

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

На правах рукописи

**Мазько Наталья Николаевна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРУЗКИ  
КОМПОНЕНТАМИ КОМБИКОРМА ЕМКОСТЕЙ  
РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

Диссертация на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
к. т. н., доцент Варламов А.В.

Самара 2015 г.

## Реферат

Объем диссертации составляет 142 страниц машинописного текста, таблиц 11, иллюстраций 46, список использованных источников из 153 наименований.

Ключевые слова: загрузка, зерновые материалы, комбикорма, компоненты комбикормов, продукты помола, сыпучие материалы, загрузочно-распределительное устройство, бункер, силос, мобильные емкости, хранилища.

Исследовался процесс загрузки емкостей компонентами комбикорма с целью увеличения полезного объема и статической нагрузки для дальнейшего хранения и транспортировки. На основе анализа механизации погрузочных работ на объектах агропромышленного комплекса (АПК), связанных с производством, распределением и применением комбикормов, была выявлена наиболее перспективная схема загрузки по принципу интенсивного рассредоточенного потока, намечены пути совершенствования загрузки компонентов комбикормов, предложена новая конструктивно-технологическая схема загрузочно-распределительного устройства с приводом, использующим гравитационный поток сыпучего материала, позволяющая равномерно распределить его на значительную площадь поперечного сечения емкости.

Представлены теоретические исследования процесса загрузки с применением предлагаемого загрузочно-распределительного устройства и обоснованы его геометрические параметры.

Приведены результаты экспериментальных исследований, которые подтверждают теоретические выводы и позволяют сравнить предложенное устройство с существующими аналогами.

Рассчитан экономический эффект от применения загрузочно-распределительного устройства для загрузки мобильных емкостей.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>1. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ЗЕРНОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И КОМБИКОРМАМИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Анализ технологического процесса функционирования         емкостей.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Обзор конструктивных схем загрузочно-распределительных         устройств и их классификация .....</b>	<b>20</b>
<b>1.3. Обзор научных исследований .....</b>	<b>32</b>
1.3.1. Движение частиц сыпучей массы по шероховатым поверхностям.....	33
1.3.2. Движение частиц сыпучей массы по перфорированной поверхности.....	34
1.3.3. Движение частиц сыпучей массы в поле силы тяжести.....	35
1.3.4. Движение частиц по наклонной плоскости с вырезам.....	38
1.3.5. Влияние сегрегации на качество продукта.....	40
<b>1.4. Цель и задачи исследований.....</b>	<b>43</b>
<b>2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ЗАГРУЗОЧНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА .....</b>	<b>45</b>
<b>2.1. Описание конструкции предлагаемого загрузочно-         распределительного устройства с гравитационным         приводом .....</b>	<b>45</b>
<b>2.2. Параметрическая модель функционирования емкостей для         компонентов комбикорма.....</b>	<b>48</b>

<b>2.3. Теоретическое обоснование конструкции и рабочего процесса загрузочно-распределительного устройства .....</b>	<b>54</b>
2.3.1. Обоснование формы лопасти загрузочно-распределительного устройства.....	54
2.3.2. Определение величины угла атаки лопасти .....	57
2.3.3. Определение необходимого числа лопастей.....	65
2.3.4. Определение угла основания лопасти.....	67
2.3.5. Определение длины и угла наклона лопасти.....	70
<b>2.4. Выводы по второй главе.....</b>	<b>73</b>
<b>3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>75</b>
<b>3.1. Программа экспериментальных исследований.....</b>	<b>75</b>
<b>3.2. Общая методика экспериментальных исследований .....</b>	<b>76</b>
<b>3.3. Общее устройство экспериментальной установки загрузочно-распределительного устройства.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4. Устройство и разновидности рабочих органов распределительного устройства, используемых в экспериментах.....</b>	<b>81</b>
3.4.1. Угол наклона лопасти.....	81
3.4.2. Угол атаки лопасти.....	83
3.4.3. Число устанавливаемых лопастей.....	83
3.4.4. Разная шероховатость поверхности лопасти загрузочно-распределительного устройства .....	84
3.4.5. Изменение диаметра выходного отверстия воронки .....	83
3.4.6. Изменение высоты сброса материала на рабочую поверхность лопастей распределительного органа.....	85
<b>3.5. Характеристика материалов, используемых в исследованиях.....</b>	<b>85</b>
<b>3.6. Методика экспериментальных исследований.....</b>	<b>86</b>

<b>3.7.</b>	<b>Оценка достоверности результатов.....</b>	<b>87</b>
<b>3.8.</b>	<b>Результаты экспериментальных исследований.....</b>	<b>88</b>
3.8.1.	Влияние угла наклона лопасти на диаметр разброса материала.....	88
3.8.2.	Влияние угла атаки лопасти на диаметр разброса материала.....	89
3.8.3.	Влияние числа лопастей на диаметр разброса материала.....	91
3.8.4.	Влияние шероховатости поверхности лопасти загрузочно-распределительного устройства на диаметр разброса материала.....	93
3.8.5.	Влияние диаметра выходного отверстия воронки на диаметр разброса материала.....	93
3.8.6.	Влияние высоты сброса материала на рабочую поверхность лопастей распределительного органа на диаметр разброса материала.....	95
<b>3.9</b>	<b>Оценка равномерности распределения сыпучего материала по сечению емкости.....</b>	<b>96</b>
<b>3.10.</b>	<b>Оценка диаметра разброса материала загрузочно-распределительным устройством методом многофакторного эксперимента.....</b>	<b>98</b>
<b>3.11.</b>	<b>Выводы по третьей главе.....</b>	<b>107</b>
<b>4.</b>	<b>ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАГРУЗОЧНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>108</b>
<b>4.1.</b>	<b>Применение загрузочно-распределительного устройства в технологических линиях производства комбикорма и в условиях хозяйств.....</b>	<b>108</b>
<b>4.2.</b>	<b>Производственная проверка и внедрение загрузочно-</b>	

распределительного устройства .....	109
<b>4.3. Расчет экономической эффективности применения загрузочно-распределительного устройства.....</b>	<b>117</b>
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....</b>	<b>124</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>126</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>143</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Разработанная ведущими специалистами ГНУ ВНИИМЖ и принятая Правительством «Стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции животноводства» на период до 2020 года предусматривает решение ряда конкретных задач, направленных на создание принципиально новых инженерно-технических решений нового поколения, направленных на внедрение среднеинтенсивных и интенсивных технологий [129].

В частности, в животноводстве, наиболее перспективной, по мнению многих ученых и практиков, является проблема использования кормосмесей и комбикормов, полученных на специализированных предприятиях и в хозяйственно-производственных условиях. Это связано с процессом заполнения емкостей.

В ближайшие десять лет предусматривается разработка комбикормовых установок производительностью от 0,5 до 8 т/ч по различным технологическим процессам, которые определены в межотраслевую технологию «Производство комбикормов». Для комплексной механизации производства комбикормов в Федеральном регистре техники России предусматривается 54 наименования данной техники из общего списка, включающего 671 позицию. Однако это очень энергоемкое и сложное оборудование.

Согласно плану Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года «должно осуществляться реформирование инфраструктуры, ввод новых ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий, технологических процессов и оборудования для агрохимического, транспортного, технического обслуживания, ремонта машин и оборудования агропромышленных

товаропроизводителей, обеспечивающих должный уровень охраны труда и техники безопасности [114, 128, 138].

На текущем этапе функционирования национальное сельское хозяйство использует, в основном, экстенсивные по вложению и отдаче знаний, капитала и материальных ресурсов агротехнологии с невысокими выходными параметрами, что не позволяет ему быть конкурентоспособным на рынке продовольствия.

На современных комбикормовых предприятиях и в кормоцехах все основные технологические линии приготовления комбикормов должны быть полностью механизированы.

Однако технологический процесс таких предприятий не является еще единым замкнутым комплексом с законченной системой машин и оборудования, в нем имеется ряд разрывов, разобщающих отдельные линии слабо механизированными звеньями, для соединения которых затрачивается достаточно много ручного физического труда [19].

Особое внимание уделяется бестарному способу поставки как наиболее продуктивному и менее энергозатратному. Бестарный способ является в настоящее время одним из оптимальных способов транспортирования и хранения зернового сырья и продуктов помола [20, 24, 100, 146]. При этом используются различного рода накопительные емкости (силосы, стационарные и передвижные бункеры, контейнеры [13, 18]). Подобные хранилища широко распространены в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и комбикормовой промышленности, с их помощью обеспечивается стабильная работа всего технологического комплекса. Применение бестарного отпуса, транспортирования, приема и хранения сыпучих продуктов значительно повышает степень механизации и автоматизации производства, производительность труда, коэффициент использования складских и мобильных емкостей, исключает или минимизирует применение ручного труда. Бестарный способ позволяет существенно снизить потери продукта и расход тароупаковочных

материалов, улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку на рабочем месте [20, 97, 98, 99].

При распространенном способе заполнения бункеров, силосов компактной струей частицы комбикорма, имеющие различный размер или природу, самосортируются, происходит сегрегация. Такое расслоение особенно недопустимо для кормовых смесей, так как может стать причиной отравления и гибели животных. В то же время, компактный поток, падая с высоты, сильно уплотняет насыпь в емкости, что приводит к слеживаемости и ухудшению качества комбикорма. Это, в свою очередь, влияет на усвояемость кормов, и может привести к ухудшению здоровья животных и, следовательно, уменьшению привесов. Кроме того, загрузка емкостей компактным потоком снижает коэффициент использования их полезного объема. Перечисленные негативные явления в полости хранилищ могут быть сведены к минимуму правильно выбранным способом загрузки, которая является начальным звеном в процессе функционирования емкости и оказывает значительное влияние на весь технологический процесс и на качество конечного продукта. Конструктивно-технологическое совершенствование процесса загрузки компонентами комбикорма емкостей различного назначения, с позиции сохранения качества комбикорма, является актуальной задачей [79, 80].

**Степень разработанности темы.** Исследованиям загрузки емкостей сыпучими материалами посвящены труды В.А. Богомягих, И.В. Горюшинского, А.Ф. Яшина и др. Загрузка является начальным звеном в процессе функционирования емкости и оказывает значительное влияние на весь технологический процесс и на качество конечного продукта. Вопросу изучения процесса загрузки, как основополагающему этапу функционирования емкости, уделено очень мало внимания.

**Цель исследования.** Повышение эффективности процесса загрузки емкостей различного назначения компонентами комбикорма посредством использования энергосберегающего загрузочно-распределительного

устройства, позволяющего повысить степень равномерности распределения комбикорма в емкости, уменьшить слеживаемость, сегрегацию.

**Объект исследования.** Процесс загрузки емкостей компонентами комбикорма для хранения и транспортировки, равномерного распределения комбикорма по объему емкости посредством загрузочно-распределительного устройства.

**Предмет исследования.** Закономерности, характеризующие процессы загрузки комбикормов и их компонентов при использовании бесприводного загрузочно-распределительного устройства.

**Научная новизна выполненных исследований заключается в следующем:**

- предложен ресурсосберегающий способ загрузки емкостей различного назначения компонентами комбикорма, позволяющий повысить степень равномерности его распределения в емкости, сохранить его качество, исключить сегрегацию;

- разработана параметрическая модель процесса эксплуатации емкости для компонентов комбикорма, позволяющая выявить все параметры, влияющие на данный процесс, и оценить значимость этих параметров на каждом этапе процесса;

- разработана теоретическая модель расчета оптимальных параметров предлагаемого загрузочно-распределительного устройства;

- получены теоретические зависимости, подтверждающие эффективность применения загрузочно-распределительного устройства и описывающие влияние конструктивных параметров устройства на диаметр разброса комбикорма по объему емкости.

**Практическую ценность представляют:**

- конструкция загрузочно-распределительного устройства;
- методика расчета конструктивно-технологических параметров разработанного загрузочно-распределительного устройства;

- результаты проверки загрузочно-распределительного устройства в лабораторных и производственных условиях.

**Вклад автора в проведенное исследование** – предложен ресурсберегающий способ загрузки емкостей компонентами комбикорма; разработана параметрическая модель процесса эксплуатации емкости для компонентов комбикорма; предложена методика расчета конструктивно-технологических параметров загрузочно-распределительного устройства; проведена экспериментальная обработка результатов исследования и произведена их апробация.

**Внедрение.** Результаты исследований процесса равномерной загрузки компонентов комбикорма используются в учебном процессе СамГУПС в учебных курсах «Транспортно-грузовые системы», «Грузоведение».

**Апробация.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований доложены, обсуждены и одобрены: на международной научно-практической конференции «Ресурсосбережение и инновации: проблемы и методы решения» в ПГУ, г. Пенза, 2006 г.; на международной научно-технической конференции «Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России» в УрГУПС, г. Екатеринбург, 2006 г.; на V Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса» СамГУПС, г. Самара, 2009 г.; на VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития транспортного комплекса» СамГУПС, г. Самара, 2010 г.; на расширенных заседаниях кафедр СамГАПС, СамГУПС, г. Самара, 2009-2014 гг.

**Положения выносимые на защиту:**

- классификация существующих конструкций загрузочных устройств для компонентов комбикорма и зерновых материалов;
- параметрическая модель эксплуатации емкостей для комбикорма и его компонентов;

- теоретическое обоснование конструкции загрузочно-распределительного устройства и его элементов;
- результаты экспериментальных исследований загрузочно-распределительного устройства в лабораторных и производственных условиях;
- результаты экономического обоснования применения загрузочно-распределительного устройства.

**Обоснование и достоверность.** Достоверность научных положений и результатов работы обеспечена использованием для анализа экспериментальных данных стандартных пакетов прикладных программ и подтверждена совпадением расчетных и экспериментальных данных.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 18 работ, из них 7 - печатные работы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, получен патент на полезную модель. Объем публикаций составляет 2,33 п.л.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложения. Содержание работы изложено на 142 страницах машинописного текста, включает 46 иллюстраций, 11 таблиц, список использованных источников из 153 наименований.

# **1. СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ЗЕРНОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И КОМБИКОРМАМИ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ.**

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **1.1. Анализ технологического процесса функционирования емкостей**

В работах [47, 48, 61, 91, 108 и др.] неоднократно указывалось место бункерно-силосных емкостей и кузовов транспортных средств в производственных и транспортно-технологических системах переработки сыпучих материалов (зерновых, продуктов помола, комбикормов и их компонентов) в АПК. Как уже отмечалось, технологические емкости делятся на мобильные (кузова транспортных средств) и стационарные (приемные, отпускные и промежуточные бункеры, силосы). С изменением геометрических параметров емкости и их соотношения меняется технологический процесс ее функционирования. От конструктивных особенностей емкости зависит выбор для нее вспомогательных устройств [45, 46, 91, 109, 142].

*Приемные бункеры* конструктивно исполнены так, чтобы в течение незначительного времени иметь возможность принять поступающий материал с транспортного средства. Их геометрические размеры не должны быть менее параметров кузова транспортного средства. На пунктах приемки зерновых материалов с кузовов транспортных средств, приемные бункеры сформированы в разгрузочные фронты и увязываются параметрами с транспортирующими механизмами.

В свою очередь *кузовы транспортных средств* имеют размеры, продиктованные требованиями проектных организаций железнодорожной отрасли, и имеют высоту до 2,5 м.

*Отпускные бункеры* используются для накопления и кратковременного хранения перед отгрузкой готовой продукции в тару или транспортные средства и имеют параметры, продиктованные размерами загружаемых емкостей.

*Бункеры и бункерные устройства* технологического назначения имеют малую глубину по сравнению с размерами в плане. Глубина бункера обычно не превышает в 1,5...2 раза его максимальный размер в плане. Они служат для кратковременного накопления сыпучей массы с целью стабилизации и унификации транспортирующих механизмов.

*Силосы* имеют отношение высоты стенки корпуса к наименьшему размеру поперечного сечения равным двум и более. Высота их ограничивается несущей способностью грунта.

Перечисленные формулировки были заимствованы и скорректированы из трудов следующих ученых и специалистов [10, 13, 14, 25, 26, 48, 59, 64, 77, 92, 93, 111, 117, 140, 145, 147].

Все приведенные выше емкости имеют возможность:

- сочетаться с различным технологическим оборудованием непрерывного и циклического действия;
- складирования в широком диапазоне объемов с высокой степенью сохранности сыпучей массы;
- регулирования пропускной способности;
- снижения энергетических затрат и эксплуатационных расходов.

Однако за возможностями этих емкостей отмечается наличие некоторых недостатков, возникающих при их эксплуатации (как при хранении, так и при транспортировке сыпучих материалов) [16, 21, 23, 31, 32, 43, 48, 68, 77, 91, 110, 111, 124].

Основные трудности в эксплуатации емкостей возникают, как правило, при осуществлении выпуска сыпучей массы [15, 22, 27, 33, 34, 48, 63, 64, 68, 73, 75, 104, 105, 108]. При возникновении определенных условий, вызванных влиянием совокупности факторов, воздействующих на этот процесс,

истечение сыпучей массы становится нестабильным и может вообще прекратиться. Подобные явления могут быть обусловлены следующими причинами [48, 91, 116]:

- образование статических и динамических сводов над выпускным отверстием;
- налипание хранимого материала на стенки емкости в связи с изменением условия хранения и, как следствие, образование застойных зон по высоте хранилища;
- уплотняющее давление при загрузке высотных емкостей, вызывающее скачкообразное увеличение давления в нижней части емкости в начальный момент выпуска.
- потеря исходного качества хранимого материала вследствие произошедшего во время загрузки, транспортировании или хранения - расслоения (сегрегации), слеживаемости, комкования и других подобных изменений в структуре материала.

Возникновение таких нежелательных явлений приводит к дестабилизации технологического процесса в производстве, увеличению времени простоя мобильных емкостей под грузовыми операциями и уменьшению их полезного объема. Восстановление функциональных возможностей транспортно-технологических систем (например, разрушение сводов в полости емкости или разравнивание насыпей для более полного заполнения мобильной емкости) требует применения ручного труда (как следствие, увеличивается время простоя под грузовыми операциями) и высоких энергетических затрат.

На стабильность функционирования емкостей оказывают влияние определенные внутренние и внешние факторы [46]. К внутренним факторам относятся физико-механические и химико-биологические свойства хранимого материала, а к внешним – условия окружающей среды, конструктивно-технологические параметры используемых емкостей и

вспомогательных устройств. Далее рассмотрим основные факторы, влияющие на процесс функционирования емкостей для сыпучих материалов.

Некоторые из этих факторов имеют особое значение. Вопросами поведения сыпучих материалов в процессе загрузки и распределения материала по поверхности насыпи и дальнейшего функционирования емкостей в последнее время занимались И.В. Горюшинский и Н.Н. Мосина [48, 91]. Ими было установлено, что главным фактором, играющим роль в процессе функционирования емкостей, является сыпучесть хранимого материала, от которой в целом зависит весь процесс хранения.

**Форма и размер частиц.** Сыпучесть материала ухудшается из-за присутствия в нем частиц разнообразных форм: нитеобразных, игольчатых, хлопьевидных, пластинчатых. Такая разнородность серьезно сказывается на механической сыпучести хранимого материала. Если разнообразность форм сочетается с разнородностью размеров частиц сыпучей массы – сыпучесть значительно снижается.

