad (4.24)$$

где  $Q$  – годовой объем работ мобильной установки.

$$D = 6025 \cdot 18034 = 108654850 \text{ руб.}$$

Расчет прибыли

Валовая прибыль определяется по формуле:

$$P_{\text{ВАЛ}} = (T_{\text{инч}} - S_{\text{инч}}) \cdot Q. \quad (4.25)$$

$$P_{\text{ВАЛ}} = (6025 - 4366) \cdot 18034 = 29918406 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль определяется по формуле:

$$ЧП = P_{\text{ВАЛ}} - H, \quad (4.26)$$

где  $H$  – налог на прибыль, равный 20 % прибыли.

$$ЧП = 29918406 - 5983681 = 23934725 \text{ руб.}$$

Уровень рентабельности единовременных затрат:

$$R_{\text{ЕЗ}} = \frac{ЧП}{ЕЗ} \cdot 100\% \quad (4.27)$$

$$R_{\text{КВ}} = \frac{23934725}{8280000} \cdot 100\% = 28,9 \%$$

Расчет срока окупаемости капитальных вложений

Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается по формуле [28,93,97]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{ЕЗ}{ЧП} \quad (4.28)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{8280000}{23934725} = 0,5 \text{ года.}$$

Все расчёты для удобства сведём в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты расчета экономической эффективности

№ п/п	Показатель	Значение
1	Капитальные вложения, руб.	8 280 000
2	Общие затраты, руб., в том числе	78 746 430
2.1	Фонд оплаты труда со страховыми взносами, руб.	77 766 648
2.2	Затраты на водоснабжение, руб.	27559
2.3	Затраты на электроэнергию, руб.	736 723
2.4	Затраты на амортизацию платформы и оборудования, руб.	68 750
2.5	Затраты на содержание и ремонт основных производственных фондов, руб.	88 250
2.7	Прочие накладные расходы, руб.	39 000
3	Себестоимость 1 нормо-часа, руб.	4366
4	Наценка на услуги линии, %	15
5	Тариф 1 нормо-часа, руб.	6025
6	Валовая прибыль, руб.	29 918 406
7	Годовой доход, руб.	108 654 850
8	Чистая прибыль, руб.	23 934 725
9	Уровень рентабельности капитальных вложений, %	28,9
10	Срок окупаемости, лет	0,5

Согласно исследованию В.А. Сидоркина, Д.Б. Полутова, К.А. Якунина экономический ущерб, наносимый гельминтозами животноводству, огромен. В масштабах России ежегодный ущерб от дикгиокаулеза жвачных достигает 75 млн. рублей, от фасциолеза-19,9 млн., от цистицеркоза - 42,5 млн., а от стронгилятозов - 77,7 млн. рублей. Столь значительные потери аграрного сектора экономики подчеркивают необходимость разработки адекватных мер профилактики и борьбы с гельминтозами животных [68].

Увеличение молочной продуктивности коров тесно связано с улучшением условий кормления и содержания, при этом кормление должно быть полноценным, сбалансированным по основным элементам питания [45].

Согласно исследованию [45] в соответствии с детализированными нормами кормления, обеспечивающими получение 20-24 кг суточного удоя суточные рационы балансировали по основным питательным веществам, минеральным элементам и аминокислотам. Для восполнения рационов по недостающим показателям были разработаны рецепты премиксов, которые удовлетворили потребность коров в недостающих элементах.

Использование премиксов оказало положительное влияние на продуктивные качества коров, что связано с увеличением обмена веществ (рисунок 4.7).

В течение опыта учитывали среднесуточный удой и качественные показатели молока. Среднесуточный удой коров контрольной группы составил 18,85 кг, в 1-й опытной он был больше на 5,1%, во 2-й — на 7,4 %. Повышение удоя за главный период опыта произошло в опытных группах.



Рисунок 4.7 – Молочная продуктивность коров

Использование премиксов позволило повысить молочную продуктивность коров за главный период опыта в пересчете на базисную жирность в опытных группах на 5,12 и 7,66 % по отношению к контрольной группе. Таким образом,



количество дополнительной продукции от одной коровы составило соответственно 206 кг и 308 кг.

По экономическим показателям уровень вырученных средств вырос на 7,1% по сравнению с контрольным периодом (рисунок 4.8).

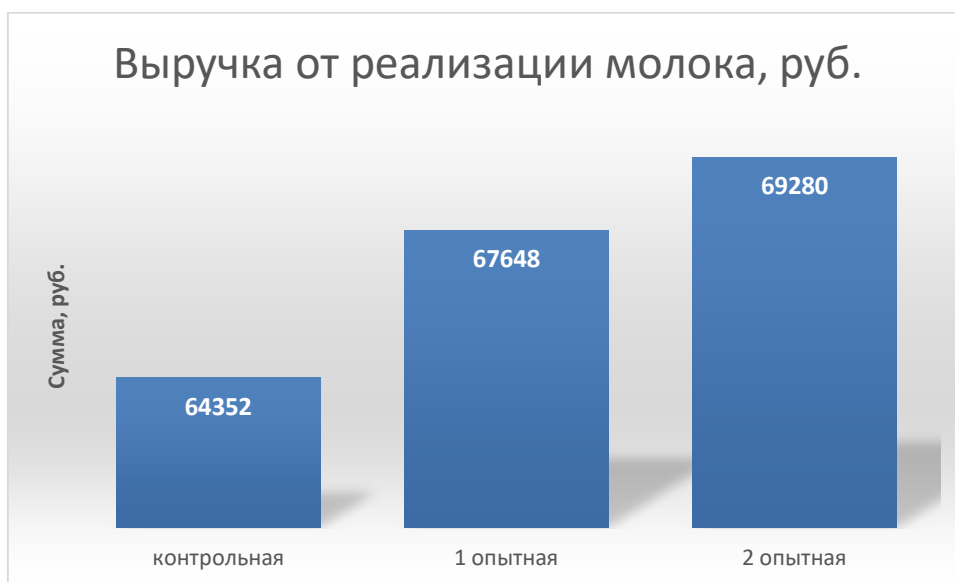


Рисунок 4.7 – Экономическое обоснование [45]

А уровень рентабельности вырос с 38,89% до 48,86%, т.е. практически на 10%, что положительно влияет при увеличении себестоимости от применения лечебных премиксов, как показано на рисунке 4.9.