**Влажность.** Немаловажное значение играет влажность хранимого материала. Наиболее трудносыпучими являются материалы, содержащие до 70...90 % воды от их максимальной влагоёмкости [96]. Содержание жира в составе отдельных материалов (в основном животного происхождения – мясокостная и рыбная мука и т.п.) от 10...18% и более, также может отрицательно сказываться на их сыпучести.

**Адгезия, когезия, аутогезия.** При технологических операциях с зерновыми, комбикормами и продуктами помола большое значение имеет их взаимодействие с различными поверхностями и между частицами хранимого материала [63, 91, 136, 139].

*Адгезия* относится к поверхностным явлениям и характеризует связь между поверхностью несущих конструкций и частицами хранимого материала. Возможность образования прилипшего слоя определяется величиной сил адгезии. Для разрушения возникших связей необходимо внешнее воздействие [91].

*Когезия* характеризует связь между молекулами (атомами, ионами) сыпучего материала и приводит к его комкованию.

*Аутогезия* является связью однородных по форме или природе частиц сыпучего материала и ее можно считать основным фактором проявления слеживаемости. Аутогезия частиц связных материалов препятствует их свободному перемещению, не являясь при этом постоянной величиной, и изменяется со временем нахождения сыпучей массы без движения. Изучению выше представленных явлений посвящены работы следующих ученых и специалистов [63, 64, 65, 66, 67, 91, 116].

**Загрузка.** Рассматривая особенности функционирования емкостей при выгрузке и хранении, нельзя оставлять без внимания и процесс загрузки. Загрузка сыпучих материалов в емкость оказывает прямое воздействие на процесс хранения и выгрузку. Падая с большой высоты при загрузке, сыпучая масса укладывается с максимальной плотностью в нижней части емкости. Плотность укладки уменьшается по мере заполнения. Ударные и статические нагрузки неодинаково влияют на уплотнение трудносыпучих компонентов комбикорма. Так, при насыпной плотности отрубей пшеничных –  $368 \text{ кг/м}^3$ , шрота соевого –  $711 \text{ кг/м}^3$ , мела кормового –  $937 \text{ кг/м}^3$  воздействие статической нагрузки приводит к максимальной плотности груза  $578 \text{ кг/м}^3$ ,  $735 \text{ кг/м}^3$  и  $1180 \text{ кг/м}^3$  соответственно [91, 97, 98, 99, 100].

**Сегрегация.** При заполнении емкостей (особенно высотных) неоднородными по размеру частиц или многокомпонентными продуктами наблюдается расслоение сыпучей массы по плотности и гранулометрическому составу [23, 99, 100, 149].

Сегрегация наблюдается, в основном, в процессе гравитационной загрузки на участке свободного падения, определяемого расстоянием от загрузочного отверстия до поверхности насыпи (рис. 1.1.).

На участке свободного падения частицы сыпучего материала разделяются на фракции, которые в процессе загрузки емкости занимают определенное местоположение в ее полости. Это является следствием разной

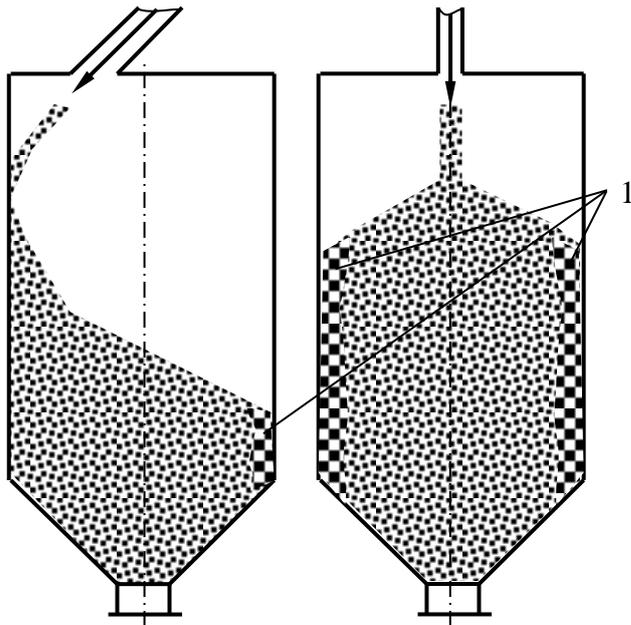


Рис.1.1. Результаты процесса сегрегации:  
1- зона концентрации неоднородных по  
массе и плотности частиц

скорости витания крупных и мелких частиц или частиц различной природы (свойственно для многокомпонентных смесей). Степень расслоения зависит на этом этапе от высоты свободного падения частиц сыпучего материала. Расслоение последнего по фракциям существенно затрудняет его выгрузку и, кроме того, может значительно ухудшать качество готового продукта (комбикорма).

Так, известны случаи падежа скота вследствие нарушения технологических процессов приготовления и выдачи комбикормов. Как правило, причиной бедствия является соль. Частицы соли, мелкие, но плотные, развивают большую скорость свободного падения, чем частицы других компонентов. Концентрируясь у выпускного отверстия, они оказываются первыми при выгрузке. Их высокая концентрация приводит корм не только в негодность, но и в смертельный концентрат (для свиней и птиц).

Высота падения сыпучих масс с однородным гранулометрическим составом может варьироваться в широких пределах, так как там наблюдается допустимое самосортирование. В то же время, исследованиями ВНИИКП установлено, что самосортирование полидисперсных смесей (комбикорма, премиксов) не происходит при высоте свободного падения, не превышающей 3...4 м [91, 100].

**Уплотнение.** Характер уплотнения сыпучей массы в емкости зависит от способа загрузки, времени и условий хранения, условий транспортировки, биохимических и физико-механических свойств хранимого материала. При

уплотнении сыпучей массы возрастает сила внутреннего трения и начальное сопротивление сдвигу. Рост начального сопротивления сдвигу вызывает образование устойчивого свода над выпускным отверстием, который препятствует свободному истечению хранимого материала. Из практики комбикормового производства известно, что большая часть трудносыпучих продуктов помола при кратковременном хранении в силосах истекает удовлетворительно. Исследования показали, что самоуплотнение отрубей и трудносыпучих компонентов (мясокостная мука, мучка, рыбная мука и т.п.) достигается в течение первых 10...15 суток, хвойной муки - до 20 суток. В случае превышения указанного срока хранения разгрузка емкостей затрудняется и производится с привлечением ручного труда, что нарушает технику безопасности и не способствует поточности производства комбикорма.

*Слеживание* сыпучей массы является, как правило, следствием уплотнения. Прежде всего, на слеживание оказывает влияние давление вышележащих слоев. К числу причин слеживания можно отнести неравномерную вибрацию, вызванную перевозкой сыпучих материалов различными видами транспорта. Кроме того, на слеживание сыпучей массы, как уже отмечалось, влияет величина сил когезии и аутогезии. Неравномерное уплотнение в процессе загрузки или поэтапное дополнение содержимым также может послужить причиной слеживания.

Для минимизации описанных неблагоприятных явлений на всех этапах функционирования емкостей используются различные дополнительные устройства. Далее рассмотрим разновидности существующих загрузочно-распределительных устройств.

## 1.2. Обзор конструктивных схем загрузочно-распределительных устройств и их классификация

В процессе функционирования хранилищ для сыпучих материалов выделяют три взаимосвязанных этапа: загрузка материала в емкость; хранение, обусловленное технологией производства; выгрузка материала из емкости. На каждом этапе процесса возможно применение специальных устройств и приспособлений, которые могут улучшить функциональные возможности емкостей.

В работах [47, 48, 91] представлены классификации загрузочных устройств. Существующие классификации предусматривали рассмотрение загрузки обобщенно, на всех стадиях: с транспортеров, норий, отпускных труб и т.д. [74, 87, 119, 126, 127, 130]. Предлагается сузить диапазон охвата классификации и рассмотреть только поступление материала непосредственно в емкость. На рис. 1.2. представлена классификация функциональной пригодности загрузочно-распределительных устройств.

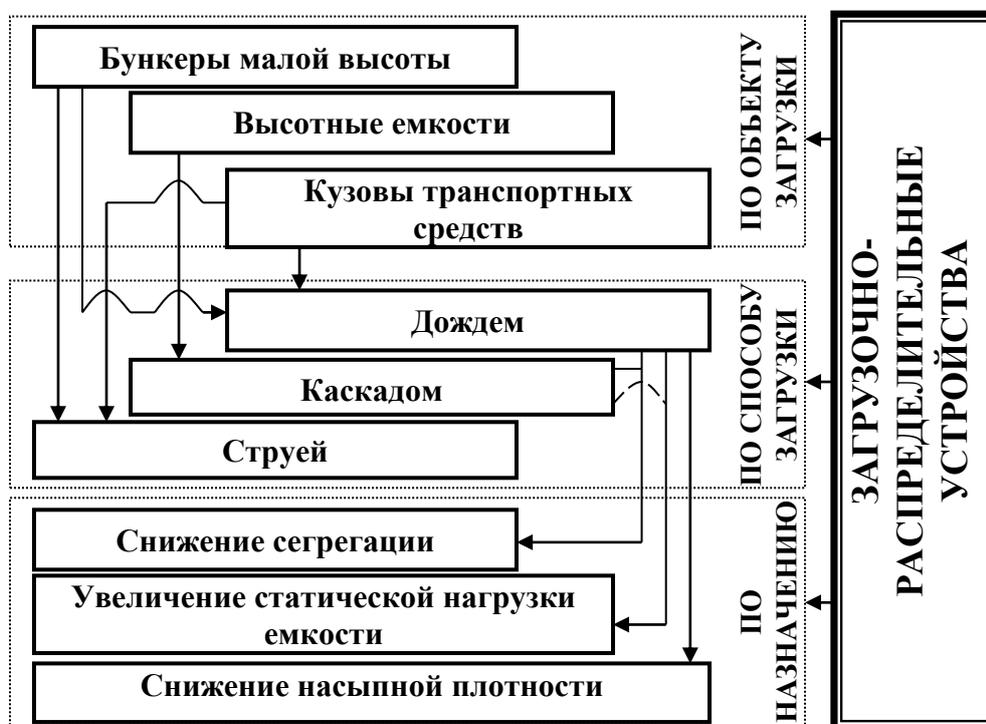


Рис. 1.2. Классификация функциональной пригодности загрузочно-распределительных устройств:

----- возможные связи;  
 ————— существующие связи

В представленной классификации загрузочно-распределительные устройства для зерновых материалов компонентов комбикорма предлагается классифицировать по объекту загрузки, назначению и способу загрузки [81].

Рассмотрим различные способы заполнения емкостей и функциональную пригодность применяемых в них загрузочно-распределительных устройств.

**Загрузка компактной струей.** Наиболее простой, но и наименее предпочтительной является загрузка компактной струей или самотеком. При таком способе загрузки отмечается значительное уплотнение в нижних слоях сыпучей массы. Сегрегация загружаемого материала наблюдается как на этапе свободного падения частиц материала, так и на поверхности образующейся насыпи вследствие скатывания более крупных и тяжелых частиц к стенкам емкости. Кроме того, образование насыпи снижает вместимость емкости [23]. Однако в определенных условиях загрузка струей является наиболее оптимальной. Известны конструкции емкостей, которые предназначены для хранения гранулированных или однородных по массе частиц (рис. 1.3.). Такие конструкции целесообразно применять для емкостей, размещаемых под открытым небом, т.к. атмосферные осадки не смогут задерживаться на крыше, а хранимый материал будет размещаться

внутри под углом естественного откоса.

В высотных силосах, располагаемых в закрытых помещениях, такая конструкция не целесообразна. В [91, 100] отмечается, что если силос заполняется путем подачи материала компактной струей

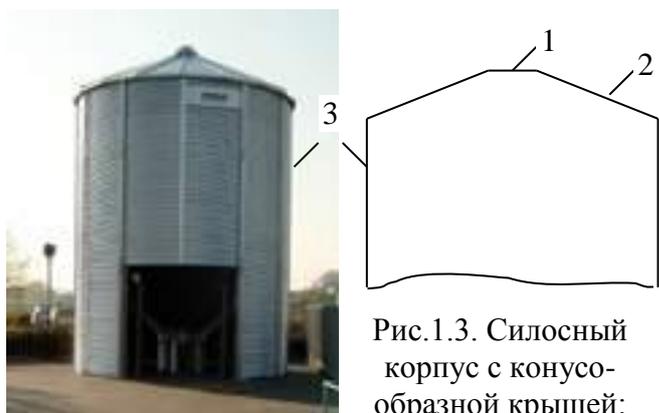


Рис.1.3. Силосный корпус с конусообразной крышей:

1- загрузочное отверстие; 2- наклонная крыша; 3- стенка емкости

(самотеком), то происходит интенсивное оседание частиц хранимого материала, и в нижних слоях отмечается значительное сжатие сыпучей массы

и увеличение объемной плотности. При открытии выпускной задвижки и выгрузки небольшого количества материала происходит внезапное расширение и перераспределение давления сжатия. Верхняя масса продукта начинает двигаться, и днище силоса испытывает интенсивную нагрузку.

Если силос заполняется по методу разбрасывания (дождем), то материал оказывается распределенным по поперечному сечению силоса с более равномерной плотностью. В результате, в начале процесса выпуска давление на днище будет частично уменьшаться. В этом случае днище силоса не испытывает внезапного дополнительного давления, и в дальнейшем истечение будет более равномерным.

В работах [21, 91, 100, 148] отмечается, что при загрузке самотеком может происходить сегрегация материала (см. рис. 1.1). Для улучшения качества загрузки используются специальные загрузочные устройства, которые требуют определенных затрат на их изготовление и эксплуатацию, но в целом улучшают функциональные параметры емкостей.

Отметим три наиболее распространенных способа заполнения хранилищ различного назначения и кузовов транспортных средств сыпучими материалами: загрузка струей, дождем и каскадная загрузка. У каждого из этих способов есть свое назначение, достоинства и недостатки.

Для борьбы с этими недостатками в практике нашли применение следующие устройства [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

В качестве устройства для загрузки кузовов транспортных средств компактной струей, обеспечивающего увеличение зоны действия и снижения потерь продукта при загрузке, используется загрузочный рукав (рис. 1.4. а). Он состоит из шарнирно соединенных верхней и нижней труб. Внутри верхней трубы находится винтовой транспортер [11].

Известно устройство для загрузки складов и различных транспортных и технологических емкостей (рис. 1.4. б). Оно содержит загрузочный патрубок, в нижней части которого закреплены две отводящие трубы с

гофрированными стенками. Благодаря этому транспортирование потока сыпучего материала может происходить в двух направлениях [9].

Для загрузки водных транспортных средств используется устройство (рис. 1.4. в), с помощью которого можно распределять поток сыпучего материала по значительному диаметру. Устройство состоит из пластиковых цилиндрических труб, соединенных между собой хомутами с пропущенным через них тросом [10].

Гравитационный спуск, представленный на рис. 1.4. г, содержит складывающийся гофрированный желоб, снабженный закрывающейся заслонкой и приводом. Сыпучая масса, попадая в желоб, по мере нагружения растягивает его. При достижении дна емкости от контакта открывается заслонка, и подъемом желоба обеспечивается освобождение от содержимого. Вследствие малой высоты падения исключается разрушение гранулированных частиц и, соответственно, исключается сегрегация многокомпонентной массы [7].

При загрузке мобильной емкости оператору приходится спускаться в полость кузова, для того, чтобы разровнять образовавшуюся горку загруженной сыпучей массы. Эта операция сопряжена с некоторыми сложностями. Во-первых, процесс загрузки мобильной емкости необходимо приостанавливать, и после разравнивания вновь продолжать. Даже в этом случае оператор заполняет кузов не полностью. Во-вторых, работа внутри кузова – это нарушение техники безопасности.

Избежать вышеперечисленных недостатков можно с помощью рассекателей потока. Однако расслоение имеет место и при использовании рассекателей потока, если общий поток загружаемого материала разделяется на достаточно крупные отдельные потоки [23, 91].

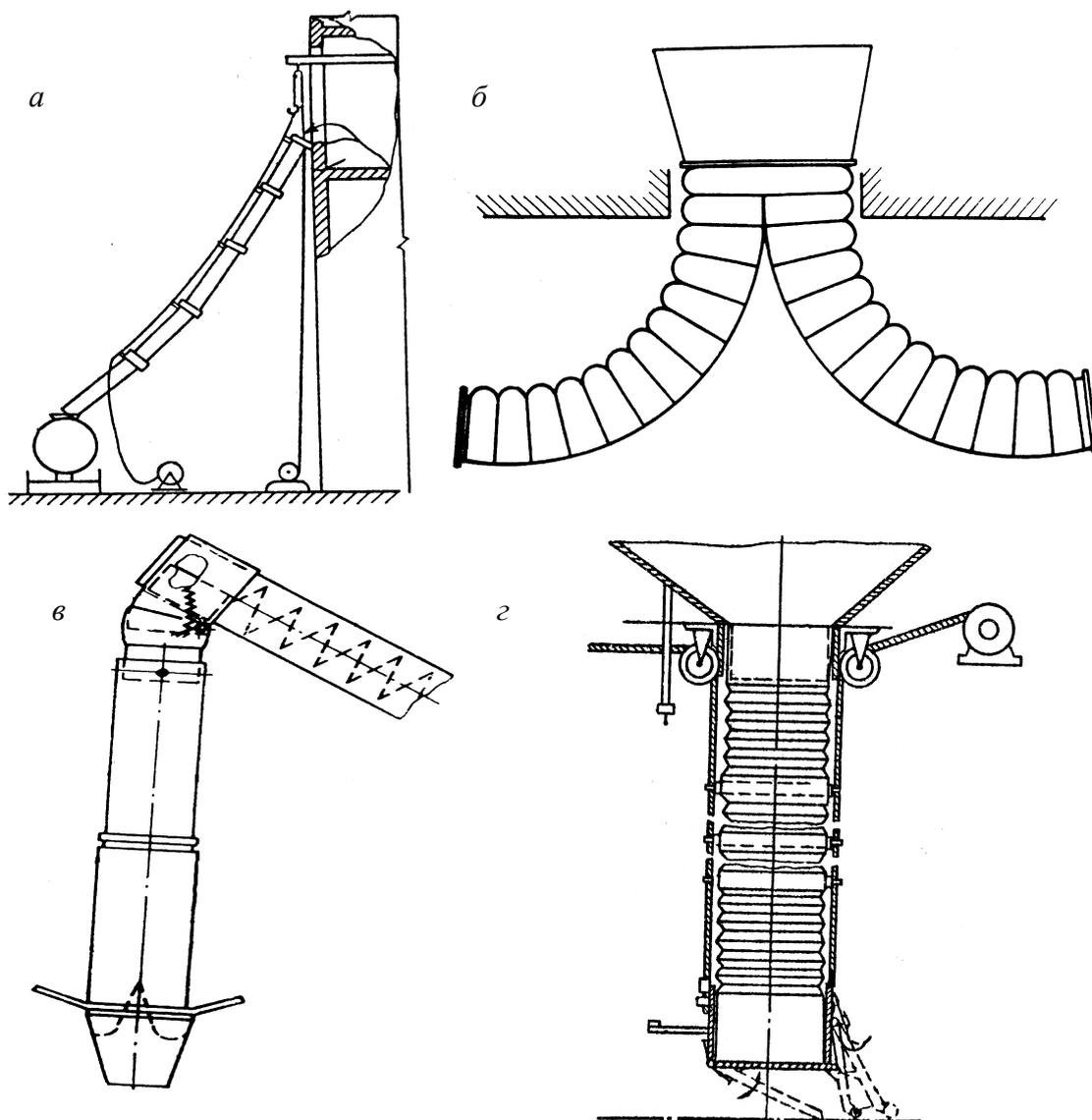


Рис. 1.4. Загрузочные устройства, формирующие компактную струю

**Загрузка методом дождя.** Одним из наиболее эффективных способов заполнения емкостей считается такой, при котором сыпучая масса как можно более равномерно распределяется по поперечному сечению емкости в процессе загрузки от начала до конца. Такой способ снижает сегрегацию, увеличивает вместимость емкости, уменьшает уплотнение сыпучей массы и, таким образом, способствует более длительному его хранению и стабилизации выпуска из емкости. Он достаточно универсален, но особенно подходит для емкостей малой высоты: технологических бункеров и кузовов транспортных средств.

Загрузка емкостей и кузовов транспортных средств с малой высоты (до 5 м [137]) дождевым способом наиболее приемлема, так как в этом случае сегрегация не успевает появиться; увеличивается полезный объем за счет перемещения частиц сыпучей массы в труднодоступные места; наблюдается равномерное распределение частиц материала по всей поверхности заполняемой емкости.

В свою очередь, загрузочные устройства для распределения сыпучего материала методом дождя делятся на бесприводные и с приводом.

Бесприводные загрузочно-распределительные устройства, как правило, являются неотъемлемой частью конструкции емкости или загрузочного патрубка. Устройство, представленное на рис. 1.5 *a*, является окончанием загрузочного рукава и работает следующим образом.

Загрузочный рукав 1 и затвор-рассекатель 3 опускаются тросом 6. После соприкосновения опорной центрирующей шайбы 2 с краями загрузочного люка опускание загрузочного рукава 1 прекращается. Затвор-рассекатель 3 проходит через люк емкости под действием силы тяжести и открывает выпускное отверстие загрузочного рукава 1. Направляющий рычаг 4 упирается в ограничитель 5 и устанавливает затвор-рассекатель 3 в положении, симметричном положению загрузочного рукава 1. Между стенками загрузочного рукава 1 и затвором-рассекателем 3 по всему периметру образуется равномерный зазор.

В процессе загрузки сыпучий материал подается в загрузочный рукав 1, где частицы, падая, набирают скорость и ударяются о боковую поверхность затвора-рассекателя 3. Далее частицы скользят вдоль поверхности затвора-рассекателя, непрерывно изменяя направление движения так, что в наиболее удаленной от оси симметрии точке они приобретают скорость, направленную под расчетным углом к горизонту, и отбрасываются к стенкам емкости, двигаясь вблизи крыши. Это обеспечивает заполнение углов между крышей и стенками емкости на конечном этапе загрузки [47, 61].

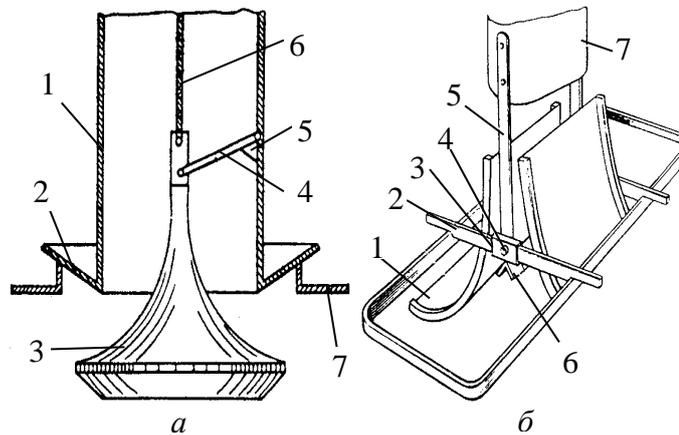


Рис. 1.5. Схемы загрузочно-распределительных устройств – продолжения загрузочного патрубка: а- цилиндрической формы; б- прямоугольной формы

Приведенная конструкция обеспечивает максимальное использование вместимости загружаемой емкости и равномерно распределяет сыпучую массу по поперечному сечению. Не менее эффективной конструкцией является устройство, приведенное на рис. 1.5 б.

Устройство состоит из направляющих элементов 1, опорных перекладин 2, оборудованных ограничителями поворота 3, шарниров 4 и подъемных штанг 5 с упорами 6. Посредством штанг устройство крепят к загрузочному рукаву 7. Шарнирное соединение перекладин 2 обеспечивает ввод разбрасывателя через горловину загрузочного люка мобильной емкости.

Для введения разбрасывателя в люк емкости загрузочный рукав опускают вместе с устройством. Опорные перекладки 2 опираются на края люка, распрямляются и разводят внутри мобильной емкости нижние части направляющих элементов 1. К моменту полного выпрямления опорные перекладки упираются в ограничители поворота 3, опускание рукава 7 прекращается, и разбрасыватель принимает рабочее положение.

Снижение степени сегрегации сыпучего материала достигается за счет разделения потока на три части, из которых две крайние движутся по симметрично расположенным направляющим элементам и отбрасываются к

боковым стенкам кузова, а третья часть попадает в промежуток между двумя профилированными поверхностями и заполняет середину кузова.

Следующие приведенные конструкции являются неотъемлемой частью емкости и также используются для уменьшения сегрегации сыпучей массы в процессе заполнения емкости и для увеличения равномерности заполнения.

Приведенная на рис. 1.6 а конструкция имеет конус с отверстиями и обечайку с пазами, концентрично расположенную с зазором вокруг основания конуса. При движении по конусу частицы сыпучей массы равномерно распределяются по его поверхности, и часть их через отверстия на поверхности конуса ссыпается в емкость, а часть, достигнув основания конуса, распределяется по периферии емкости. Обечайка препятствует разлету крупных частиц к краям емкости. В результате такой подачи сыпучего материала исключается конусообразная форма насыпи, которая имеет место при сосредоточенной загрузке через патрубок или загрузке струей.

Гравитационное загрузочное устройство, представленное на рис. 1.6 б, является узловым в соединении загрузочного патрубка и емкости, состоит из загрузочного патрубка и закрепленного на нем при помощи хомута со стойками рассекающего конуса. Конус имеет продольные вертикальные вырезы. При подаче сыпучего материала его частицы, контактирующие с поверхностью конуса, изменяют направление движения и распределяются по большему радиусу. Вырезы обеспечивают частичное выпадение сыпучего материала в центральной зоне.

Отличным от вышеперечисленных конструкций является устройство, приведенное на рис. 1.6 в, которое размещается в полости емкости. Отличие состоит в том, что перевернутый вершиной вниз конус является накопителем с выпускным отверстием в его нижней части. Сыпучий материал в процессе заполнения конуса частично вытекает из отверстия, а часть пересыпается через края конуса, сливаясь с частицами поступающего потока.

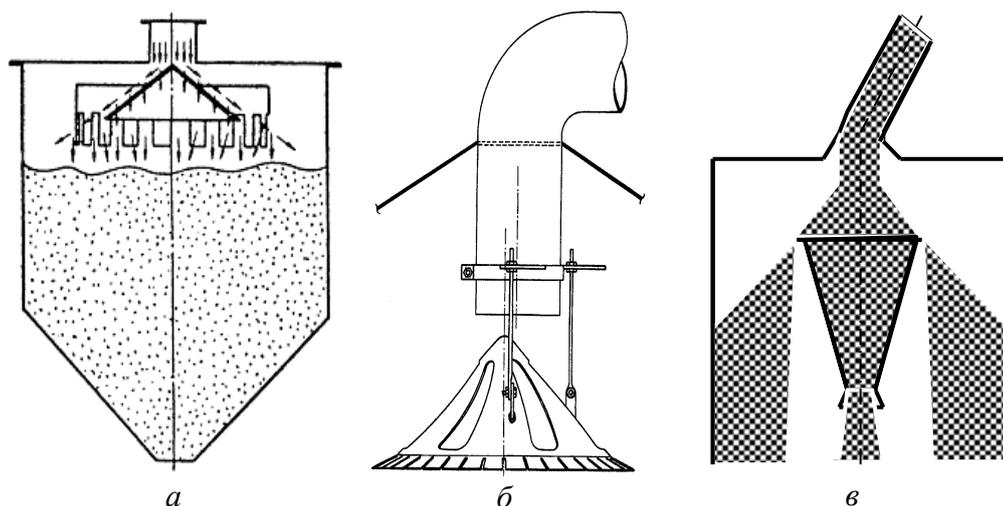


Рис. 1.6. Конусные распределители внутри емкостей

Приведенные выше устройства применимы для сыпучих материалов разной степени связности. Условием для их истечения будет являться размер выпускного отверстия в нижней части перевернутого конуса. Оно должно превышать размер возникающего динамического свода [47, 61].

Загрузочные устройства с применением привода также получили широкое распространение (центробежные, дисковые, роторные разбрасыватели и др.) [50, 61, 101, 102].

Для загрузки стационарных и передвижных емкостей используется устройство, содержащее вращающиеся на вертикальном валу диски с кольцевыми перфорированными ограничителями (рис. 1.7 а). При вращении сыпучая масса разгоняется центробежной силой в горизонтальном положении и выплескивается через отверстия в ограждении. Варьирование размерами дисков обеспечивает различную степень разброса сыпучего материала в полости емкости. Увеличение полезного объема зоны падения достигается изменением скорости вращения диска.

Немецкими инженерами предложена конструкция центробежного разбрасывателя, представленная на рис. 1.7 б. На вертикальном валу горизонтально закреплены диски с вертикально установленными лопастями. Подача сыпучего материала в емкость осуществляется одновременно с вращением устройства. Сыпучая масса, попадая на поверхность дисков, отбрасывается лопатками на расстояние, соответствующее диаметру кольца.

Тем самым достигается его равномерное распределение по всему сечению емкости [47, 61].

Приведенные конструкции способны работать только с хорошосыпучими материалами, так как вязные могут забивать отверстия и не пропускать поступающий поток материала.

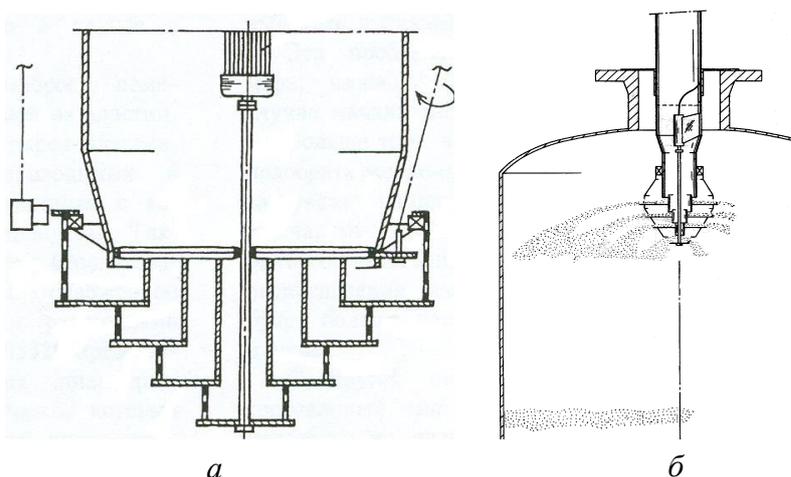


Рис. 1.7. Схемы загрузочно-распределительных устройств с наличием привода

Известна конструкция загрузочно-распределительного устройства с комбинированным приводом (рис. 1.8). Устройство работает следующим образом. Сначала происходит гравитационная загрузка до вершины насыпи из загружаемого материала к приводному конусу с вертикальными перегородками, затем включается привод конуса. Продолжающий поступать в бункер материал увлекается перегородками во вращательное движение и под действием центробежных сил отбрасывается к периферии, заполняя пустоты.

Все приведенные выше устройства оборудованы электроприводом, поэтому использование подобных конструкций требует оценки целесообразности их применения [103, 121].

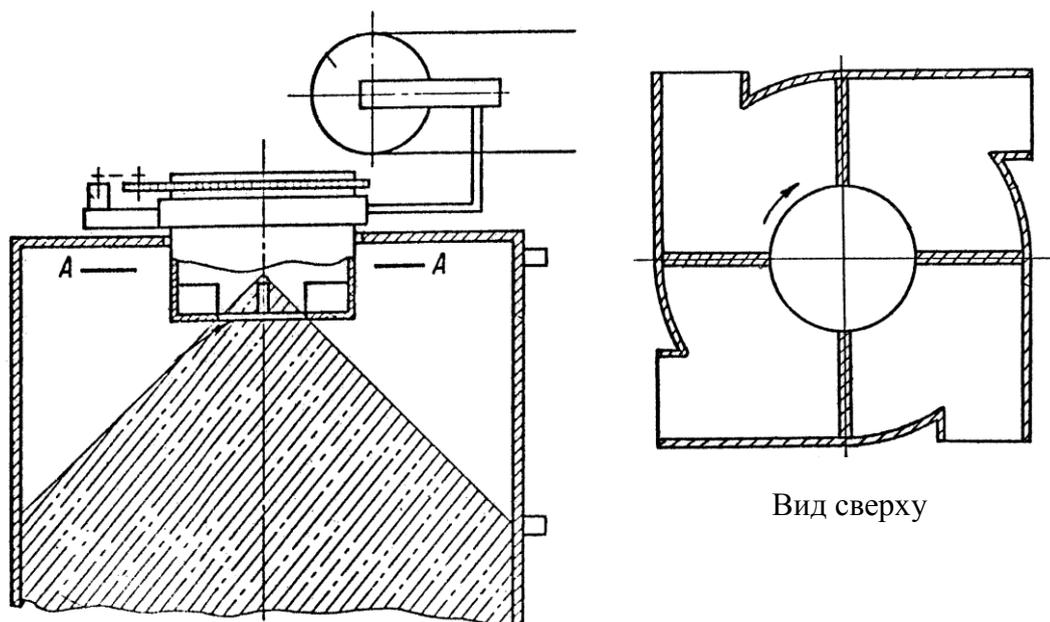


Рис. 1.8. Схема устройства с комбинированным приводом

Наиболее перспективным загрузочно-распределительным устройством

можно считать ниже приведенную конструкцию

(рис. 1.9). Она состоит из распределительного

бункера, имеющего на боковой поверхности три

ряда прямоугольных вырезов, которые

расположены в шахматном порядке и служат для

разгрузки бункера. В нижней части емкости на

вертикальной оси закреплены два ряда

горизонтальных лопастей с возможностью

вращения. Попадая на лопасти, частицы

материала вызывают вращение оси, чем

достигается равномерное разбрасывание на

большой площади.

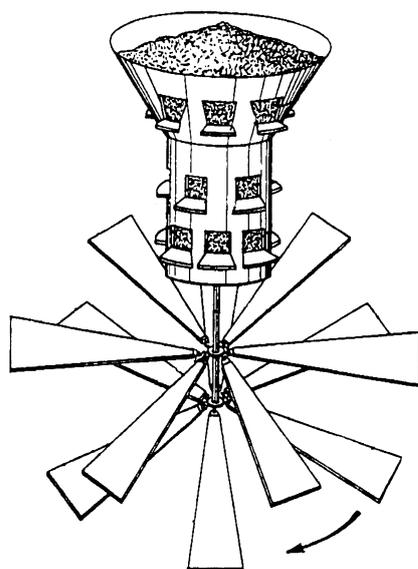


Рис. 1.9. Схема устройства с гравитационным приводом

Однако, приведенная конструкция наряду с преимуществами, обусловленными отсутствием энергоносителя, имеет недостатки. Лопасти должны быть достаточно жесткими и жестко закреплены к основанию, так как при попадании на них материала они не должны сгибаться, а придавать вращение.

**Каскадная загрузка.** Каскадная загрузка применяется в основном для высотных емкостей (силосов). Множество конструкций и их работоспособность рассматривалась в следующих работах [47, 48, 61, 91, 98, 99, 100 и др.] Принцип работы устройств каскадного спуска загружаемого материала сводится к нейтрализации процесса сегрегации, сохранности гранулированных частиц сыпучего материала и снижению плотности в нижележащих слоях.

Обобщая анализ приведенных выше конструкций, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее распространенными являются гравитационные загрузочные устройства вследствие простоты конструкции и отсутствия привода. Однако их эффективность достигается в емкостях средних размеров (диаметр – до 3...3,5 м, высота – до 5 м).

2. Загрузочные устройства с применением привода наиболее предпочтительны для емкостей с диаметром сечения, превышающим 3 м, и ограничиваются глубиной до 5 м.

3. Существующие конструкции для каскадного заполнения емкостей целесообразно применять в силосах с высотой, превышающей 5 м. Некоторые из них пригодны только для хорошосыпучих продуктов. Для материалов, склонных к слеживанию, большинство каскадных устройств не пригодно.

4. Все вышеприведенные способы распределения сыпучих материалов в емкости показали свою незначительную зависимость от конструктивно-технологических характеристик самих устройств [47, 48, 52, 82, 91].

Таким образом, обобщая функциональную пригодность бункерных устройств и кузовов транспортных средств, можно сделать вывод, что загрузка оказывает влияние на стабильность хранения и выпуск материала, а также, как отмечалось выше, на качество конечного продукта. Следовательно, совершенствование конструкций загрузочно-распределительных устройств является актуальным направлением и требует

особого внимания к устройствам с гравитационным приводом. Конструкция должна сочетать в себе высокую надежность, оптимальные габариты, низкое энергопотребление или его отсутствие, сохранность частиц сыпучего материала, высокую степень равномерности их укладки и отсутствие сегрегации. При этом необходимо учитывать минимизацию затрат на производство, обслуживание и мероприятия по охране труда и улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки в рабочей зоне.

### **1.3. Обзор научных исследований**

При исследовании функционирования хранилищ для сыпучих материалов и разработке их конструкций обычно большее внимание уделяется процессу выгрузки из емкости, так как именно этот процесс является конечным и показательным в работе емкости. Однако, именно здесь возникает значительное число проблем, связанных, как правило, с внутренними процессами, протекающими в емкости. Проблемам сводообразования и свободного истечения сыпучих материалов посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых [27, 37, 45, 48, 54, 55, 56, 57, 58, 69, 70, 72, 73, 91, 94, 95, 106, 107, 108, 130, 131, 134, 135, 137, 141, 143, 145, 148, 152, 153]. В перечисленных работах в той или иной степени решены эти проблемы. Однако, вопросу изучения процесса загрузки, как основополагающему этапу функционирования емкости, уделено очень мало внимания. Известны немногие работы, посвященные этим вопросам [98, 100, 148].

Между тем, многими исследователями отмечается, что загрузка (способы и режимы) существенно влияет на последующие процессы хранения и выпуска материала, а также на сам хранимый продукт. Большое число разработанных для улучшения загрузки устройств также свидетельствует об этом.

Таким образом, для обеспечения оптимального способа загрузки или приближения к нему необходимы специальные устройства, применяемые в процессе загрузки. Такие устройства разрабатывались, часть из них рассмотрена в п. 1.2, но теоретические исследования устройств и самого процесса загрузки в достаточном объеме не проводились.

При работе загрузочных устройств сыпучая среда взаимодействует с рабочими органами устройства. Подобные взаимодействия встречаются и при работе различных машин и механизмов, транспортирующих сыпучие материалы. Результаты исследований этих взаимодействий могут быть применены в исследованиях рассматриваемых в работе загрузочно-распределительных устройств [36, 91].