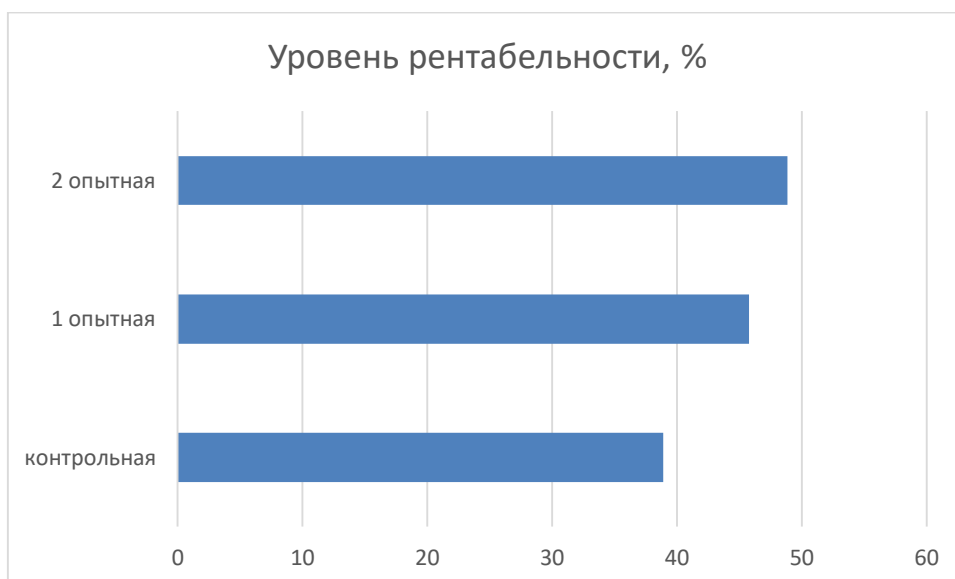


Рисунок 4.9 – Показатели роста рентабельности от увеличения удоя [45]

Таким образом, введение в рацион дойных коров премиксов, содержащих витамины, микроэлементы, незаменимые аминокислоты, пробиотик, адсорбент токсинов и антиоксидант, ведет к повышению молочной продуктивности и улучшению качественных показателей молока, а главное снижает уровень смертности от болезней.

#### **Выводы по главе 4**

1. Разработан способ приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке, реализованный в мобильной установке, оборудованной конструктивно простой и технологичной линией смешивания, может обеспечить однородность смеси 0,95-0,98% и своевременную подготовку смеси для животноводства и птицеводства во всех регионах страны, при этом время смешивания и удельные затраты энергии снижаются в 2 раза.

2. Измельчитель-смеситель и смеситель линии приготовления лечебных кормов выполнены в форме шара, внутри которых установлены сферические экраны, разделяющие их объемы на зоны повышенного давления и вакуума и с вращающимися лопастями формируют целенаправленный устойчивый поток материально-воздушной смеси по вогнутым поверхностям сферы в зоны диффузионного и конвективного смешивания. Этим достигается более высокая однородность смеси лечебных кормов.

3. Представленные технологические и экономические расчеты доказывают целесообразность предлагаемого технологического проекта организации мобильной установки по приготовлению лечебных кормов для животноводства и птицеводства, так как срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,5 года, что соответствует нормативам проектирования, а уровень рентабельности почти в 30% показывает экономическую эффективность для предприятий ветеринарного обеспечения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа существующих способов работы смесителей показал, что наилучшими характеристиками обладают смесители работающие по принципу механического псевдооживления.

2. Процесс смешивания сыпучих кормов можно интенсифицировать, если перевести перемешиваемый слой материала в псевдооживленное состояние, характеризующееся увеличением подвижности материала, обеспечиваемое механическим воздействием наклонной лопасти на сыпучую среду. Усовершенствована методика определения параметров, характеризующих миграционную способность мелких частиц различной плотности в диапазоне крупности от 1,0 до 0,001 мм под действием воздушного потока, позволяющая определить условия эффективности разделения смеси по крупности и плотности, определяемые состоянием равновесия частицы на наклонной поверхности и зависящее от скорости потока и угла наклона лопастей смесителя.

3. Разработана математическая модель и усовершенствована методика расчета смесителей, работающих по принципу механического псевдооживления с выявлением особенностей перемещения частиц разной крупности и плотности в воздушно-материальных потоках при скоростях менее их скорости витания в шаровом корпусе смесителя и при скоростях псевдооживленного слоя в виде воздушно-материальной смеси и их активного взаимодействия, что позволяет предложить новую конструкцию смесителей. Установлено, что наиболее эффективные условия смешивания материалов различных размеров частиц и плотности достигается в воздушно-материальном потоке с обеспечением пересекающихся траекторий легких и тяжелых частиц в поле гравитационных, центробежных и аэродинамических сил.