При исследовании поведения сыпучей среды и взаимодействия ее с различными поверхностями можно рассматривать сыпучую среду как непрерывное сыпучее тело или как совокупность отдельных материальных точек. Выбор способа представления сыпучего материала зависит от рассматриваемой ситуации. Как правило, сыпучий материал, находящийся в замкнутой емкости, представляется в виде непрерывного сыпучего тела, а находящийся в свободном падении – как совокупность отдельных частиц [91, 150, 151].

В исследовании движения сыпучей массы по загрузочно-распределительному устройству и после схода с него применялся второй подход.

### 1.3.1. Движение частиц сыпучей массы по шероховатым поверхностям

Изучением движения материальной точки занимались такие великие ученые классической механики как Галилей, Ньютон, Эйлер, Леонардо да Винчи и другие [78, 145]. Дальнейшее развитие, применительно к задачам сельскохозяйственного машиностроения, отражено в трудах В. П. Горячкина [51], П. М. Василенко [41] и др. В работе [41] обобщен материал,

накопленный по данному вопросу, приведены приемы решения новых задач теории движения материальной частицы.

Если движение материальной частицы весом  $G$  происходит скольжением с коэффициентом трения  $f$  по наклонной плоскости под углом  $\beta$  на длине  $l$ , разность уровней в начальной и конечной точках  $h = l \sin \beta$  и скорость в этих точках  $v_i$  и  $v_e$ , то работа силы тяжести частицы  $Gh$ , затрачиваемая на работу трения и приращение кинетической энергии в соответствии с уравнением закона живых сил [142]:

$$Gh = Gfl \cos \beta + \frac{G(v_k^2 + v_n^2)}{2g}, \text{ Дж} \quad (1.1)$$

где  $G$  - вес материальной частицы, Н;

$f$  - коэффициент внешнего трения;

$l$  - длина плоскости, м;

$\beta$  - угол наклона плоскости, град.;

$v_i$  - начальная скорость частицы, м/с;

$v_e$  - конечная скорость частицы, м/с;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Если известна начальная скорость  $v_i$  и задан угол наклона  $\beta$ , то конечная скорость:

$$v_k = \sqrt{2gh(1 - f \operatorname{ctg} \beta) + v_n^2}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

где  $h$  - разность высот в начальной и конечной точках, м.

### 1.3.2. Движение частиц сыпучей массы по перфорированной поверхности

С помощью перфорированных поверхностей – решёт сыпучую массу разделяют по фракциям: путем прохода через отверстия мелких частиц и схода с решета более крупных частиц. Этот способ разделения широко

используется в сельскохозяйственном производстве при очистке и сортировке зерна и семенного материала [133], в горнорудной и химической промышленности [123]. Исследования движения материала по перфорированным поверхностям могут быть применены к движению по наклонной плоскости конуса распределителя.

В отношении теории движения материала по решетку можно отметить следующее. Проход частиц сыпучей массы через отверстие решета возможен при наличии относительного движения материала относительно решета. Установлено, что размер отверстий в направлении движения материала зависит не только от размера частиц, но и от угла наклона решета и от относительной скорости движения материала [91].

В [123] приведена формула определения относительной скорости движения частицы материала по решетку:

$$w = (d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{(d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sin 2\alpha + 2r}}, \text{ м/с} \quad (1.3)$$

где  $d_0$  - размер отверстий в решетке, м;

$\alpha$  - угол наклона решета, град.;

$r$  - радиус частиц шарообразной формы, м.

Выражение (1.3) связывает относительную скорость движения частиц материала по решетку  $w$ , размер отверстий в решетке  $d_0$ , угол наклона решета  $\alpha$  и размер частиц  $r$ , которые могут пройти через отверстия решета.

### 1.3.3. Движение частиц сыпучей массы в поле силы тяжести

Законы движения частиц материала под действием приложенных к ним сил известны из классической теоретической механики [78, 132, 144]. Если на частицу действует только сила тяжести, а в начале движения она имеет начальную скорость  $v_0$ , направленную под углом к горизонту  $\beta \neq \pi/2$ , то траекторией движения частицы является парабола.

Уравнения движения частицы в параметрической форме в системе координат  $xOy$  имеет вид:

$$x = v_0 \cos \beta t, \quad (1.4)$$

где  $v_0$  - начальная скорость движения частицы, м/с;

$\beta$  - угол наклона к горизонту, град.;

$t$  - время движения, с.

$$y = v_0 \sin \beta t - g \frac{t^2}{2}. \quad (1.5)$$

В случаях, когда относительно тяжелая частица движется с малой скоростью, такого представления движения бывает достаточно для практических расчетов.

При движении в воздушной среде на частицы, кроме силы тяжести, действует сила сопротивления среды, которая становится значительной для относительно легких частиц или частиц, движущихся с большой скоростью. На характер движения частицы может влиять их форма и шероховатость поверхности.

При учете всех действующих на движущееся тело сил необходимо составлять систему уравнений, связывающих его положение, скорость и ускорение с приложенными к нему силами. Подобные задачи решаются в теории движения снарядов [59].

Характеристикой частиц сыпучей массы, по которой можно судить о влиянии среды сопротивления на характер движения, служит скорость витания  $v_a$ .

Скорость витания частицы в воздушном потоке равна скорости воздуха в вертикальной трубе, при которой частица поддерживается струей и сохраняет свое положение [125].

Эти показатели выясняются из следующих рассуждений [120]. Если частицу поместить в воздушный поток, то на неё будет действовать сила:

$$R = k \frac{\gamma}{g} F v^2, \text{ Н} \quad (1.6)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления;  
 $\gamma$  - удельный вес воздуха, Н/м<sup>3</sup>;  
 $F$  – миделево сечение тела, м<sup>2</sup>;  
 $v$  – относительная скорость, м/с.

Ускорение, которое сообщает сила  $R$  частице с массой  $m$ , выражается формулой:

$$j = \frac{R}{m} = \frac{k\gamma F}{mg} v^2 = k_n v^2, \text{ м/с}^2 \quad (1.7)$$

где  $m$  - масса частицы, м;  
 $k_n$  - коэффициент парусности, 1/м.

$$k_n = \frac{k\gamma F}{G}, \text{ 1/м} \quad (1.8)$$

где  $G$  - вес частицы, Н.

В практике чаще пользуются другим показателем – скоростью витания  $v_b$ . Под этой скоростью понимают скорость потока, при котором частица находится во взвешенном состоянии. Она определяется по формуле (1.6), в которой сила  $R$  приравнивается к весу  $G$  тела. Тогда имеем соотношение:

$$v_b = \sqrt{\frac{Gg}{k\gamma F}} = \sqrt{\frac{g}{k_n}}, \text{ м/с} \quad (1.9)$$

Если частица (зерно) располагает тремя различными размерами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , то есть длиной, шириной и толщиной, то скорость витания  $v_b$ :

$$v_b = \sqrt{\frac{\gamma l}{k\rho}}, \text{ м/с} \quad (1.10)$$

где  $l = \sqrt[3]{abc}$  и  $F = l^2$ ;

$\rho$  - плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>.

При экспериментальном определении  $v_b$  проявляются многие свойства тела: форма, соотношение между площадью миделевого сечения и весом, шероховатость поверхности, от которой зависит трение о воздух. Поэтому

скорость витания для конкретного материала имеет не конкретные значения, а изменяется от  $v_{в\ min}$  до  $v_{в\ max}$  и характеризуется вариационной кривой [120].

Характеристики  $v_{в}$  и  $k_{п}$  используются при транспортировании материала в воздушном потоке (пневмотранспортировании), разделении материала на фракции, очистке от мелких примесей.

Очевидно, что при исследовании процесса загрузки эти характеристики будут иметь значение на участке свободного падения материала, после схода материала с распределительного устройства, от них зависит происходящая на этом участке сегрегация.

Как отмечалось выше, приведенные соотношения могут быть применены при изучении загрузочно-распределительного устройства, являющегося предметом настоящего исследования.

#### 1.3.4. Движение частиц по наклонной плоскости с вырезами

В исследованиях Н.Н. Мосиной [91] уравнения движения частицы в поле силы тяжести применялись при расчете величины разброса частиц сыпучего материала предложенным загрузочным устройством в виде набора конусов.

На рис. 1.10 показано сечение распределителя плоскостью, проходящей через ось симметрии отверстия первого ряда и ось симметрии конуса.

При движении сыпучей массы по поверхности распределителя изменяется скорость и толщина слоя частиц, а траектория движения частиц и всего слоя определяется формой поверхности. В момент времени, когда частицы достигнут вертикали, проходящей через точку  $A$  – начало или верхняя граница отверстия – на частицы перестает действовать реакция опорной поверхности и сила трения. Частицы оказываются под действием только силы тяжести, и траектория их движения меняется. При этом часть материала слоем  $h_1$  пройдет через отверстие, а остальная его часть

продолжает путь по поверхности распределителя до схода с него. Кривая  $BC$  (см. рис. 1.10) является траекторией граничного слоя, разделяющего материал, прошедший через отверстие, и материал, оставшийся на распределителе.

Согласно приведенной схеме на рис. 1.10. было получено:

$$l = v \sqrt{\frac{2h_1}{g \cos \beta}}, \text{ м} \quad (1.11)$$

где  $l$  – размер отверстия в направлении образующей распределителя, м;  
 $v$  – скорость частиц при подходе к отверстию (в т.  $A$ ), м/с;  
 $h_1$  – толщина слоя материала, прошедшего через отверстие, м;  
 $\beta$  – угол наклона образующей конуса, град.

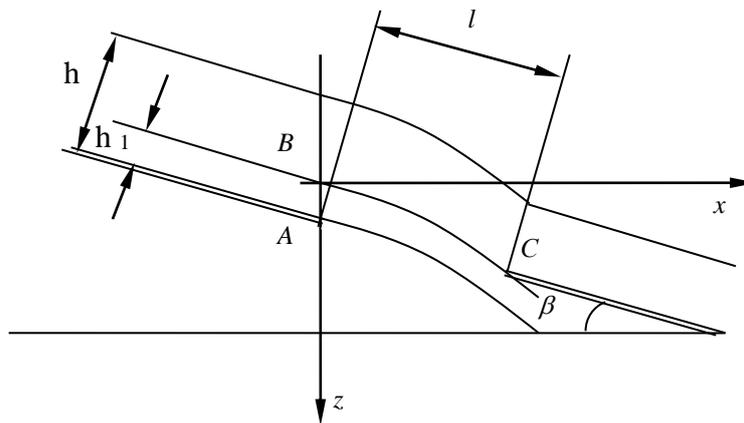


Рис. 1.10. Схема к расчету линейного размера отверстия на поверхности конусного распределителя

Также были получены начальная  $v_n$  и конечная  $v_k$  скорости скольжения материала по поверхности конуса:

$$v_n = \sqrt{v_u^2 + 2\alpha g H - 2g(r_1 - r_2) \text{tg } \beta \cdot \sin \beta}, \text{ м/с} \quad (1.12)$$

$$v_k = \sqrt{2(r_1 - r_0)(\text{tg } \beta - f) + v_n^2}, \text{ м/с} \quad (1.13)$$

где  $v_u$  – скорость истечения материала из загрузочной горловины, м/с;  
 $\alpha$  – относительное положение конуса внутри устройства;  
 $H, H_1$  – высота устройства, высота загрузочной горловины, соответственно, м;

$r_0$  - радиус первого ряда отверстий в конусе, м;

$r_1$  - радиус второго ряда отверстий в конусе, м;

$f$  – коэффициент трения материала о поверхность конуса;

$r_2$  - радиус основания конуса, м.

Таким образом, можно сделать вывод, что научное развитие направления, связанного с загрузочно-распределительными процессами в емкостях, имеет место, но не достаточно изучено.

### 1.3.5 Влияние сегрегации на качество продукта

Большинство сыпучих материалов, производимых и перерабатываемых в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, являются существенно неоднородными. Технологические процессы, протекающие при взаимном перемещении частиц, неоднородностью которых пренебречь не представляется возможным, сопровождаются эффектами сегрегации, которые признаются наиболее общим и масштабным негативным фактором в технологии производства и переработки дисперсных материалов. Негативные последствия сегрегации (снижение качества продукции, нарушение норм технологического режима) являются причиной избыточных затрат на производство, нерешенных технологических проблем и снижения безопасности производства.

Негативное влияние сегрегации может проявляться в виде комплекса проблем, основными из которых являются осложнения в технологических операциях смешивания, дозирования, перемешивания и транспортирования неоднородных сыпучих сред. Наиболее остро и часто технологические осложнения возникают при заполнении и разгрузке бункеров, силосов, реакционных объемов аппаратов, а также при организации буртового хранения сырья и продуктов. В этих случаях особенно ярко проявляются эффекты сегрегации частиц по размеру. Сегрегация при этом является следствием формирования откосов материала при его подаче в емкость или

кучу, по которым в результате движения происходит преимущественная концентрация мелких частиц в верхней части откоса, а крупных – в нижней.

Очевидно, что при дальнейшем технологическом использовании такого материала могут возникнуть серьезные проблемы, в том числе, например, неоднородность условий переработки и времени пребывания в рабочем объеме аппарата частиц различных фракций материала. Кроме того, одним из важнейших аспектов влияния сегрегации на производство является качество сыпучих продуктов. Повышение неоднородности сыпучих материалов вследствие сегрегации значительно снижает их технологическую пригодность и потребительскую стоимость и, соответственно, порождает множество трудностей при их производстве и переработке. В частности, сегрегация приводит к отделению пылевидных фракций, которые становятся источником загрязнения воздуха с пагубными последствиями для здоровья и безопасности персонала.

При этом снижение сегрегации может быть достигнуто изменением операционных процедур на стадиях загрузки, выгрузки и перегрузки материалов.

В комбикормовом производстве необходимо учитывать показатели, характеризующие свойства сырья и компонентов как объектов хранения и переработки, т.к. они определяют проведение технологических процессов от приема сырья до выпуска готовой продукции.

Все виды сырья для производства комбикормов, представляющие собой сыпучие материалы, следует характеризовать определенными свойствами, которые можно отнести к физико-механическим, имеющим основное значение для транспортировки, складирования, хранения; и технологическим, учитывающим возможность их переработки – измельчения, просеивания, дозирования и смешивания, засыпки в бункеры и другую упаковку.

Гранулометрический состав комбикорма должен учитывать возможность полного потребления и переваривания компонентов, их

правильное соотношение и сочетание, высокую однородность смеси, гарантирующую требуемый химический состав для каждого животного.

Сегрегация возникает в результате неравномерного распределения частиц сыпучей смеси, различающихся между собой по величине, форме и плотности. Это явление происходит при движении смеси по поверхности и при ее падении с высоты (например, в емкость). При движении по плоскости мелкие и более плотные частицы проникают между крупными в нижний слой. Сегрегация также наблюдается во время транспортирования сыпучих материалов насыпью в механизмах, кузовах автомобилей, мобильных емкостей. При свободном падении с высоты частицы также расслаиваются вследствие их величины, плотности, формы, но здесь большое значение имеют также их аэродинамические свойства. Это явление нарушает однородность комбикорма и приводит к неравномерному распределению частиц, имеющих различный химический состав, в комбикорме, что в конечном итоге может привести к худшей эффективности при скармливании животным.

Однородность гранулометрического состава способствует лучшему усвоению питательных веществ, содержащихся в комбикорме. Наличие пылевидных частиц ухудшает кормление животных и может вызвать закупорку дыхательных путей, особенно у молодняка.

Неоднородность смеси определяется с помощью индикаторов, которые легко поддаются анализу и дают однозначные результаты. В качестве таких индикаторов принята соль поваренная или мел.

Важным показателем качества приготовленного комбикорма является однородность его состава, которая оказывает прямое влияние на эффективность его использования при обогащении комбикормов [17,60].

В работах [48, 91] рассмотрено влияние способа загрузки комбикорма на сегрегацию сыпучего материала.

На лабораторной установке проводился анализ сегрегации сыпучего материала, связанной с образованием насыпи в емкости при ее загрузке.

График зависимости сегрегации комбикорма от высоты падения для различных способов загрузки представлен на рис. 1.11.

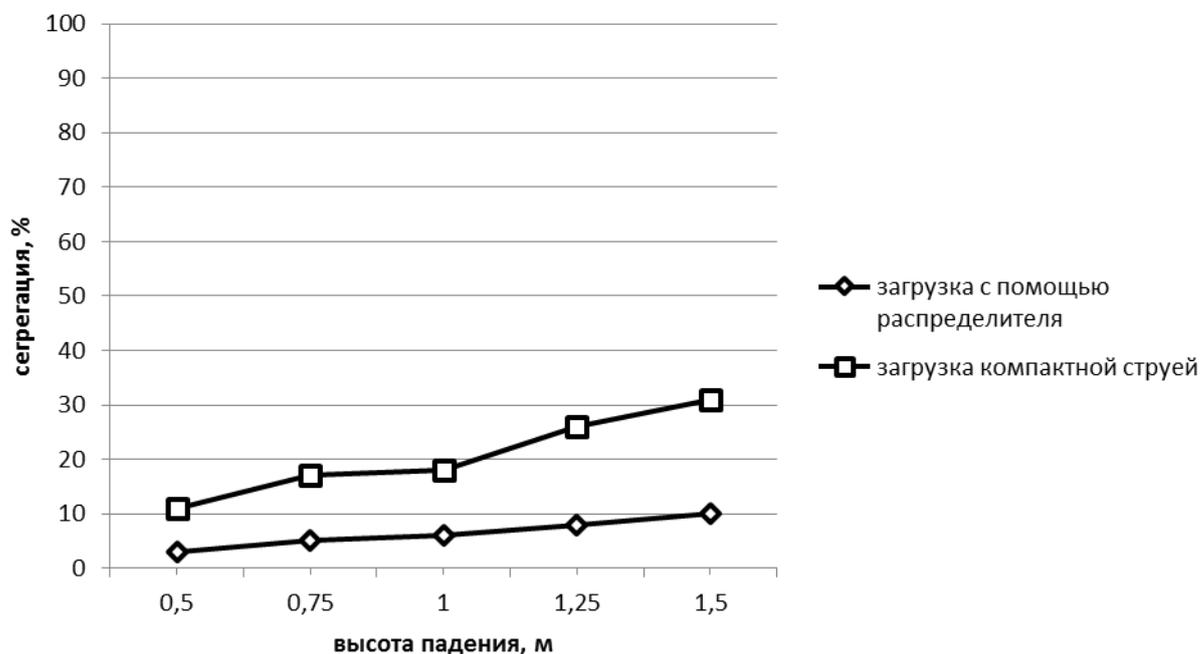


Рис.1.11. График зависимости сегрегации комбикорма от высоты падения

Как видно из графика, загрузочно-распределительные устройства, в том числе и рассматриваемое в работе, снижают сегрегацию сыпучего материала, способствуя тем самым снижению динамического уплотнения, равномерному распределению материала по сечению емкости, что положительно влияет на качество продукции.