4. Определено что минимальная неоднородность достигается в интервале варьирования соотношения удельных весов компонентов  $\frac{\gamma_n}{\gamma_k}$  от 1 до 1,7 при сыпучести наполнителя  $c$  в диапазоне от 0,16 до 0,15. Высота корпуса должна быть больше на 30 % по сравнению с высотой слоя материала, оптимальное количество ярусов  $z$  составляет от 1 до 3, при количестве лопастей в ярусе равном двум и размахе лопастей, составляющем 85...95 % от диаметра корпуса,

обеспечивающей рабочую окружную скорость лопастей на 20 % выше критической скорости псевдооживления. Определено, что для перехода среды в псевдооживленное состояние и увеличения степени разрыхления слоя необходимо, чтобы осевой поток материала через лопасть был максимальным и для выполнения указанного условия угол наклона лопасти смесителя должен составлять  $\alpha = 45^\circ$ .

5. Определено оптимальное значение окружной скорости лопасти 4...4,5 м/с при которой происходит также резкое увеличение объема слоя с переходом сыпучей среды в псевдооживленное состояние, сходное с тем, которое получается при продувке газа через слой, а также предельное значение скорости на уроне 7...8 м/с при достижении которой происходит резкое увеличение внутреннего и внешнего трения и потребной мощности. Выполнение измельчителя-смесителя и смесителя линии приготовления лечебных кормов в форме шара, внутри которого устанавливаются сферические экраны, разделяющие его объем на зоны повышенного давления и вакуума с формированием посредством вращающихся лопастей целенаправленного устойчивого потока материально-воздушной смеси по вогнутым поверхностям сферы в зонах диффузионного и конвективного смешивания позволяет повысить однородность смеси лечебных кормов до 95-98 %.

6. Приготовление кормолекарственной смеси в турбулентном потоке, реализованное на базе мобильной установки, оборудованной конструктивно простой и технологичной линией смешивания, может обеспечить своевременную подготовку смеси высокой однородности, т.е. с коэффициентом вариации находящегося в пределах  $2\% < V_c < 15\%$ . для животноводства и птицеводства во всех регионах страны, при этом время смешивания и удельные затраты энергии ниже в 2 раза в сравнении с традиционными способами производства смесей. Анализ предложенной концепции работы мобильной установки по приготовлению лечебных кормов для животноводства и птицеводства, позволит получить прибыль свыше 23 млн. рублей в ценах 2022 года, при условии обслуживании поголовья 3000 голов крупного рогатого скота.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматические установки для производства комбикормов в хозяйствах / Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. // М: Изд. РАН, Вестник российской сельскохозяйственной науки, 2020, №2, стр. 66-71.
2. Агеев, А.В. Состояние и перспективы мирового и отечественного производства кормов для объектов аквакультуры, производства и потребления рыбной муки / А. В. Агеев // Рыбное хозяйство. - 2018. - № 5. - С. 81-85. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36675734> (дата обращения: 01.12.2020).
3. Альбен – инструкция, способ применения // [Электронный ресурс]. URL://[www.zoozilla.org/drugs/drug/Alben](http://www.zoozilla.org/drugs/drug/Alben). (Дата обращения 09.11.2019).
4. Афанасьев, В.А. Состояние и основные тенденции развития комбикормовой промышленности России / В. А. Афанасьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». Том Выпуск 51. – Минск : Беларуская навука, 2018. – С. 155-160.
5. Баротермическая обработка ингредиентов комбикормов / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Н. Рассказов, Д.И. Торопов // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 428-442.
6. Сыроватка, В. И. Развитие машинных технологий приготовления комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка, Ю.А. Иванов, А.Д. Обухов // Инновационные процессы и технологии в животноводстве: исследования, испытания, внедрение : сборник научных трудов 6-й Международной научно-практической конференции "Инженерное обеспечение инновационного развития сельскохозяйственного производства", Зерноград, 06–07 апреля 2011 года / Редакционная коллегия: Пахомов В. И. ответственный редактор, Винников И.К., Тищенко М.А., Бурьянов А.И., Газалов В.С., Пахомов А.И., Смоленский А.В., Брагинец С.В., Кушнарев А.П., Гринь А.П. ответственный секретарь. –

Зерноград: Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, 2011. – С. 174-191.

7. Горячкин В. П. Собрание сочинений. - М. : Сельхозгиз.Т. 7 / Всесоюзная акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина; под ред. С. В. Полетаева, К. А. Полевицкого, А. Н. Гудкова. - 1949. - 230 с.

8. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.А. Тюлин [и др.]. – Москва : ФГБНУ "Росинформагротех", 2020. – 92 с.

9. В.С. Крюков /«Производство однородных комбикормов и качество премиксов»// [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL <http://soyanews.info/news/-Proizvodstvo-odnorodnykh-kombikormov-i-kachestvo-.html>.

10. Валигурский, Д.И. Основные задачи обеспечения продовольственной независимости России / Д. И. Валигурский, Э. А. Арустамов. - Текст: электронный // Вестник евразийской науки. - 2018. - Т. 10, № 5. - URL: <https://esj.today/PDF/30ECVN518.pdf> (дата обращения: 01.12.2020).

11. Василенко П.М. / Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин // изд-во Академия с-х наук УССР, Киев 1960.

12. Г.В. Веденяпин / Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных // М. Колос, 1967 г.