#### 1.4. Цель и задачи исследований

Анализ практики проектирования и эксплуатации емкостей, а также вспомогательных устройств к ним позволяет сделать вывод о необходимости комплексного подхода к вопросу их функционирования. Одно из звеньев данного подхода – это совершенствование показателей загрузки емкостей с учетом их влияния на дальнейшее функционирование емкости и на качество хранимого продукта. При выборе пути совершенствования процесса загрузки

необходимо стремиться обеспечить универсальность применяемых конструкций как по количеству решаемых проблем, так и по различным видам емкостей, низкую стоимость и энергоемкость, простоту в изготовлении и эксплуатации [91]. Обзор технических решений по вопросам загрузки зерновых материалов позволил выбрать направление для исследований: загрузка емкостей с большим поперечным диаметром и кузовов транспортных средств рассредоточенным потоком с целью обеспечения снижения уплотнения сыпучей массы в нижних слоях, увеличения вместимости емкости или статической нагрузки (для кузовов транспортных средств).

В связи с вышесказанным, целью настоящих исследований является повышение эффективности процесса загрузки компонентами комбикорма емкостей различного назначения посредством использования энергосберегающего загрузочно-распределительного устройства, позволяющего повысить степень равномерности распределения комбикорма в емкости, уменьшить слеживаемость, сегрегацию.

На основе предложенной цели были поставлены задачи, сформулированные следующим образом:

- проведение анализа конструктивных схем существующих загрузочных устройств, разработка и обоснование конструктивной схемы загрузочно-распределительного устройства, способного без энергозатрат равномерно распределять комбикорм в емкостях и исключать его сегрегацию;

- выполнение теоретических исследований процесса загрузки емкостей компонентами комбикорма с применением загрузочно-распределительного устройства;

- проведение экспериментальных исследований предложенного загрузочно-распределительного устройства для выявления влияния его параметров на характер и структуру заполнения емкости;

- экономическая оценка эффективности использования предлагаемого устройства.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОГО ЗАГРУЗОЧНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА**

### **2.1. Описание конструкции предлагаемого загрузочно-распределительного устройства с гравитационным приводом**

В работе [91] были рассмотрены конструкции загрузочных устройств с гравитационным распределением сыпучей массы по периметру емкости. Согласно результатам, полученным в работе, были сделаны выводы, что устройства с гравитационным распределением могут обеспечить разброс сыпучей массы по площади, диаметр которой в три раза больше диаметра распределительного конуса. Для увеличения площади разброса требуется применять приводные устройства. Однако затраты на сам привод (электродвигатель) и его питание существенно отражаются на сроках окупаемости такого устройства и очень часто экономически не выгодны. Наиболее приемлемым решением в таких условиях является использование энергии потока загружаемого материала для подачи энергии на привод.

В настоящей работе предлагается рассмотреть следующую конструктивно-технологическую схему загрузочно-распределительного устройства, приведенную на рис. 2.1. и 2.2.

Устройство состоит из гофрированного трубопровода 1, в нижней части которого монтируется металлический цилиндр 2. В верхней части цилиндра установлено крепежное устройство 3, в котором по центру цилиндра жестко крепится ось 4. На оси подвижно с помощью подшипников крепится цилиндр 5, имеющий в себе пружину 6, которая позволит цилиндру 5 передвигаться вертикально вниз по оси с возможностью возврата в исходное положение. На цилиндре 5 также крепятся лопасти 7. В нижней части цилиндра расположена трубка, в которой размещается стержень 4. Трубка в нижней части имеет крепежное устройство 8 с подвижно

прикрепленными к ней лопастями 9. Лопастями 9 свободно располагаются в конусе 10, который жестко закреплен в нижней части стержня 4.

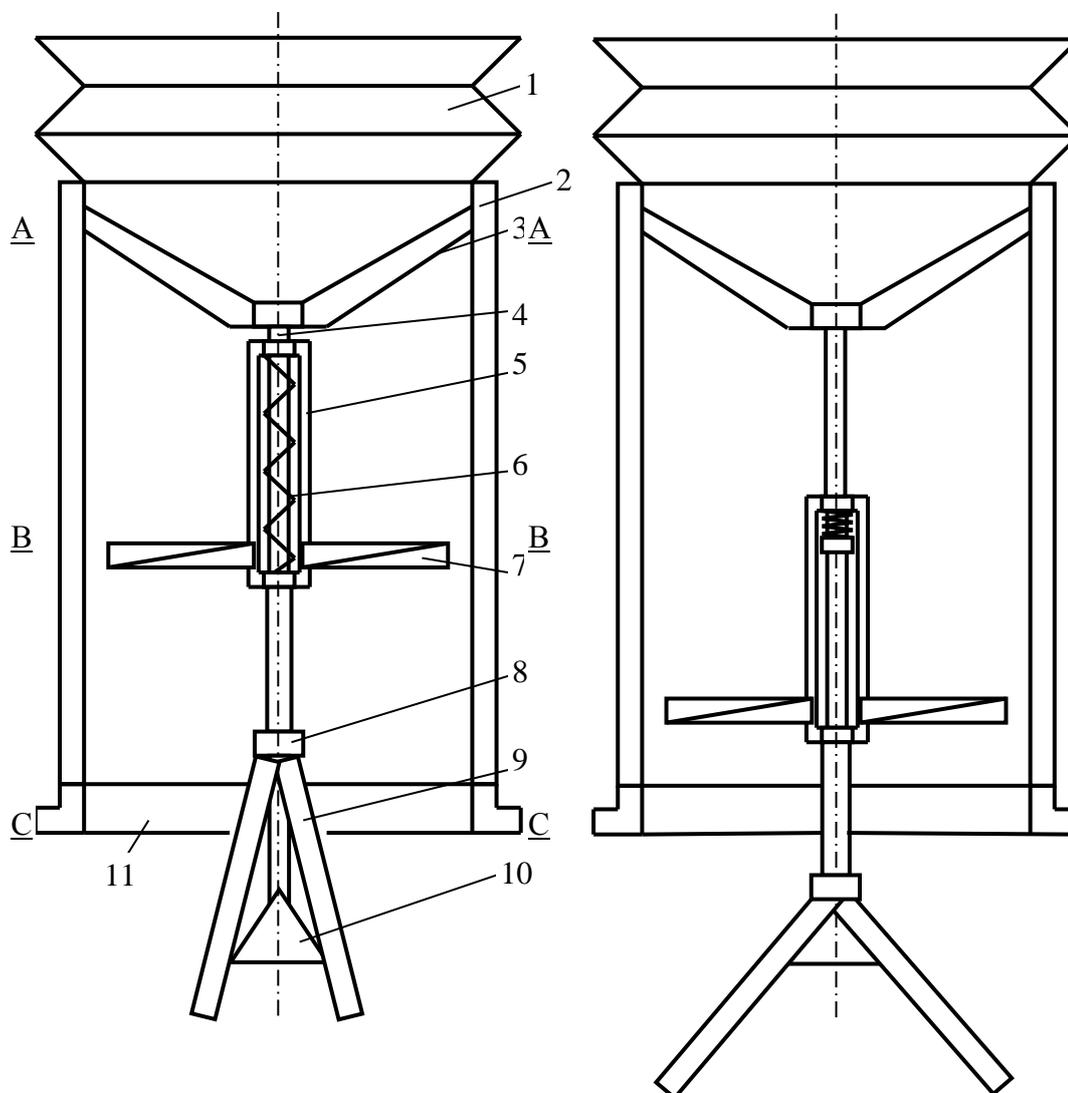


Рис. 2.1. Конструкционная схема загрузочно-распределительного устройства: 1- гофрированный рукав отпускового устройства; 2- цилиндр; 3, 8 - крепежное устройство; 4- стержень; 5- цилиндр; 6- пружина; 7- лопасти; 9- подвижные лопасти; 10- конус; 11- люк загружаемой емкости

Устройство работает следующим образом. Сыпучая масса поступает из отпускового бункера по гофрированному трубопроводу 1. Попадая в цилиндр 2, она устремляется к лопастям 7, имеющим винтовой профиль, и своей массой давит на них. Лопастями 7 приводятся в движение поступающим сверху потоком сыпучего материала. В свою очередь, сыпучий поток своей массой

опускает цилиндр 5 вниз до упора крепежного устройства 8 в конус 10. При этом наблюдается размещение лопастей 9 по плоскости конуса 10. Вращение лопастей 7 приводит в движение лопасти 9. Таким образом, когда сыпучая масса прошла сквозь лопасти 7 и привела их во вращение, приходят в движение лопасти 9, разбрасывая сыпучую массу по периметру емкости.

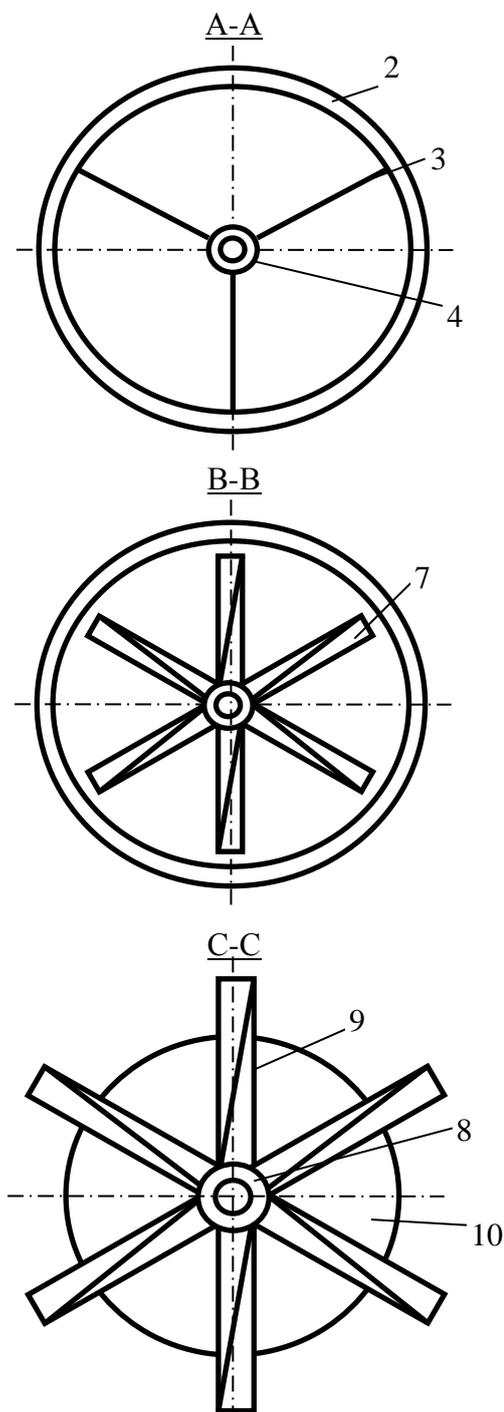


Рис. 2.2. Элементы схемы предлагаемого механизма для загрузочно-распределительных операций (обозначения см. на рис. 2.1)

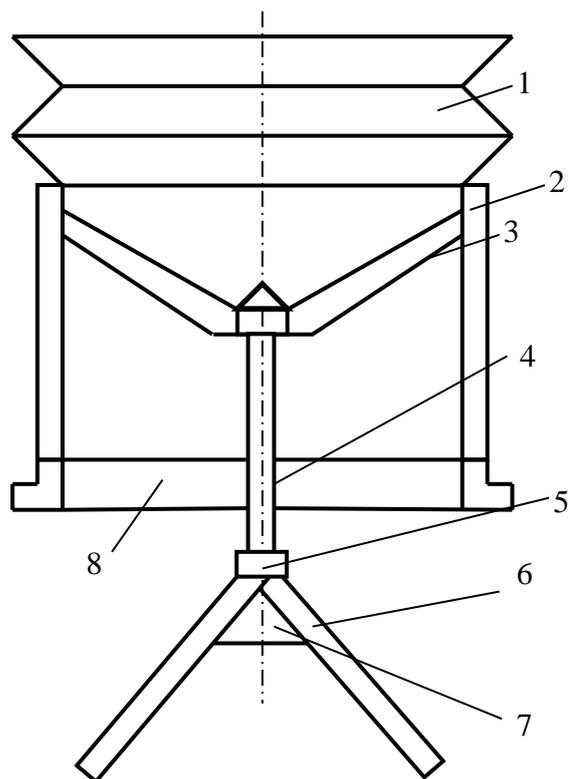


Рис. 2.3. Схема варианта конструкции загрузочно-распределительного устройства: 1- гофрированный рукав отпусчного устройства; 2- цилиндр; 3, 5 - крепежное устройство; 4 - ось; 6 - подвижные лопасти; 7 - конус; 8- люк загружаемой емкости

Приведенная конструкция имеет достаточно хорошие эксплуатационные показатели, однако для полномасштабных исследований следует ее упростить вследствие значительного количества параметров, которые требуют теоретического обоснования и лабораторных испытаний. Схема упрощенного варианта загрузочно-распределительного устройства представлена на рис. 2.3. Данная конструктивная схема работает следующим образом. Сыпучая масса поступает из отпускного бункера по гофрированному трубопроводу 1. Попадая в цилиндр 2, она устремляется к лопастям 6 и приводит их в круговое движение вокруг своей оси. Таким образом, материал начинает разлетаться по лопастям, распределяясь по периметру емкости [25, 28, 29, 38, 39, 40, 50, 84, 122, 131].

Рассмотрим процесс функционирования загрузочно-распределительного устройства в технологическом процессе работы всего бункерного хранилища на примере параметрического моделирования.

## **2.2. Параметрическая модель функционирования емкостей для компонентов комбикорма**

Заполнение емкости сыпучими материалами, как уже отмечалось ранее, является начальным звеном процесса ее функционирования.

Для лучшего осмысления и выявления всех параметров, подлежащих теоретическому и экспериментальному исследованию, необходимо рассмотреть процесс функционирования емкости в целом.

Названный процесс включает в себя три последовательных этапа: загрузка емкости сыпучей массой, хранение в течение необходимого времени и опорожнение емкости. Являясь первым этапом, загрузка влияет и на процесс хранения, и на процесс выпуска и, в конечном счете, на качество полученного продукта.

Наглядную картину процесса функционирования емкости дает представление его в виде параметрической модели. Такое представление

позволяет расставить все влияющие на данный процесс факторы по этапам и определить их место и роль.

Варианты данной модели рассматривались в работах [48, 91]. В настоящей работе предлагается дополнить эти параметрические модели новыми параметрами, возникшими вследствие нового конструктивного решения загрузочно-распределительного устройства с гравитационным приводом, и обосновать их.

Обозначим три взаимосвязанных этапа функционирования емкости следующим образом: загрузка емкости сыпучей массой (ПЗ), хранение в емкости (ПХ), выпуск сыпучей массы из емкости (ПВ) [45, 48, 91]. На каждом этапе на процесс оказывают влияние внешние и внутренние факторы. Внешними факторами называем параметры окружающей среды, свойства сыпучей массы, параметры емкости и устройств, а внутренними – следствия предыдущего этапа процесса. Влияние факторов на каждом этапе представим в виде вектор - функций, аргументами которых являются соответствующие факторы. Графическое представление параметрической модели показано на рис. 2.4.

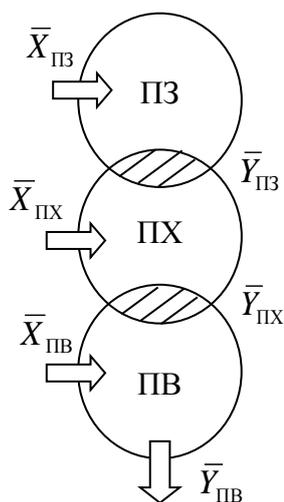


Рис. 2.4. Параметрическая модель функционирования емкости для компонентов комбикорма

$\bar{X}_{ПЗ}$  описывает условия загрузки (параметры загрузочных устройств, физико-механические и биохимические свойства материала),  $\bar{Y}_{ПЗ}$  выражает влияние результата загрузки на процесс хранения,  $\bar{X}_{ПХ}$  описывает условия хранения (конструкция емкости, свойства материала и параметры окружающей среды),  $\bar{Y}_{ПХ}$  представляет воздействие последствий хранения на процесс выпуска,  $\bar{X}_{ПВ}$  характеризует условия выпуска

(параметры емкости, свойства сыпучего материала),  $\bar{Y}_{ПВ}$  описывает выходные параметры процесса выпуска:

$$\bar{X}_{ПЗ} = \bar{X}_{ПЗ}(x_{1з}, \dots, x_{nз}), \quad (2.1)$$

$$\bar{Y}_{ПЗ} = \bar{Y}_{ПЗ}(y_{1з}, \dots, y_{kз}). \quad (2.2)$$

Основные факторы, играющие роль в процесс загрузки, можно разделить на три основные группы:

- параметры загрузочного устройства (в том числе и его отсутствие);
- режим работы загрузочного устройства;
- свойства сыпучей массы.

В исследованиях изменять эти параметры можно как для сравнения различных способов загрузки и устройств, так и для одного и того же устройства. Приведем конкретные параметры для исследуемого загрузочного устройства:

- $x_{1з}$  - угол наклона лопастей;
- $x_{2з}$  - угол атаки лопастей;
- $x_{3з}$  - высота установки распределительных лопастей под загрузочной горловиной;
- $x_{4з}$  - размер межлопастных углов;
- $x_{5з}$  - скорость витания и коэффициент парусности частицы сыпучего материала;
- $x_{6з}$  - угол внутреннего трения частиц материала;
- $x_{7з}$  - угол трения частиц материала о материал устройства;
- $x_{8з}$  - содержание связывающих частицы материала веществ (влажность, жирность и т.п.).

Факторы  $x_{5з}$  -  $x_{8з}$  относятся к свойствам материала, причем последние 3 можно объединить в одно свойство (сыпучесть), учитывать по отдельности, или выбрать одно, наиболее полно характеризующее сыпучесть (например,

коэффициент трения сыпучей массы о поверхность устройства). Следует отметить, что свойства сыпучего материала продолжают играть роль и при хранении, и во время его выпуска.

При сравнении различных загрузочных устройств и способов загрузки первая группа параметров будет такой:

$x_{1з}$  - наличие/отсутствие устройства;

$x_{2з}$  - наличие/отсутствие привода устройства;

$x_{3з}$  - универсальность устройства;

$x_{4з}$  - сложность/простота изготовления устройства.

Перечисленные факторы комбинируются в зависимости от своей значимости и методики исследования и образуют функционал  $\bar{X}_{ПЗ}$ .

Выходные данные процесса загрузки служат в исследовании критериями оценки данного процесса и используемых в нем устройств. Основными критериями являются:

$y_{1з}$  - равномерность укладки частиц материала;

$y_{2з}$  - степень сегрегации сыпучей массы;

$y_{3з}$  - коэффициент использования объема хранилища;

$y_{4з}$  - динамическое воздействие материала на нижние слои;

$y_{5з}$  - целостность/повреждение частиц сыпучей массы;

$y_{6з}$  - затраты энергии на выполнение загрузки.

Факторы  $y_{1з}$ ,  $y_{4з}$  оказывают влияние на длительность хранения и на стабильность выпуска,  $y_{2з}$ ,  $y_{5з}$  - на качество конечного продукта, а  $y_{3з}$  и  $y_{6з}$  играют роль при экономической оценке как загрузки, так и процесса функционирования емкости в целом. Факторы  $y_{3з}$  и  $y_{4з}$  непосредственно зависят от равномерности заполнения  $y_{1з}$  [30,49].

В математических терминах описанная модель будет выглядеть следующим образом.

Этапы функционирования системы представлены на рис. 2.4 в виде трех взаимосвязанных функциональных блоков. Введем следующие обозначения.