13. Гаврилов Д. М., Лебедев И. Ф. / Поведение материальных частиц в потоке на искривленной поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень» МГГУ-2007, №3 С. 368-372

14. Глобальный рынок кукурузы – тенденции и прогнозы. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.agroxxi.ru/analiz-rynka-selskhozjaistvennyh-tovarov/globalnyi-rynok-kukuruzy-tendencii-i-prognozy.html> (Дата обращения 05.11.2019).

15. Дидманидзе, О.Н. Результаты исследований температурного режима осушаемой торфяной почвы / О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, А. В. Евграфов // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 45-49.

16. Дидманидзе, О. Н. Перспективы развития технического уровня отечественных тракторов / О. Н. Дидманидзе, А. С. Гузалов, Н. А. Большаков // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Сам Полиграфист", 2022. – С. 83-88.

17. Дидманидзе, О. Н. Формирование подхода к созданию цифрового двойника трактора сельскохозяйственного назначения / О. Н. Дидманидзе, Н. Н. Пуляев, А. С. Гузалов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 61. – С. 33-37.

18. Дидманидзе, О.Н. Основы работоспособности и надежность технических систем / О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев. – Москва : Учебно-методический центр "Триада", 2020. – 232 с.

19. Дидманидзе, О. Н. Стратегия развития тракторостроения в России / О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Е. П. Парлюк // Современные достижения аграрной науки : научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 80 летию д.с.-х.н., профессора, член-корр. РАН, почетного члена АН РТ, академика АИ РТ, трижды Лауреата Государственных и Правительственной премии в области науки и техники, Заслуженного деятеля науки РФ, Заслуженного работника сельского хозяйства РТ Мазитова Назиба Каюмовича, Казань, 02 ноября 2020 года / Казанский государственный аграрный университет. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 273-279.

20. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – Москва : ООО "УМЦ "Триада", 2018. – 150 с. – EDN YTMPWO.

21. Дидманидзе, Р.Н. Повышение эффективности производственных процессов с обеспечением конкурентоспособности продукции / Р.Н. Дидманидзе, А.С. Гузалов // Доклады ТСХА : Материалы международной научной конференции, Москва, 05–07 декабря 2017 года. Том Выпуск 290, Часть 2. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. – С. 91-93.
22. Е.М. Клычев, В.И. Сыроватка. Исследование процесса смешивания сыпучих кормов в псевдооживленном слое. Научные труды ВИЭСХ, том 34, М, ВИЭСХ, 1973.
23. ЕМИСС за 2013–2017 гг.//Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru>. – Дата доступа: 03.11.2019.
24. Жданова, Н.В. Применение ферромагнитных микротрейсеров как индикаторов определения качества однородности лечебных кормов, комбикормов и премиксов / Н. В. Жданова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2018. – № 2(30). – С. 123-127.
25. И.В. Крагельский. Коэффициенты трения. Справочное пособие. МАШГИЗ, 1962, С. 8-12.
26. И.П. Мухленов и др. «Расчет препаратов кипящего слоя», Ленинград, Химия, 1986 г.
27. Интеллектуальная система управления и обеспечения эффективного производства продукции молочного скотоводства умной фермы / Ю. А. Иванов, В. К. Скоркин, П. И. Гриднев, Д. К. Ларкин. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. - 2019. - Т. 20, № 1. - С. 57-67. - URL: <https://www.agronaukasv.ru/jour/article/view/302/302> (дата обращения: 01.12.2020).
28. Камовников, Б. П. Техничко-экономические показатели сублимационных установок / Б. П. Камовников, М. Е. Фомин. - Текст: непосредственный // Мясная индустрия СССР. - 1975. - № 7. - С. 16-18.



29. Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии: учебное пособие // СПб, Профессия, 2008. - 560 с.

30. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: Уч. пос. / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин; Под ред. А.А. Берлина. - 3 изд., испр. - Санкт-Петербург :Профессия,2011-560с.

31. Кобакин В.В., Щербинина О.Х. К изучению паразитофауны лимнадофильных птиц в зоне Каракумского канала // Изв. АН ТССР / Сер. биол. Наук. - Ашхабад, 1962 - № 3.

32. Кильчевский, Николай Александрович. Теория соударений твердых тел [Текст] / АН УССР. Ин-т механики. - [Перераб. и доп. изд.]. - Киев : Наукова думка, 1969. - 246 с.

33. Клычев Е. М., Сыроватка В. И. Исследование процесса смешивания сыпучих кормов в псевдооживленном слое // Науч. тр. ВИЭСХ. 1973. Т. 34, С. 95-129.

34. Корма для ценных объектов аквакультуры: проблемы и решения / С. Пономарев, Ю. Федоровых, Ю. Ширина [и др.]. // Комбикорма. - 2019. - № 4. - С. 57-58. - URL: [https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/04\\_19/04\\_2019\\_57-58.pdf](https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/04_19/04_2019_57-58.pdf) (дата обращения: 01.12.2020).

35. Крюков В.С. Производство однородных комбикормов и качество премиксов. URL: <http://soyanews.info/news/proizvodstvo-ornorodnykh-kombikormov-i-kachestvo-htm>

36. Теоретическая механика : Учеб. для студентов вузов по агроинженер. специальностям / Ю. Ф. Лачуга, В. А. Ксендзов. - Москва : Колос, 2000. - 575, [1] с.

37. Левшин А.Г., Левшин А.А., Бутузов А.Е., Майстренко Н.А., Планирование и организация эксперимента, Учебное пособие, издательство РГАУ-МСХА, 2015 г.

38. Линия производства комбикормов для рыбы с вакуумным напылением / В. Василенко, Л. Фролова, И. Драган [и др.]. // Комбикорма. - 2019. - № 4. - С. 38.