Пусть  $(x_1 \dots x_n)$  - параметры, влияющие на процесс загрузки. Обозначим  $R^n$  - пространство этих параметров,  $x_i \in R^n$ .

$f(x_1 \dots x_n)$  - вектор-функция, описывающая процесс загрузки.

$$f(x_1 \dots x_n) = (y_1, \dots, y_m); \quad (2.3)$$

где

$$y_i = y_i(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1 \dots m. \quad (2.4)$$

Отметим, что на самом деле параметры  $y_i$  могут зависеть не от полного набора  $(x_1 \dots x_n)$ . Например, уплотнение материала в процессе загрузки не зависит от гранулометрического состава материала, но зависит от высоты падения и от способа загрузки. Но формально запись (2.4) верна, так как не влияющие параметры могут входить в выражение функции с нулевыми значениями.  $(y_1, \dots, y_m)$  - выходные параметры для процесса загрузки,  $y_i \in R^m$ .

Таким образом, преобразование  $f$  действует на пространство начальных параметров и переводит его в пространство выходных параметров:

$$R^n \xrightarrow{f} R^m. \quad (2.5)$$

После проведения загрузки параметры  $(y_1, \dots, y_m)$  начинают влиять на процесс хранения материала (как внутренние), к ним присоединяется влияние внешних параметров. Обозначим эти внешние параметры  $(x'_1, \dots, x'_k)$ . Пусть  $R^k$  - пространство внешних параметров:  $x_i \in R^k$ . То есть, на процесс хранения влияют параметры из произведения пространств  $R^m \times R^k$ .

Сразу отметим, что некоторые из переменных  $(x'_1, \dots, x'_k)$  могут совпадать с  $x_i$  из первой группы входных параметров. Это означает, что

некоторые параметры (например, физико-механические свойства материала) влияют на исследуемый процесс на каждом его этапе, возможно, по-разному.

Функция, которая описывает процесс хранения материала в бункере:

$$g(y_1, \dots, y_m, x'_1, \dots, x'_k) = (z_1, \dots, z_l), \quad (2.6)$$

$$z_i = z_i(y_1, \dots, y_m, x'_1, \dots, x'_k), \quad z_i \in R^l. \quad (2.7)$$

Преобразование  $g$  действует следующим образом:

$$R^m \times R^k \xrightarrow{g} R^l. \quad (2.8)$$

Пусть далее  $(x''_1, \dots, x''_p)$  - параметры влияния окружающей среды, характеристик устройств и свойств материала на процесс выпуска материала из хранилища,  $(x''_1, \dots, x''_p) \in R^p$ . На процесс выпуска также оказывают влияние и параметры  $(z_1, \dots, z_l) \in R^l$  со стороны процесса хранения.

Функция, описывающая процесс выпуска материала:

$$h(z_1, \dots, z_l, x''_1, \dots, x''_p) = w. \quad (2.9)$$

Здесь  $w$  – выходной параметр, число, по которому оценивается весь исследуемый процесс.

Таким образом:

$$R^l \times R^p \xrightarrow{h} R, \quad (2.10)$$

где  $R$  – пространство параметров.

Соединяя формулы (2.5), (2.8) и (2.10) в единую цепочку, получим полную математическую модель исследуемого процесса, схематически представленную на рис. 2.5:

$$\begin{aligned} R^n &\xrightarrow{f} R^m; \\ R^m \times R^k &\xrightarrow{g} R^l; \\ R^l \times R^p &\xrightarrow{h} R. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Если все внешние влияющие параметры  $\bar{x}$ ,  $\bar{x}'$ , и  $\bar{x}''$  вынести в начало процесса, то модель запишется следующим образом:

$$R^N \xrightarrow{f} R^M \xrightarrow{g} R^L \xrightarrow{h} R, \quad (2.12)$$

где  $N \neq n$ ,  $M \neq m$ ,  $L \neq l$ .

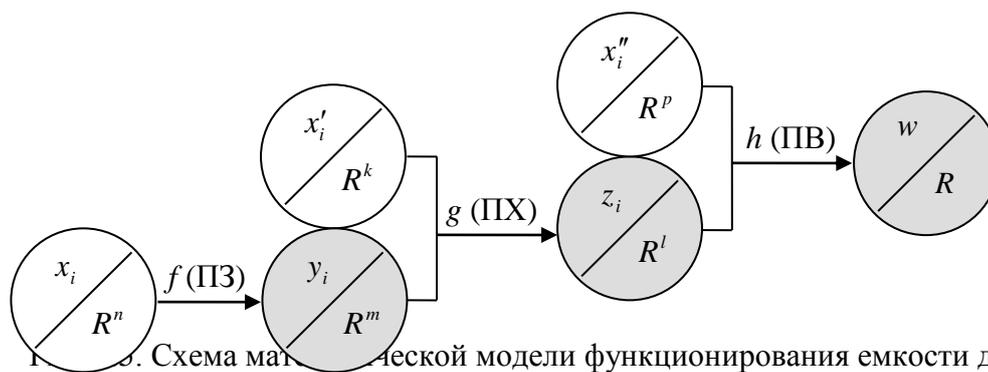


Рис. 2.3. Схема математической модели функционирования емкости для сыпучих материалов

Но на практике может оказаться удобнее подбирать входные параметры для каждого этапа процесса в отдельности и использовать формулу (2.11).

Выбор преобразований  $f$ ,  $g$ ,  $h$  зависит от конкретной методики исследований. Так, при оценке исследуемого процесса методами классической квалиметрии, все преобразования будут линейными, и задача сводится к традиционной задаче линейной алгебры [12].

Таким образом, каковы бы ни были функции  $f$ ,  $g$ ,  $h$ , их численное представление всегда осуществимо, однако основной задачей является правильный подбор параметров, влияющих на исследуемый процесс, и оценка значимости этих параметров на каждом этапе процесса [83].

### 2.3. Теоретическое обоснование конструкции и рабочего процесса загрузочно-распределительного устройства

#### 2.3.1. Обоснование формы лопасти загрузочно-распределительного устройства

Рассмотрим движение материала от начала его выхода из подающего устройства до укладки в насыпи транспортировочной емкости. Во время этого движения материал или, точнее, сыпучая среда испытывает ряд изменений своего состояния. После того, как сыпучий материал покинул

подающий рукав, он движется свободно в поле силы собственной тяжести компактной струей в форме цилиндра диаметром  $D$  со скоростью  $v$ , рис. 2.6. Затем этот столб материала попадает на поверхность рабочих органов распределительного устройства.

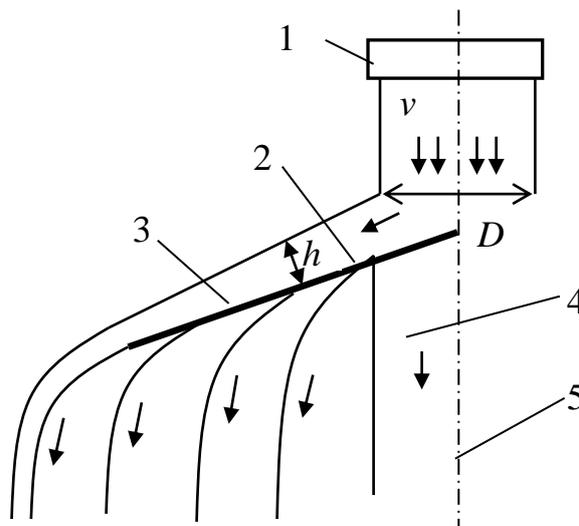


Рис. 2.6. Схема распределения сыпучей массы по потокам при работе устройства  
1- загрузочный рукав, 2- лопасть ЗУ, 3- поток груза с лопасти, 4- центральный поток груза, 5- ось вращения лопастей

Далее часть материала, попавшая на лопасти, движется по ним определенным слоем  $h$  до момента соскальзывания. После распределения и упавший с лопасти материал движется в воздухе до момента

соприкосновения с насыпью уже упавшего на дно емкости материала. Эта часть материала заполняет равномерно все пространство емкости кроме центральной части. Часть же сыпучего тела, не попавшая на лопасти, продолжает свое движение с той же скоростью и заполняет центральную часть емкости. Поэтому, для того, чтобы найти искомую форму рабочего органа загрузочного устройства, необходимо учитывать вышеизложенную схему движения сыпучего материала.

Целью оптимизации параметров рабочего органа загрузочно-распределительного устройства является равномерная загрузка материалом максимального объема заполняемой емкости. Поэтому основным условием определения параметров устройства будет условие равномерной загрузки по всей площади. Поверхность зоны засыпки материалом емкости имеет форму круга с центром в точке, образованной от оси вращения загрузочно-распределительного устройства. Радиус разброса равен сумме длины лопасти и расстояния свободного полета частиц материала, упавшего с крайней части лопасти. Отсюда имеем следующее требование, обеспечивающее

выполнение условия равномерности заполнения емкости. Форма лопасти должна быть такой, чтобы с каждой части лопасти падало такое количество материала, масса которого равномерно заполняла бы площадь поверхности круга охвата. Как известно, формула площади круга имеет следующий вид  $S = \pi r^2$ . С увеличением расстояния от центра вращения лопасти или с увеличением длины лопасти количество сходящего с нее материала должно увеличиваться по зависимости  $S = \pi r^2$ . Подача материала на лопасть происходит от потока из рукава равномерно на каждый выделенный элементарный сектор с углом  $\varphi$ . И с каждого такого сектора сыпучий материал, двигаясь по плоскости лопасти, попадает в определенное место схода на расстоянии  $r$  от оси вращения. Отсюда, приравняв величину сектора и площадь засыпки, охватываемой этой лопастью, получим уравнение формы лопасти, обеспечивающее необходимые условия равномерности засыпки:  $\varphi = \pi r^2$ .

Данное уравнение, записанное в полярных координатах, удобнее записать как зависимость  $r$  от  $\varphi$

в следующем виде:  $r = \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}}$ ,

или  $r(\varphi) = \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}}$ .

Это уравнение представляет собой плоскую кривую второго порядка, которая называется степенной спиралью с показателем степени 0,5. Даная кривая показана на

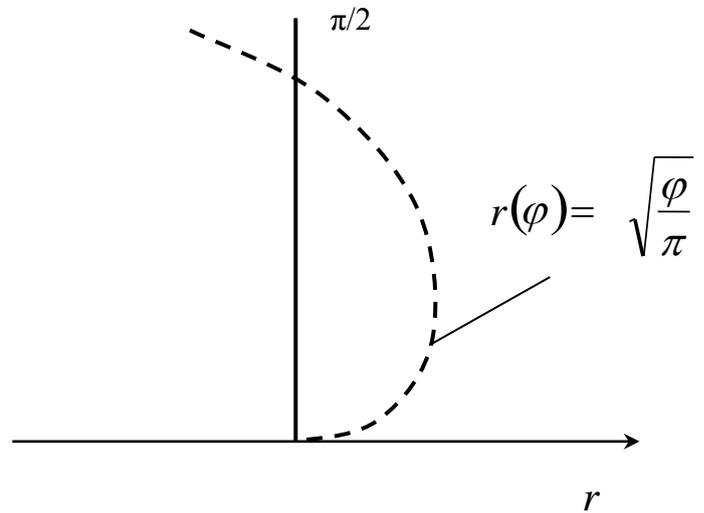


Рис. 2.7. График зависимости  $r(\varphi)$

рис. 2.7. Полное уравнение этой кривой записывается следующим образом:

$$r(\varphi) = \varphi^n, \quad (2.13)$$

где  $n$  – показатель степени.

Следовательно, уравнение искомой кривой будет иметь вид:

$$r(\varphi) = \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}}. \quad (2.14)$$

Таким образом, лопасть имеет вид геометрической фигуры, образованной степенной спиралью, ограниченной линией радиуса  $r$ , а ее форма будет зависеть от угла  $\varphi$ . Поэтому, регулируя эти величины, мы можем изменять форму лопасти в зависимости от конкретных условий, сохраняя при этом условие равномерного распределения. Графическое построение очертаний искомой фигуры лопасти показано на рис. 2.8.

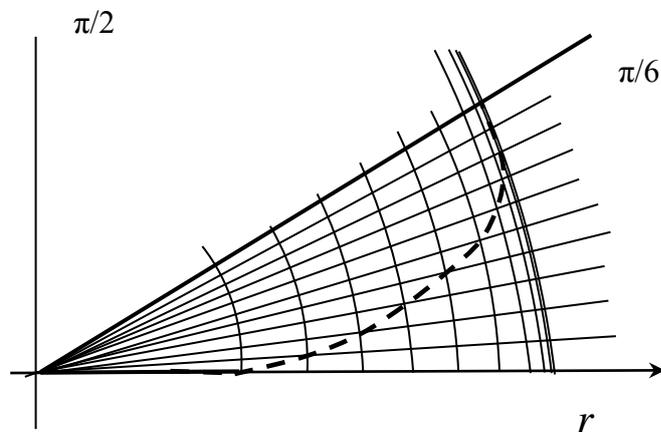


Рис. 2.8. Графическое построение геометрической формы лопасти при  $\varphi=\pi/6$

### 2.3.2. Определение величины угла атаки лопасти

Распределение материала происходит наиболее качественно при работе данного устройства, если лопасти будут постоянно и равномерно вращаться вокруг собственной оси с угловой скоростью  $\omega$ . Это возможно в случае возникновения крутящего момента, действующего на лопасти. Такой момент можно создать потоком движущегося по лопасти материала, если плоскость лопасти отклонить от горизонтального положения на угол  $\alpha$  относительно оси  $Ox$ .

Для того, чтобы материал равномерно распределялся по плоскости лопасти и была исключена его остановка или препятствие движению, необходимо плоскость, в которой находится лопасть, отклонить на угол  $\beta$  относительно оси  $Oy$ . Схема размещения рабочего органа в координатных осях представлена на рис. 2.9.

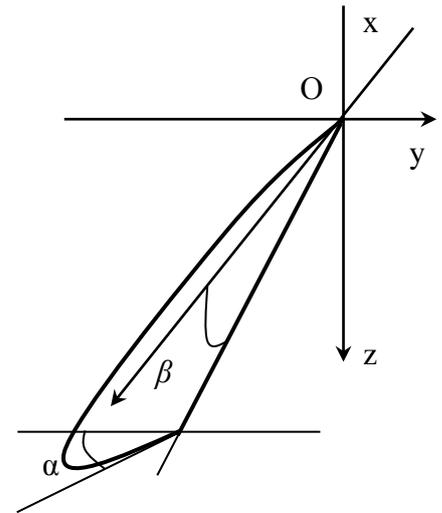


Рис. 2.9. Схема расположения рабочего органа

Следовательно, для определения оптимального режима работы устройства необходимо найти значения параметров  $\alpha$  (угол атаки лопасти) и  $\beta$  (угол наклона лопасти).

Рассмотрим силы, действующие на лопасть при движении по ней материала.

На элементарный объем материала будут действовать следующие

силы, показанные на рис. 2.10:

- $N$  – нормальная сила, Н;
- $F_{mp}$  – сила трения, Н;
- $F_T$  – сила тяги, Н;
- $G$  – сила тяжести, Н.

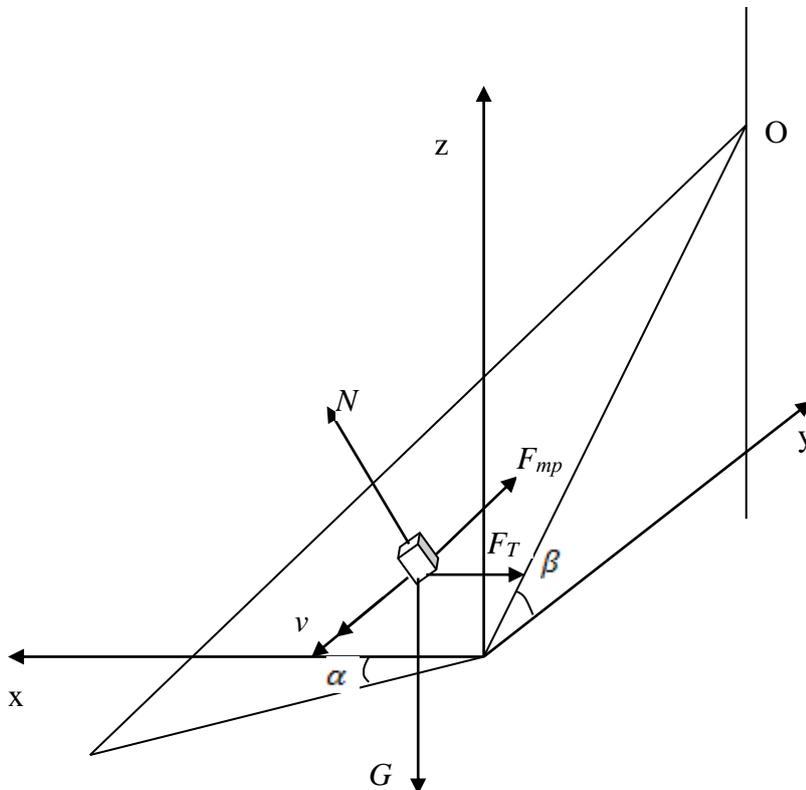


Рис. 2.10. Схема к расчету сил, действующих на движущийся по лопасти сыпучий материал

Для того, чтобы лопасть приобрела определенную угловую скорость, необходимо приложить момент силы  $M$ .

При этом должно выполняться следующее условие:

$$M \geq M_{\text{сопр}}, \text{ Нм} \quad (2.15)$$

где  $M_{\text{сопр}}$  – момент, возникающий от сопротивления движению лопасти, Нм.

Тяговый момент определяется по формуле:

$$M = F_T r, \text{ Нм} \quad (2.16)$$

где  $r$  - радиус лопасти, м.

В данной схеме мы имеем две переменные силу и расстояние, поэтому элементарный момент запишется:

$$dM = dF_T dr. \quad (2.17)$$

Силу тяги найдем, рассмотрев схему движения массы сыпучего тела по лопасти, показанной на рис. 2.10.

Выберем систему координат  $xuz$  и запишем уравнения равновесия:

$$\sum x = 0; \quad N \sin \alpha - F_{mp} \sin \alpha - F_T = 0; \quad (2.18)$$

$$\sum z = 0; \quad -G + N \cos \alpha \cos \beta - F_{mp} \cos \alpha \cos \beta = 0, \quad (2.19)$$

где  $\alpha$  - угол атаки лопасти, рад.

$\beta$  - угол наклона лопасти, рад.

Выразим  $F_{mp}$  через нормальное давление:

$$F_{mp} = Nf, \text{ Н} \quad (2.20)$$

где  $f$  – коэффициент внешнего трения.