39. Митягин Г.Е. Типаж и эксплуатация технологического оборудования. Рабочая тетрадь. / Г.Е. Митягин, О.Н. Дидманидзе, А.М. Карев, А.Ю. Измаилов, Р.Н. Егоров – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2015. – 38 с.

40. Методика определения сроков и стоимости реализации инновационного проекта / В.И. Нечаев, О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, А.Л. Эйдис. – Москва : ООО "Издательство "Триада", 2012. – 20 с.

41. Минимизация энергозатрат при использовании машинно-тракторных агрегатов / С.Ю. Журавлев; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 256 с.

42. Мировой рынок: производство масличных культур. [Электронный ресурс]. URL:<http://xn-80aplem.xn-p1ai/analytics/Mirovoj-rynok-proizvodstvo-maslicnyhkultur/>(Дата обращения 04.11.2019).

43. Морозов, Н.М. Исследование инновационных направлений повышения эффективности производства продукции животноводства / Н.М. Морозов, А.Н. Рассказов // Техника и оборудование для села. - 2018. - № 6. - С. 45-48. - URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/arkhiv-zhurnala-besplatnyj-dostup/send/55-arkhiv-zhurnala-za-2018/950-tehnika-i-oborudovanie-dlya-sela-iyun-6-252-2018> (дата обращения: 01.12.2020).

44. Н.П. Мишуков, С.А. Давыдова, А.Р. Лозовский // Типография ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – С. 86.

45. Научные основы процесса смешивания лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем в технологии производства комбикормов. Сыроватка В.И., Дидманидзе О.Н., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Международный технико-экономический журнал. МСХ 2020, №2, стр. 72-79.

46. Нормы времени на выполнение ветеринарных работ на животноводческих фермах, комплексах и птицефабриках (одобрены

Минсельхозом РСФСР, протокол от 09.12.1982 N 7) Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/normy-vremeni-na-vypolnenie-veterinarykh-rabot-na/?ysclid=lp2kxeqcnh760614455> Дата обращения 01.09.2023

47. Обоснование ресурсного обеспечения предприятий технического сервиса АПК: учеб. пособие / М.И. Чеботарев, С.А. Дмитриев, М.Р. Кадыров. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 97 с.

48. Определение оптимального соотношения между дискретизацией и квантованием для СВЧ АЦП / Г. Алексеев, А. Каленов, И. Мухин, В. Репин // Электроника: наука, технология и бизнес. - 2019. - № 6. - С. 72-74. - URL: [https://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/7/article\\_7510\\_450.pdf](https://www.electronics.ru/files/article_pdf/7/article_7510_450.pdf) (дата обращения: 01.12.2020).

49. Основы технологического расчета сельскохозяйственных машин. Примеры выполнения технологических расчетов : задания для курсовой работы: учебно-методическое пособие для обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия, профиль – Технические системы в агробизнесе / М. А. Новиков, В. А. Смелик, Л. И. Ерошенко [и др.] ; Министерство сельского хозяйства РФ, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2022. – 84 с.

50. П.М. Василенко, Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение : Учеб.-метод. пособие для студентов и аспирантов фак. механизации сел. хоз-ва / П. М. Василенко; Укр. с.-х. акад. - Киев : Изд-во УСХА, 1990. - 14[1] с.

51. Парлюк, Е.П. Менеджмент техники и технологии / Е.П. Парлюк. – Москва : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2017. – 248 с.

52. Парлюк, Е.П. Экономическое обоснование и оценка проектных решений по эксплуатации и ремонту транспортно-технологических машин и

комплексов / Е. П. Парлюк. – Москва : Редакция журнала "Механизация и электрификация сельского хозяйства", 2019. – 144 с.

53. Пат. (положительное решение №2020108001 от 25.05.2020) Российской Федерации. Линия приготовления лечебных кормов. Сыrovатка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2020.

54. Пат. (положительное решение №202108044 от 25.02.2020 г.) Российской Федерации. Способ смешивания лечебных препаратов, витаминных и минеральных добавок с наполнителем. Сыrovатка В.И., Дорохов А.С. Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2020.

55. Пат. 267798 Российской Федерации. Установка фракционного измельчения и производства смесей концентрированных кормов. Сыrovатка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019.

56. Пат. 2680315 Российская Федерация. Способ фракционного измельчения и производство смесей концентрированных кормов. Жданова Н.В. Заявитель и патентообладатель Москва, ФГБНУ ВНИ-ИМЖ, 2019.

57. Пат. 2703196 Российской Федерации. Установка для приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов. Сыrovатка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019.

58. Пат. 2706584 Российской Федерации. Способ приготовления гомогенной смеси лечебных кормов, витаминных термолабильных и минеральных премиксов. Сыrovатка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019.

59. Пат. 2707042 Российская Федерация. Способ производства лечебных кормов. Сыrovатка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель

60. Пат. 2707042 Российской Федерации. Способ производства лечебных кормов. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Заявитель и патентообладатель Москва ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019.

61. Патент № 2580964 Российская Федерация, МПК F26B 9/06(2006.01). Сублимационная установка: № 2015102338/06: заявл. 26.01.2015: опубл. 10.04.2016 / Сыроватка В. И., Мишуров Н. П., Комарчук Т. С., Бацазов Г. В.; ФГБНУ ВНИИМЖ. - 7 с. - URL: [http://www.freepatent.ru/images/img\\_patents/2/2580/2580964/patent-2580964.pdf](http://www.freepatent.ru/images/img_patents/2/2580/2580964/patent-2580964.pdf) (дата обращения: 01.12.2020).

62. Патент № 2581232 Российская Федерация, МПК A23K 30/12. Линия для сублимации кормов и продуктов: № 2015102332/13: заявл. 26.01.2015; опубл. 20.04.2016 / Жданов Н. А, Сыроватка В. И., Бацазов Г. В., Комарчук Т. С.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИМЖ. - 7 с. - URL: <https://findpatent.ru/patent/258/2581232.html> (дата обращения: 01.12.2020).

63. Приложение №2 к протоколу заседания президиума совета по реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы от 14 ноября 2018 г. №4 ПС [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.government.ru/news/34707/> (дата обращения: 24.02.2019).

64. Производительность установки фракционного измельчения и производства смесей концентрированных и лечебных кормов. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Достижения науки АПК, 2018, Т32312, стр.101-104.

65. Производительность установки фракционного измельчения и производства смесей концентрированных и лечебных кормов / Сыроватка В.И. и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 12. С. 101.

66. Производство комбикормов в России. [Электронный ресурс].URL:<https://agrovesti.net/news/indst/proizvodstvo-kombikormov-v-rossii.html> (Дата обращения:04.11.2019).

67. Производство конкурентоспособных кормов для аквакультуры / Н. П. Мишуров, Л. Ю. Коноваленко, В. И. Сыроватка, С. В. Пономарев // Техника и

оборудование для села. - 2020. - № 10 (280). - С. 15-18. - URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-280-4> (дата обращения: 01.12.2020).

68. Пуляев, Н.Н. Цифровизация сельского хозяйства России: особенности, трудности и перспективы / Н.Н. Пуляев, В.С. Богданов, Д.Г. Асадов // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Сам Полиграфист", 2022. – С. 66-72. – EDN MIBUWN.

69. Рекомендации по использованию машин и оборудования для приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: Колос, 1977.

70. Рыбная мука в комбикормах / И. А. Егоров, А. Н. Шевяков, Т. В. Егорова [и др.] // Свиноводство. - 2020. - № 1. - С. 19-20. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42192531> (дата обращения: 01.12.2020).

71. Система машин для приготовления комбикормов в хозяйствах. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Техника и технологии в животноводстве (ИМЖ-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) №1, 2020, стр. 6-10

72. Смирнов В. И. Курс внешней математики, изд-во физико-математической литературы, М., 1958.

73. Сосипатров Г.В. Гельминтозы и рекомендации по их профилактике в хозяйствах специализированных по откорму свиней // Труды всесоюзного института гельминтологии. М., 1974, Т 21, С 61-66

74. Спесивцев А. Процесс смешивания при производстве комбикормов // Комбикорма. 2016. № 3. С. 37-41.

75. Стратегия реализации научно-технических достижений по тепловой обработке компонентов комбикормов. Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Международная научная конференция г.Киров, 12-14 декабря 2018, Монография, стр. 127-140.

76. Стратегия реализации научно-технических достижений по тепловой обработке комбикормов / Сыроватка В.И. и др. // Энергосберегающие

агротехнологии и техника для сев. земледелия и животноводства. Киров, 2018, С.127-140.

77. Сублимация рыбопродуктов в условиях Арктики при производстве кормов для сельскохозяйственных животных / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Н. Рассказов [и др.] // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 2. – С. 274-290.

78. Сыроватка В. И. Научные труды ВИЭСХ, том XIV, 1964, С. 105-110.

79. Сыроватка В. И., Жданова Н. В., Обухов А. Д., Линия приготовления лечебных кормов, Патент №273050 Ru 273051 С1, 2020, Бюл. №24.

80. Сыроватка В. И., Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М. ФГУП, типография Россельхозакадемии, 2010

81. Сыроватка В.И. Применение энергии сверхвысоких частот (СВЧ) в производстве комбикормов / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Д. Обухов //Вестник научно-исследовательского института механизации животноводства. – № 2 (34) – 2019. – С. 4–15.

82. Сыроватка В.И. Ретроспективный анализ и перспективы развития машинных технологий производства комбикормов. Юбилейный сборник научных трудов «Механизация и автоматизация процессов в животноводстве»/ В.И. Сыроватка. – ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – С. 35–81.

83. Сыроватка, В. И. Стратегия реализации научно-технических достижений по тепловой обработке компонентов комбикормов / В. И. Сыроватка, Н. В. Жданова, А. Д. Обухов // Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства, Киров, 12–14 декабря 2018 года. – Киров: ООО "Кировская областная типография", 2018. – С. 127-140.

84. Сыроватка, В.И. Баротермическая обработка ингредиентов комбикормов/ В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Н. Рассказов, Д.И. Торопов //Инженерные технологии и системы. Том 29. – 2019. – № 3.

85. Сыроватка, В.И. Производительность установки фракционного измельчения и производства смесей концентрированных и лечебных кормов/

В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Д. Обухов //Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т32 № 12. – С. 101–104.

86. Сыроватка, В. И. Стратегия реализации научно-технических достижений по тепловой обработке компонентов комбикормов / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.Д. Обухов // Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства, Киров, 12–14 декабря 2018 года. – Киров: ООО "Кировская областная типография", 2018. – С. 127-140.

87. Тарг С .М . Т 19 К раткий курс теоретической механики: Учеб. для втузов/С .М . Тарг. — 20-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2010. — 416 с.: ил. Годес О. М., Цитович О. Б. «Аппараты с кипящим зернистым слоем», Ленинград, Химия, 1986 г.