Отсюда получим искомые уравнения для определения силы тяги:

$$F_T = N \sin \alpha - Nf \sin \alpha = N \sin \alpha (1 - f), \text{ Н}; \quad (2.21)$$

$$N = \frac{G}{\cos \alpha \cos \beta (1 + f)}, \text{ Н} \quad (2.22)$$

Подставив уравнение (2.21) в уравнение (2.22), получим:

$$F_T = \frac{G \sin \alpha (1 - f)}{\cos \beta (1 + f)}, \text{ Н} \quad (2.23)$$

При рассмотрении схемы с элементарной массой сыпучего материала, движущегося по лопасти, найдем элементарную силу тяги:

$$dF_T = \frac{dG \operatorname{tg} \alpha (1 - f)}{\cos \beta (1 + f)}. \quad (2.24)$$

Известно, что сила тяжести определяется по формуле:

$$dG = dm g, \quad (2.25)$$

где  $m$  – масса сыпучего материала, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Известно, что:

$$dm = dV \rho, \quad (2.26)$$

где  $V$  – объем материала, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Объем материала, участвующего при возникновении силы тяги, показан на рис. 2.11. Рассмотрим геометрические характеристики движущегося по лопасти слоя материала. Для этого представим плоскость лопасти и движущийся слой в цилиндрических координатах  $\varphi r z$ . Тогда объем представляет собой область, ограниченную плоскостями  $Ozr$ , образующей плоскостью от криволинейной грани лопасти, плоскостью лопасти и плоскостью поверхности слоя. Отсюда элементарный объем будет:

$$dV = dS h, \quad (2.27)$$

где  $S$  – площадь поверхности лопасти, м<sup>2</sup>;

$h$  – толщина слоя движущегося материала, м.

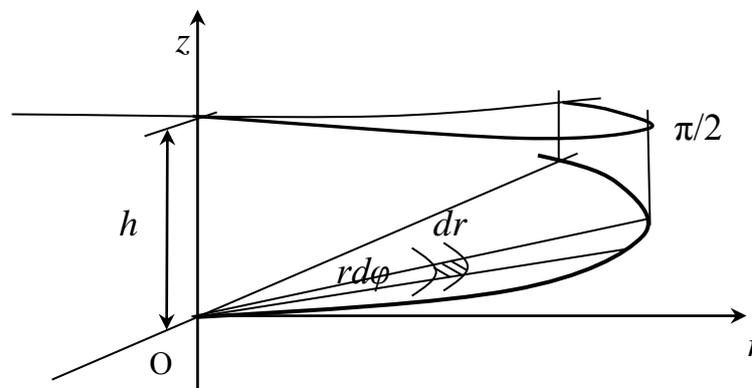


Рис. 2.11. Схема к определению геометрических параметров движущегося по лопасти слоя материала

Элементарная площадка участка лопасти находится из выражения:

$$dS = rd\varphi dr . \quad (2.28)$$

Толщина слоя на лопасти неравномерна и убывает с увеличением ее радиуса, так как подаваемый материал распространяется на большую площадь. Найдем толщину слоя из следующих соображений. Рассмотрим часть лопасти, на которую падает подаваемый материал. Она представляет собой сектор с углом вершины  $\gamma$  (рис. 2.12). Попавший на этот участок лопасти материал далее распространяется по всей площади лопасти. Потому, зная характеристику потока и геометрию лопасти, можем найти толщину слоя в зависимости от координаты лопасти. Имеем равенство расхода подаваемого материала и материала, распространяющегося по лопасти:

$$Q_n = Q_p , \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.29)$$

где  $Q_n$  - расход подаваемого материала,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_p$  - расход материала с лопасти,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Расход материала определяется по известной формуле:

$$Q = vS , \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.30)$$

где  $v$  – скорость движения материала в потоке,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$S$  – площадь сечения потока материала,  $\text{м}^2$ .

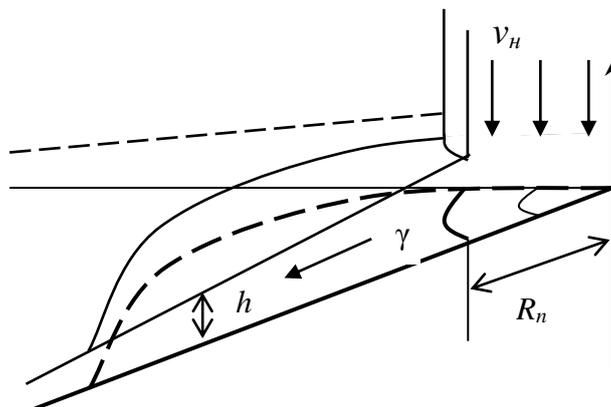


Рис. 2.12. Схема к определению  $h$

Скорость движения материала после его падения на лопасть будет:

$$v_p = v_n \sin \beta , \text{ м}/\text{с} \quad (2.31)$$

где  $v_n$  - скорость движения материала перед попаданием на лопасть, м/с;

$v_p$  - скорость движения материала после падения на лопасть, м/с.

Площадь сечения поступающего на лопасть потока можно определить:

$$S_n = \frac{\gamma}{2} R_n^2, \text{ м}^2 \quad (2.32)$$

где  $\gamma$  – угол основания лопасти, рад.;

$R_n$  – радиус сектора (равен половине диаметра потока), м.

Площадь сечения распределенного по лопасти потока равна:

$$S_p = lh, \text{ м}^2 \quad (2.33)$$

где  $l$  – длина дуги сектора, м.

Длина дуги сектора находится по формуле:

$$l = \frac{\gamma}{2} R_n, \text{ м} \quad (2.34)$$

Приравняв получившиеся выражения для расхода материала, имеем:

$$v_n \frac{\gamma}{2} R_n^2 = \gamma R_n h v_n \sin \beta, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.35)$$

Таким образом, получаем начальное значение толщины слоя материала на лопасти:

$$h_n = \frac{R_n^2}{2 \sin \beta}, \text{ м} \quad (2.36)$$

Текущее значение  $h$  найдем из равенства:

$$v_n \frac{\gamma}{2} R_n^2 = \gamma R_n h v_k, \quad (2.37)$$

где  $v_k$  - скорость движения материала по лопасти, м/с.

Скорость движения материала по лопасти  $v_k$  находим, решая систему из двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} v_k &= v_n \sin \beta + at \\ r &= v_n \sin \beta t + \frac{at^2}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (2.38)$$

где  $a$  - ускорение движения материала по лопасти, м/с<sup>2</sup>.

Ускорение движения материала по лопасти  $a$  можно определить из схемы на рис. 2.13. Т. к.  $F_{mp} = Nf$  имеем уравнение:

$$ma = mg \sin \beta - mgf \cos \beta, \text{ Н} \quad (2.39)$$

$$a = g(\sin \beta - f \cos \beta), \text{ м/с}^2 \quad (2.40)$$

Отсюда:

$$v_{\kappa} = \sqrt{2gr \cos \beta (tg \beta - f) + v_{\text{н}}^2 \sin^2 \beta}, \text{ м/с} \quad (2.41)$$

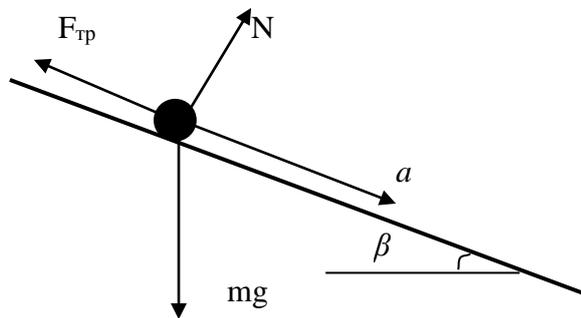


Рис. 2.13. Схема к определению ускорения  $a$

Тогда:

$$h_{\text{н}} = \frac{v_{\text{н}} R_{\text{н}}}{2\sqrt{2gr \cos \beta (tg \beta - f) + v_{\text{н}}^2 \sin^2 \beta}}, \text{ м} \quad (2.42)$$

Элементарный объем равен:

$$dV = \frac{v_{\text{н}} R_{\text{н}}}{2\sqrt{2gr \cos \beta (tg \beta - f) + v_{\text{н}}^2 \sin^2 \beta}} r d\varphi dr. \quad (2.43)$$

Отсюда с учетом формул (2.24), (2.25), (2.26):

$$dF_T = \frac{tg \alpha (1 - f) \rho g v_{\text{н}} R_{\text{н}} r}{2 \cos \beta (1 + f) \sqrt{2gr \cos \beta (tg \beta - f) + v_{\text{н}}^2 \sin^2 \beta}} d\varphi dr. \quad (2.44)$$

Момент силы тяги можно определить с помощью двойного интеграла:

$$M = \iint_s \frac{tg \alpha (1 - f) \rho g v_{\text{н}} R_{\text{н}} r \cdot r}{2 \cos \beta (1 + f) \sqrt{2gr \cos \beta (tg \beta - f) + v_{\text{н}}^2 \sin^2 \beta}} d\varphi dr, \text{ Нм} \quad (2.45)$$

Это выражение вычисляется определенным интегралом:

$$M = \frac{tg\alpha(1-f)\rho g v_n R_n}{2 \cos \beta (1+f)} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi \int_{r_1(\varphi)}^{r_2(\varphi)} \frac{r^2}{\sqrt{2g \cos \beta (tg\beta - f) \cdot r + v_n^2 \sin^2 \beta}} dr, \text{ Нм (2.46)}$$

Границы интегрирования  $\varphi_1 = 0, \varphi_2 = \varphi$  и  $r_1(\varphi) = 0, r_2(\varphi) = \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}}$ .

Получим момент:

$$M = \frac{tg\alpha(1-f) \cdot k_f \cdot \rho \cdot g \cdot v_n \cdot R_n}{2 \cos \beta (1+f)} \cdot \left[ \frac{1}{b_2^3} \cdot \left[ \frac{2}{5} \cdot \left( b_1 + b_2 \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}} \right)^{2.5} - \frac{4}{3} \cdot b_1 \left( b_1 + b_2 \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}} \right)^{1.5} + 2 \cdot b_1^2 \cdot \left( \sqrt{b_1 + b_2 \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{\pi}}} \right) \right] \right], \text{ Нм (2.47)}$$

где  $b_1 = v_n^2 \sin^2 \beta$

$b_2 = 2g \cos \beta (tg\beta - f)$ ;

$k_f$  - коэффициент трения, зависящий от изменения влажности.

Заменив в уравнении (2.47)  $M$  на  $M_{comp}$ , можно найти угол  $\alpha$  (угол атаки), необходимый для вращения лопастей устройства.

В этой формуле угол  $\varphi_2 - \varphi_1$  имеет значение  $\gamma$ .

Таким образом, из формулы (2.47) видно, что крутящий момент  $M$ , возникающий в результате движения материала по лопасти, зависит от плотности материала  $\rho$ , угла наклона лопасти  $\beta$ , угла атаки лопасти  $\alpha$ .

Анализируя формулу (2.47), видно, что с увеличением угла  $\alpha$  крутящий момент возрастает, а с увеличением угла  $\beta$  от 0 до  $\pi/4$  - уменьшается, далее опять увеличивается. Также из формул видно, что при значениях угла  $\beta$  близких к нулю крутящий момент стремится к бесконечности. Это отражает физический смысл того, что при этих значениях угла движение материала по лопасти не происходит, и возникает скачок давления. С увеличением угла основания лопасти  $\gamma$  момент увеличивается, т.к. увеличивается площадь самой лопасти и соответственно давление материала на лопасть также увеличивается.

### 2.3.3. Определение необходимого числа лопастей

Число лопастей, необходимое для эффективной работы устройства, можно определить, найдя функцию, описывающую оптимальную работу устройства. Данная функция должна иметь один экстремум. Для этого необходимо найти критерий оптимальности работы устройства. Одним из самых важных критериев работы загрузочного устройства является обеспечение равномерного заполнения загружаемой емкости. Равномерное заполнение может осуществляться, как говорилось выше, только при движении лопастей вокруг оси вращения. Вращающиеся пластины обеспечивают равномерный разброс материала по всей своей длине и площади вращения благодаря наличию угловой скорости. Равномерность также увеличится, если увеличить число лопастей, так как один и тот же поток в этом случае будет распределяться не по одной лопасти, а по нескольким. В связи с этим уменьшится толщина слоя засыпки насыпи за один проход, что приведет к увеличению точности засыпки.

Критерий оптимальности включает в себя две зависимости от одного и того же фактора – числа лопастей  $n$ . Представим данную функцию в виде:

$$E(n) = E_1(n) + E_2(n), \quad (2.48)$$

где  $E_1(n)$  - зависимость равномерности засыпки от числа рабочих органов;

$E_2(n)$  - зависимость простоты конструкции от числа лопастей;

$n$  - число лопастей.

Причем оптимум функции находится при минимальном значении критерия оптимизации. Функция  $E_1(n)$  представляет собой зависимость равномерности от числа рабочих органов. По вышеприведенным доводам можно выразить данную функцию в виде:

$$E_1(n) = k_1 n, \quad (2.49)$$

где  $k_1$  - коэффициент пропорциональности, определяющийся как оценка значимости данного процесса.

Значимость данного коэффициента тем больше, чем меньше его значение.

Функция  $E_2(n)$  представляет собой зависимость простоты конструкции от числа лопастей. Суть данной функции можно представить из формулы:

$$E_2(n) = k_2 \frac{1}{n}, \quad (2.50)$$

где  $k_2$  - коэффициент пропорциональности, показывающий значимость данного процесса.

Таким образом, подставляя выражения (2.49) и (2.50) в (2.48), получим искомую зависимость:

$$E(n) = k_1 n + \frac{k_2}{n}. \quad (2.51)$$

График данной функции представлен на рис. 2.14.

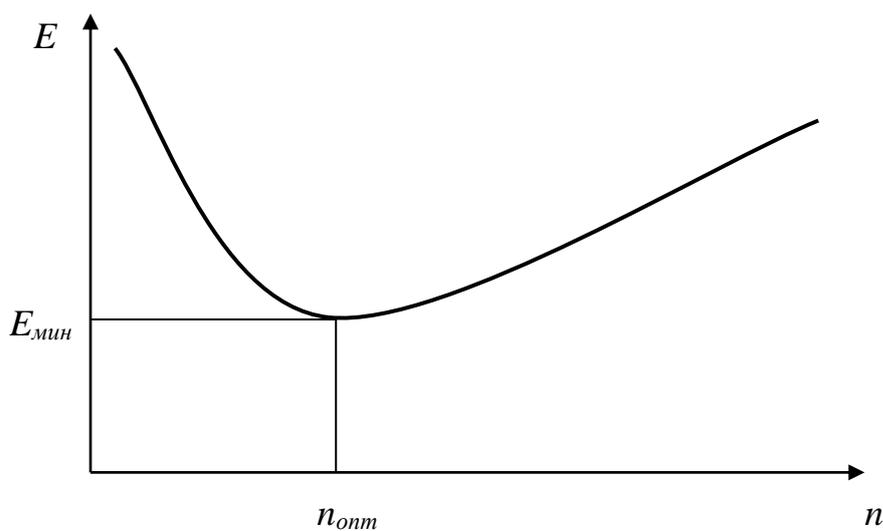


Рис. 2.14. График зависимости критерия оптимизации

Для того, чтобы найти экстремум этой функции, необходимо производную данной функции приравнять к нулю.

$$E'(n) = (k_1 n + \frac{k_2}{n})' = 0, \text{ отсюда получим } k_1 - \frac{k_2}{n^2} = 0 \text{ или } n = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}.$$

Таким образом, оптимальное число рабочих органов (лопастей) зависит от величины оценочных показателей значимости каждого критерия и определяется по формуле:

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}. \quad (2.52)$$

Так, по этой формуле при значении  $k_1=0,05$  и  $k_2=0,8$  оптимальное число рабочих органов будет равно четырем [35].

#### 2.3.4. Определение угла основания лопасти

Поток сыпучего материала, исходящий из подающего рукава, падает на основания лопастей и далее часть его распределяется по поверхности лопастей, а часть просыпается между их основаниями. Этот материал заполняет центральную часть емкости. Для того, чтобы выполнялось условие равномерности загрузки по всей площади емкости, необходимо, чтобы на единицу поверхности емкости приходилась одинаковая масса сыпучего материала как в центральной части, так и по периферии. Поэтому данное условие можно записать в виде выражения:

$$\frac{V_u}{S_u} = \frac{V_b}{S_b}, \quad (2.53)$$

где  $V_u, V_b$  – соответственно, объем материала, падающего в центральную и боковые части, м<sup>3</sup>;

$S_u, S_b$  – соответственно, площади центральной и боковой частей, м<sup>2</sup>.

Общий поток сыпучего материала имеет некоторый объем  $V_o$ , который разделяется на объем центральной и боковой части  $V_u, V_b$ . То есть имеем:

$$V_o = V_u + V_b, \text{ м}^3 \quad (2.54)$$

где  $V_o$  - объем общего потока материала, м<sup>3</sup>.

На основании формул (2.53) и (2.54) можем найти объем сыпучего материала, поступающего в центральную часть, решив систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \frac{V_u}{S_u} = \frac{V_o}{S_o} \\ V_o = V_u + V_o \end{cases} . \quad (2.55)$$

После решения получим:

$$V_u = V_o \left( 1 - \frac{1}{\frac{S_u}{S_o} + 1} \right), \text{ м}^3 \quad (2.56)$$

Рассмотрим круг диаметром  $D$ , равным диаметру потока материала, проходящего через этот круг, рис. 2.15. Для пропуска необходимого объема материала в единицу времени необходимо, чтобы часть площади этого круга пропускала сыпучий материал свободно. Эта часть площади равна площади сектора круга, ограниченного углом  $\gamma_o$ . Остальную часть площади составляют площади оснований лопастей.

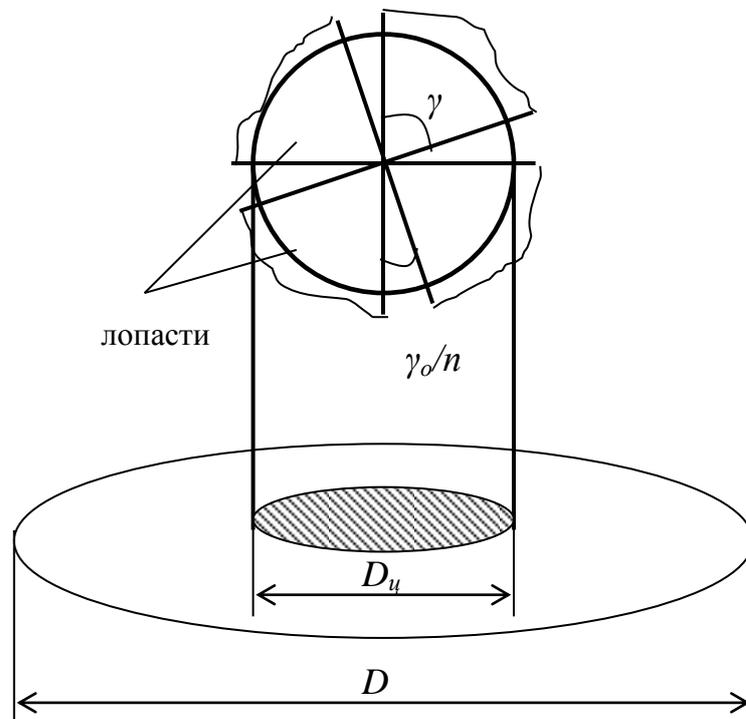


Рис. 2.15. Расчетная схема угла основания лопасти

Отсюда имеем:

$$\gamma_n = 2\pi - \gamma_0, \text{ рад.} \quad (2.57)$$

где  $\gamma_n$  - сумма углов основания лопастей, рад.;

$\gamma_0$  - сумма углов между лопастями, рад.