88. Указ Президента Российской Федерации «О мерах реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» от 21 июля 2016 г. №350 [Электронный ресурс]. – [URL:http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71350102](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71350102) (дата обращения: 26.07.2018).

89. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Давыдова С.А., Соловьев С.А. / Иновационные технолологии производства кормов для мясного скотоводства: науч. аналит. обзор // – М: ФГБНУ «Роинформагротех», 2018. – 152 с.

90. Федоров К.М., Лукин Н.И., Тишин В.Б., Жариков А.Н., Дужий А.Б. Процессы и аппараты пищевых производств: Метод. указания к лабора- торным работам 1–4 для всех спец.. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. – 50 с.

91. Физические основы производства гомогенных смесей лечебных, витаминных и минеральных премиксов. Обухов А.Д., Жданова Н.В., Сыроватка В.И. Вестник ВНИИМЖ 2019, №4, стр. 12-19.

92. Формирование инновационного тракторного парка в сельском хозяйстве Красноярского края: научно-практические рекомендации / Н.И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2020. – 54 с.



93. Цугленок, Н. В. Методы и математические модели процесса обеззараживания продовольственного зерна : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям: 660200 - "Агрономия", 660300 - "Агроинженерия", 655600- Пр-во продуктов питания из растит. сырья, 655700- Технология продовол. продуктов спец. назначения и обществ. питания / Н. В. Цугленок, Г. И. Цугленок, Г. Г. Юсупова ; Н. В. Цугленок, Г. И. Цугленок, Г. Г. Юсупова ; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2004. – 219 с.

94. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости / И.Я. Штаерман, чл.-кор. АН УССР. - Москва ; Ленинград : Гостехиздат, 1949 (М. : 16-я тип. треста "Полиграфкнига"). - 270 с.

95. Эйдис, А.Л. Управление процессом создания технических систем для АПК : Учебник / А.Л. Эйдис, Е.П. Парлюк – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2016. – 188 с.

96. Энергоэффективность и ресурсосбережение автотракторной техники / О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев, Н.А. Большаков // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 67. – С. 38-43.

97. Ciurzyńska, A. Freeze-Drying - Application in Food Processing and Biotechnology - a Review / A. Ciurzyńska, A. Lenart. // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. - 2011. - Vol. 61, Issue 3. - Pp. 165-171. - URL: <http://journal.pan.olsztyn.pl/Freeze-Drying-Application-in-Food-Processing-and-Biotechnology-a-Review,98302,0,2.html> (дата обращения: 01.12.2020).

98. Didmanidze, O.N. Use of monomolecular protective film in friction units of agricultural machinery / O.N. Didmanidze, E.P. Parlyuk, N.N. Pulyaev // AIP Conference Proceedings : 2, Krasnoyarsk, 29–31 июля 2021 года. – Krasnoyarsk, 2022. – P. 020044.

99. Jackson, S. A. Yeasts and Molds: *Aspergillus Flavus* / S. A. Jackson, A. D. W. Dobson. // Encyclopedia of Dairy Sciences; ed. by J. W. Fuquay. - 2nd ed. -

Academic Press, 2011. - Pp. 785-791. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965010866?via%3DiHub> (дата обращения: 01.12.2020).

100. Kalantari, M. Microwave Technology in Freeze-Drying Process / M. Kalantari. // *Emerging Microwave Technologies in Industrial, Agricultural, Medical and Food Processing*; ed. by K. Y. You. - IntechOpen, 2018. - Pp. 143-157. - URL: <https://www.intechopen.com/books/emerging-microwave-technologies-in-industrial-agricultural-medical-and-food-processing/microwave-technology-in-freeze-drying-process> (дата обращения: 01.12.2020). DOI: 10.5772/intechopen.

101. Lenovich, L. M. Survival and Death of Microorganisms as Influenced by Water Activity / L. M. Lenovich. // *Water Activity: Theory and Applications to Food*; L. B. Rockland, L. R. Beuchat (eds). - 1st ed. - Boca Raton: Routledge, 1987. - 18 p. - URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/water-activity-theory-applications-food-louis-rockland-larry-beuchat> (дата обращения: 01.12.2020).

102. Maffei, S. Freezing and Freeze-Drying: The Future Perspective of Organ and Cell Preservation / S. Maffei, T. A. L. Brevini, F. Gandolfi. // *Stem Cells in Animal Species: From Pre-clinic to Biodiversity. Stem Cell Biology and Regenerative Medicine*; ed. by T. Brevini. - Cham: Humana Press, 2014. - Pp. 167-184. - URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-03572-7\\_9#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-03572-7_9#citeas) (дата обращения: 01.12.2020).

103. Morozov, N. Innovative Maintenance and Feeding of Weaning Piglets Based on New Technical Means / N. Morozov, L. Tsoy, A. Rasskazov // *Inmateh - Agricultural Engineering*. - 2020. - Vol. 62, no. 3. - Pp. 49-54. - URL: <https://inmateh.eu/api/uploads/62-05-N62-Morozova42ae020-b2d3-4bd8-a55c-4c87c9a04e59.pdf> (дата обращения: 01.12.2020).

104. Punathil, L. Fundamentals of Microwave Processing of Food Materials: Modeling and Simulation Methods / L. Punathil, T. Basak. - Текст: электронный // *Reference Module in Food Science*. - 2017. - URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965218428?via%3DiHub> (дата обращения: 01.12.2020).

105. Vaidramidis, V. Predictive Microbiology / V. Vaidramidis. - Текст: электронный // Modeling in Food Microbiology: From Predictive Microbiology to Exposure Assessment; ed. by J.-M. Membré, V. Vaidramidis. - ISTE Press - Elsevier, 2016. - Pp. 1-15. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781785481550500010?via%3DiHub> (дата обращения: 01.12.2020).

106. Yarmand, M. Microwave Processing of Meat / M. Yarmand, A. H. Rad. - Текст: электронный // Microwave Heating; ed. by U. Chandra. - IntechOpen, 2011. - URL: <https://www.intechopen.com/books/microwave-heating/microwave-processing-of-meat> (дата обращения: 01.12.2020).



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 763 455**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
*A23K 10/00* (2016.01)  
*A23N 17/00* (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*A23K 10/00 (2021.08); A23N 17/00 (2021.08)*

(21)(22) Заявка: 2021111176, 20.04.2021  
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.04.2021  
Дата регистрации:  
29.12.2021  
Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 20.04.2021  
(45) Опубликовано: 29.12.2021 Бюл. № 1  
Адрес для переписки:  
109428, Москва, 1-й Институтский пр-д, 5,  
Царькова Татьяна Викторовна

(72) Автор(ы):  
Сыроватка Владимир Иванович (RU),  
Жданова Наталья Владимировна (RU),  
Обухов Андрей Дмитриевич (RU)  
(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение «Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ  
ФНАЦ ВИМ) (RU)  
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2635365 C1, 13.11.2017. RU  
2706584 C1, 19.11.2019. RU 2737422 C1,  
30.11.2020. US 20160038420 A1, 11.02.2016.

(54) Способ приготовления смеси лечебных комбикормов и премиксов в турбулентном потоке

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскохозяйственному производству, а именно к способу приготовления кормолекарственной смеси в турбулентном потоке. Способ характеризуется тем, что получают первичный премикс, который высыпают в измельчитель-смеситель для приготовления вторичных премиксов и добавляют наполнитель. С помощью вращающейся двухсторонней лопасти смешиваемую массу захватывают, прижимают к рабочей нарезной поверхности диска, измельчают, диффузионно смешивают и равномерно выбрасывают по всему периметру внутренней сферической поверхности шарового корпуса измельчителя-смесителя для приготовления вторичных премиксов, поднимая массу вверх, где под действием давления сверху и вакуума снизу поток попадает в верхнюю часть сферического экрана измельчителя-смесителя, выполненную в форме насадки сопла Лавала, высота которой равна 1/3 радиуса шарового корпуса, а образующая поверхность насадки наклонена к вертикальной оси шарового корпуса на угол 10°, и продавливается через конфузор с

диаметром на срезе насадки, равным 1/6 радиуса шарового корпуса, создавая в объеме сферического экрана турбулентное движение частиц и конвективное смешивание компонентов. Затем поток проходит через диффузор диаметром, равным 1/3 радиуса шарового корпуса, расположенный в нижней части сферического экрана, и направляется в зазор 0,6-1,2 мм, расположенный между лезвием лопасти и насечкой на рабочей поверхности подового диска для диффузного измельчения смешиваемых компонентов. Процесс смешивания в измельчителе-смесителе для получения вторичных премиксов осуществляют в течение 90-100 с. Полученный вторичный премикс высыпают в большой шаровой смеситель, добавляют наполнитель и с помощью вращающейся двухсторонней лопасти смешиваемую массу прижимают к насечке на диске, измельчают, смешивают методом диффузии и равномерно выбрасывают по всему периметру внутренней сферической поверхности большого шарового смесителя, поднимая массу вверх, где под действием давления сверху и вакуума снизу поток

Стр: 1

RU 2 763 455 C1

RU 2 763 455 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 757 721**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
A23N 17/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
A23N 17/00 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021109901, 09.04.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.04.2021

Дата регистрации:  
21.10.2021

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 09.04.2021

(45) Опубликовано: 21.10.2021 Бюл. № 30

Адрес для переписки:  
109428, Москва, 1-й Институтский пр-д, 5,  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Царькова Татьяна  
Викторовна

(72) Автор(ы):  
Сыроватка Владимир Иванович (RU),  
Дидмандзе Отари Назирович (RU),  
Дорохов Алексей Семенович (RU),  
Жданова Наталья Владимировна (RU),  
Обухов Андрей Дмитриевич (RU),  
Парлюк Екатерина Петровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение «Федеральный научный  
агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ  
ФНАЦ ВИМ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2545951 C2, 10.04.2015. RU  
2737422 C1, 20.11.2020. RU 2642122 C1,  
24.01.2018. WO 2015065184 A1, 07.05.2015.

(54) Мобильная установка для приготовления смеси лечебных комбикормов и премиксов в турбулентном потоке

(57) Реферат:  
Изобретение относится к сельскохозяйственному производству, а именно к устройствам для приготовления смеси лечебных комбикормов, витаминных, минеральных премиксов. Мобильная установка содержит измельчитель с приемным бункером, смеситель, шаровую мельницу, устройство для загрузки исходных компонентов и выгрузки готового продукта, элементы электропитания и электрооборудования, линию для приготовления однородной смеси лечебных кормов, лечебных, витаминных и минеральных премиксов. Линия

включает лабораторную мельницу для приготовления первичных премиксов, измельчитель-смеситель со сферическим экраном смешивания для приготовления вторичных премиксов и большой шаровой смеситель для приготовления смеси лечебных кормов и премиксов, аналогичный измельчителю-смесителю. Использование изобретения позволит обеспечить своевременную подготовку качественных лечебных кормов и премиксов для животноводства и птицеводства. 5 ил.

RU 2 7 5 7 7 2 1 C 1

RU 2 7 5 7 7 2 1 C 1