Таким образом, угол основания одной лопасти  $\gamma$  будет:

$$\gamma = \frac{2\pi - \gamma_0}{n}, \text{ град.} \quad (2.58)$$

Найдем  $\gamma_0$ , составив следующую пропорцию:

$$\frac{\gamma_0}{2\pi} = \frac{V_u}{V_0} \quad (2.59)$$

Подставив формулу (2.56) в (2.59), получим:

$$\gamma_0 = \left( 1 - \frac{1}{\frac{S_u}{S_0} + 1} \right) \cdot 2\pi, \text{ рад.} \quad (2.60)$$

Площади боковой и центральной части определяются по следующим формулам, соответственно:

$$S_0 = \frac{\pi(D - D_u)^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.61)$$

$$S_u = \frac{\pi D_u^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.62)$$

где  $D$ ,  $D_u$  - диаметр всей поверхности разброса и диаметр центральной части, соответственно, м.

Отсюда, после подстановки получим:

$$\gamma_0 = \left( 1 - \frac{1}{\frac{D_u^2}{(D - D_u)^2} + 1} \right) \cdot 2\pi, \text{ рад.} \quad (2.63)$$

Таким образом, на основании формулы (2.58) можно определить величину угла основания лопасти. Так, если число лопастей 4, а диаметр потока равен 0,5 м, диаметр загрузки 3 м, то угол основания лопасти будет равен 1,5 рад.

### 2.3.5. Определение длины и угла наклона лопасти

Оптимальная длина рабочего органа и угол наклона лопасти в значительной степени влияют на эффективность работы загрузочного устройства. Оптимальное распределение сыпучего материала по лопасти и, соответственно, равномерная загрузка необходимой площади будет обеспечиваться при равномерном движении его по поверхности рабочего органа, т. е. начальная скорость движения материала по лопасти  $v_n$  должна быть равна конечной скорости движения сыпучего материала  $v_k$  до момента его падения с лопасти. Также угол должен принимать наименьшее значение по условию минимального занятия полезного пространства емкости. Длину лопасти найдем из следующих соображений. Рассмотрим рис. 2.16, из которого видно, что радиус  $R$  необходимой площади засыпки равен:

$$R = a + d, \text{ м} \quad (2.64)$$

где  $a$  - проекция лопасти на ось  $x$ , м;

$d$  - проекция траектории падения частицы на ось  $x$ , м.

Проекция лопасти на ось  $x$  будет равна  $a = l_n \cos \beta$  ( $l_n$  - длина лопасти, м) тогда:

$$R = l_n \cos \beta + d, \text{ м} \quad (2.65)$$

Откуда искомая длина будет:

$$l_n = \frac{R - d}{\cos \beta}, \text{ м} \quad (2.66)$$

Найдем расстояние свободного падения частицы из следующих соображений.

Начиная с точки  $A$ , сыпучая масса свободно падает как тело, брошенное со скоростью  $v_k$ .

Уравнение движения в координатных осях  $xu$  имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} d &= v_x t \\ H &= v_y t + \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.67)$$

где  $v_x$  - проекция скорости движения на ось  $x$ , м/с;

$v_y$  - проекция скорости движения на ось  $y$ , м/с;

$t$  - время движения частицы, с;

$H$  - высота падения материала с лопасти, м.

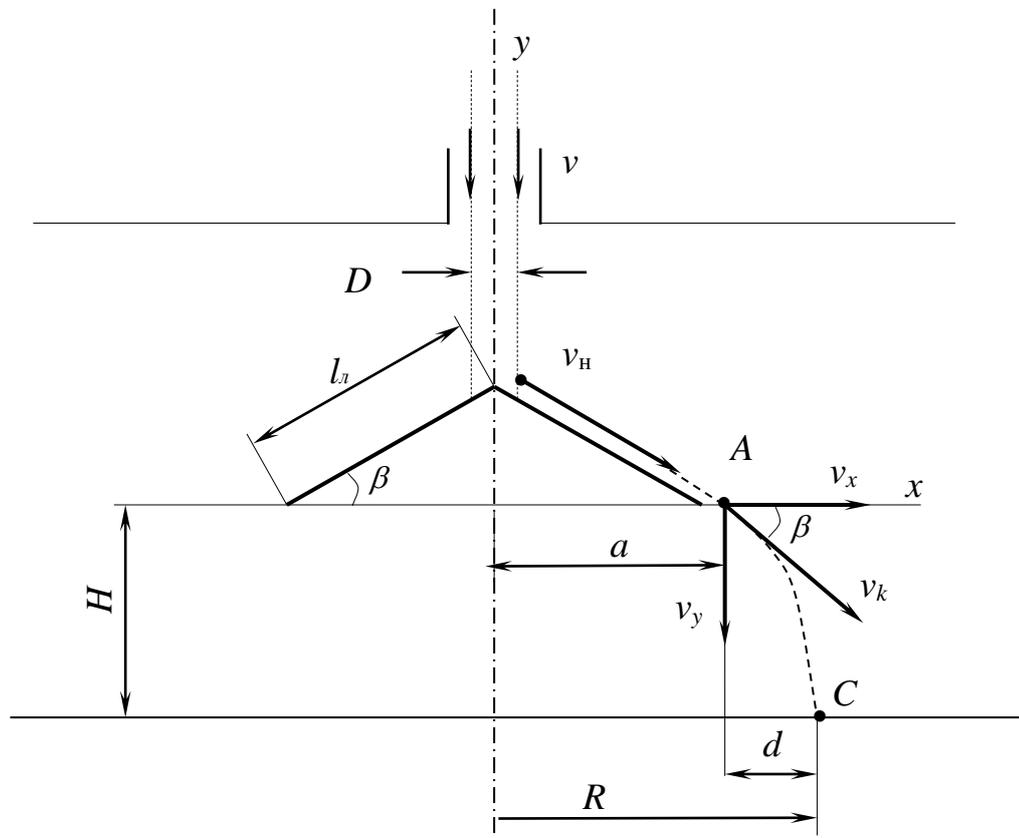


Рис. 2.16. Расчетная схема длины лопасти

Равенство (2.67, б) является квадратным уравнением относительно  $t$ . Решая его и учитывая, что имеет смысл только положительное значение корня, находим:

$$t = \frac{\sqrt{2gH + v_y^2} - v_y}{g}, \text{ с} \quad (2.68)$$

После подстановки (2.68) в (2.67, а) и замены:

$$v_x = v_k \cos \beta, v_y = v_k \sin \beta, \text{ м/с} \quad (2.69)$$

Находим величину отклонения частиц сыпучего материала от вертикальной оси емкости:

$$d = \frac{v_k c \cos \beta}{g} \left( \sqrt{2gH + v_k^2 \sin^2 \beta} - v_k \sin \beta \right), \text{ м} \quad (2.70)$$

Начальная скорость движения материала по поверхности лопасти равна:

$$v_n = v \cdot \sin \beta, \text{ м/с} \quad (2.71)$$

После поступления материала на лопасть работа сил его тяжести затрачивается на приращение кинетической энергии и работу трения, поэтому имеем:

$$Q_p g l_n d \sin \beta = Q_p g l_n f \cos \beta + \frac{Q_p}{2} (v_k^2 - v_n^2), \quad (2.72)$$

Преобразуем данное выражение, разделив его на  $Q_p g l_n d \sin \beta$ .  
Получим:

$$\operatorname{tg} \beta = f + \frac{v_k^2 - v_n^2}{2 g l_n \cos \beta}, \text{ рад.} \quad (2.73)$$

Так как  $l_n \cos \beta = a$ , то:

$$\operatorname{tg} \beta = f + \frac{v_k^2 - v_n^2}{2 g a}, \text{ рад.} \quad (2.74)$$

Выражая из (2.74) конечную скорость, найдем:

$$v_k = \sqrt{2 g l_n \cos \beta (\operatorname{tg} \beta - f) + v_n^2}, \text{ м/с} \quad (2.75)$$

Анализируя выражения (2.74) и (2.75), можно сделать вывод, что при  $v_k = v_n$  -  $\beta = \beta_0 = \operatorname{arctg} f$ . Для ускоренного движения ( $v_k > v_n$ ) должно выполняться условие  $\beta > \beta_0$ , т. е. угол наклона лопасти должен быть больше угла трения груза о материал устройства.

Исходя из вышеизложенного, длина рабочего органа после некоторых преобразований найдется по следующей формуле:

$$l_n = \frac{R}{\cos \beta} + \frac{v \sin \beta}{g} (\sqrt{2gH + v^2 \sin^3 \beta} - v \sin^2 \beta), \text{ м} \quad (2.76)$$

Таким образом, необходимый угол наклона рабочего органа загрузочного устройства определяется как  $\beta = \arctg f$ , и при  $f=0,35$  для зерновых материалов равен 0,35 рад. При загрузке мобильной емкости с размерами  $R=1,5$  м,  $H=3$  м, при угле  $\beta=0,35$  рад., скорости потока  $v=0,5$  м/с, длина лопасти ( $l_n$ ) примет значение, равное 1,2 м.

## 2.4. Выводы по второй главе

В результате теоретических исследований были получены следующие результаты:

- рассмотрена конструкция предлагаемого энергосберегающего загрузочно-распределительного устройства, позволяющего равномерно распределить сыпучий материал по сечению емкости;
- предложена параметрическая модель функционирования емкостей для компонентов комбикорма;
- обоснована форма лопасти загрузочного устройства, которая имеет вид геометрической фигуры, образованной степенной спиралью, ограниченной линией радиуса;
- определена величина угла атаки лопасти, который зависит от крутящего момента, возникающего в результате движения материала по лопасти;
- определено необходимое число лопастей, которое зависит от величины оценочных показателей значимости каждого критерия;
- определен угол основания лопасти, который зависит от числа лопастей и угла между лопастями;

- определен угол наклона лопасти, который зависит от коэффициента внешнего трения материала;

- определена длина лопасти, которая зависит от радиуса необходимой площади засыпки, высоты падения материала, угла наклона относительно лопасти и от скорости потока.

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

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

Экспериментальные исследования необходимы для уточнения и получения конкретных значений параметров загрузочно-распределительного устройства, а также определения других параметров конструкции и необходимых режимов ее работы.

Для подтверждения теоретических положений, определения некоторых величин, входящих в формулы, выявления характера функционирования загрузочно-распределительного устройства, были проведены экспериментальные исследования.

Программа экспериментальных исследований предполагает два этапа.

1. Качественный анализ работы конструкции загрузочно-распределительного устройства.
2. Исследования конструкции для определения оптимальных режимов ее работы и необходимых геометрических параметров, предполагающих вариацию этих параметров и свойств материала.

По результатам каждого этапа проводится анализ, делаются необходимые выводы.

Экспериментальные исследования проводились поэтапно в соответствии с программой и в определенной последовательности:

1. Разработка и изготовление экспериментально-лабораторного образца загрузочно-распределительного устройства с учетом результатов теоретических исследований.
2. Подготовка измерительной аппаратуры и материалов для исследования.
3. Проведение экспериментов и анализ их результатов.

4. Изготовление производственного образца загрузочно-распределительного устройства и апробирование его на одном из сельскохозяйственных предприятий.

### 3.2. Общая методика экспериментальных исследований

Анализ данных технической литературы, патентной информации, теоретических исследований в соответствии с предложенной программой позволили проводить экспериментальные исследования поэтапно в следующей последовательности:

- разработка и усовершенствование лабораторных и производственных образцов рабочих органов загрузочно-распределительного устройства;
- разработка методик экспериментальных исследований;
- проведение и анализ экспериментальных исследований.

В основе методики проведения экспериментов лежит исследование влияния отдельных изменяемых факторов на показатели работы устройства при сохранении постоянными всех остальных факторов (однофакторный эксперимент). Изучение степени влияния отдельных факторов на оценочные показатели работы устройства позволило выявить основные определяющие изменения пропускной способности емкостей и затрат энергии на осуществление выпуска материала.

Число опытов и их повторяемость определялись по общепринятым методикам [42, 71, 88, 118]. Для аналитического выражения экспериментальных зависимостей применялся метод наименьших квадратов. Среднее арифметическое значение принималось как наиболее вероятное из каждой последовательности значений  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  измеряемых величин:

$$\overline{X}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.1)$$

где  $X_i$  - значение, вариант замеров;

$n$  – суммарное число всех отдельных измерений.

Наибольшая ошибка средней арифметической измерений  $\Delta \overline{X}_{cp}$  оценивалась среднеквадратичным отклонением случайной величины  $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X}_{cp})^2}{n-1}}. \quad (3.2)$$

Окончательный результат измерений составил:

$$X = \overline{X}_{cp} \pm \Delta \overline{X}_{cp}. \quad (3.3)$$

Относительная ошибка результатов измерений оценивалась выражением:

$$\Delta = \frac{\Delta \overline{X}_{cp}}{\overline{X}_{cp}} 100, \% \quad (3.4)$$

Исключение ошибочных результатов опытов при обработке осуществлялось с использованием критерия Стьюдента ( $t$ -критерия) [71] при уровне значимости 5% и 4-х степенях свободы при следующем условии

$$\frac{X_i - \overline{X}_{cp}}{\sigma} \geq t. \quad (3.5)$$

При проведении экспериментов использовалось следующее оборудование и приборы: весы технические РН-10Ц13У, весы лабораторные квадратурные ВЛГК-500г-М, ситовый классификатор, масштабная линейка, электронный секундомер. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований осуществлялась посредством статических методов с привлечением ПЭВМ.

### **3.3. Общее устройство экспериментальной установки загрузочно-распределительного устройства**

Для исследований конструктивно-технологических параметров загрузочно-распределительного устройства была изготовлена следующая конструкция, изображение которой приведено на рис. 3.1, 3.2.

Данное устройство состоит из бункера 1, исполненного жестко фиксированным на стойках. В нижней части бункера 1 смонтирована воронка бункера 2, по центру которой крепится ось распределительного устройства 3. В нижней части оси фиксируется ограничитель 4 для лопастей 5. Данная конструкция выполнена в масштабе 1:1 для технологических линий, где требуется применять такую установку.

Установка работает следующим образом. В бункер 1 подается сыпучий материал и аккумулируется в его нижней части, постепенно попадая в выгрузную воронку 2. Сужение воронки формирует поток вытекающего материала, который, истекая из воронки, попадает на лопасти 5, приводя их во вращение. При вращении лопастей падающий поток материала рассеивается по периметру определенной площади, тем самым распределяя материал и не давая осуществляться сегрегационным процессам.

Настоящая экспериментальная установка имеет следующие геометрические размеры:

- высота бункера – 700 мм;
- диаметр емкости бункера – 800 мм;
- высота воронки – 250 мм;
- диаметр выпускного отверстия воронки – 200 мм.



Рис. 3.1. Общий вид экспериментального загрузочно-распределительного устройства: 1- бункер; 2- воронка бункера; 3- ось распределительного устройства; 4- ограничитель; 5- лопасти

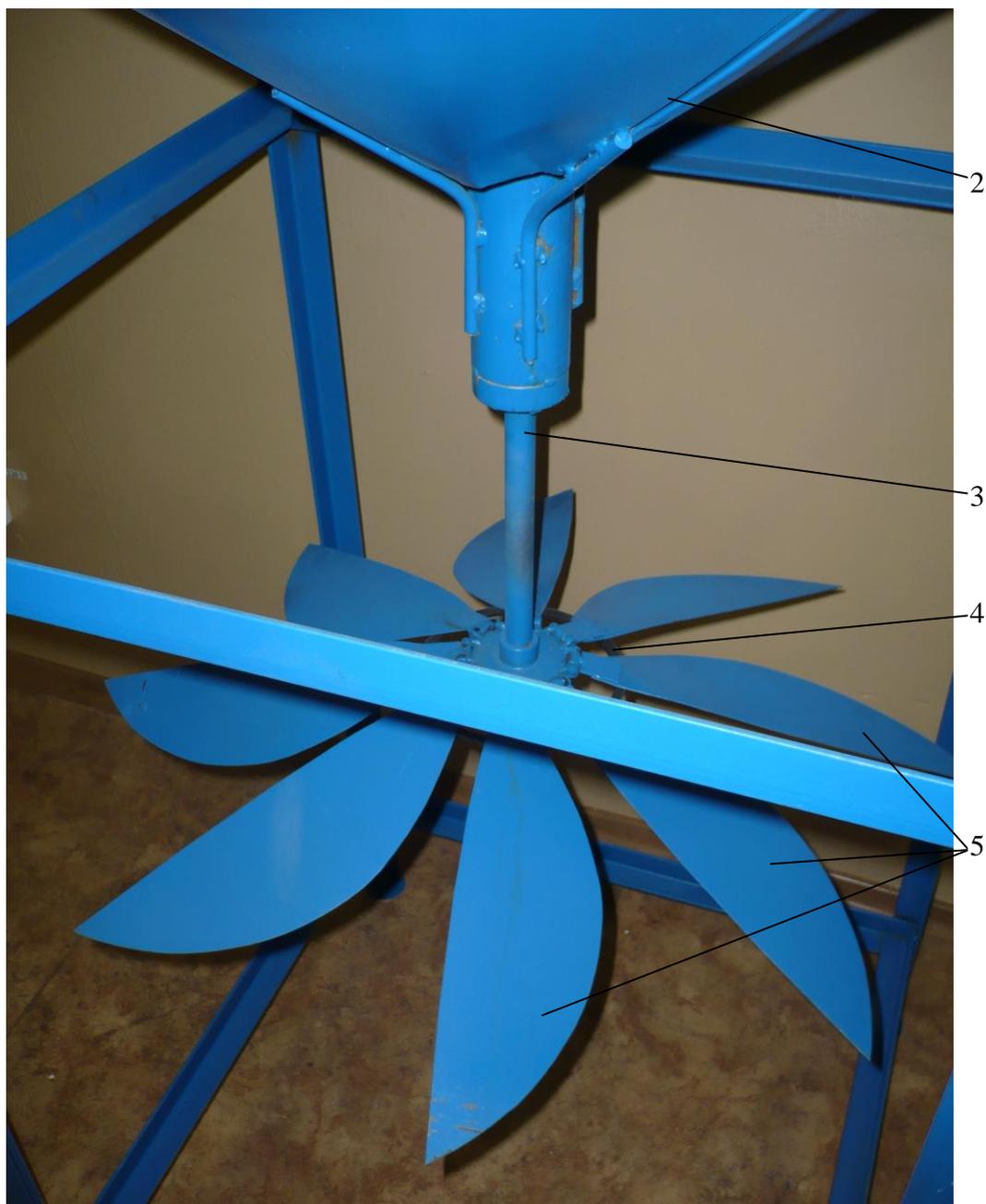


Рис. 3.2. Вид на лопасти распределительного устройства: 2- воронка бункера; 3- ось распределительного устройства; 4- ограничитель; 5- лопасти

### 3.4. Устройство и разновидности рабочих органов распределительного устройства, используемых в экспериментах

Для проведения экспериментов были изготовлены комплекты рабочих органов загрузочно-распределительного устройства с различными геометрическими параметрами.

#### 3.4.1. Угол наклона лопасти

На рис. 3.3. приведены углы наклона исследуемых лопастей. Так, при разных положениях рассматриваемых углов установки лопастей менялся, соответственно, и диаметр охвата распределительного периметра лопастей. Также меняются геометрические параметры в горизонтальной плоскости. Все изменяемые параметры занесены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. – Геометрические параметры

Угол наклона лопасти, в град.	Диаметр охвата распределительных лопастей, мм	Угол атаки лопасти, в град.	Размер горизонтальной проекции лопасти, мм
10°	720	10°	98
15 °	710	15 °	96
20 °	700	20 °	94
25 °	690	25 °	90
30 °	650	30 °	86
35 °	600	35 °	82

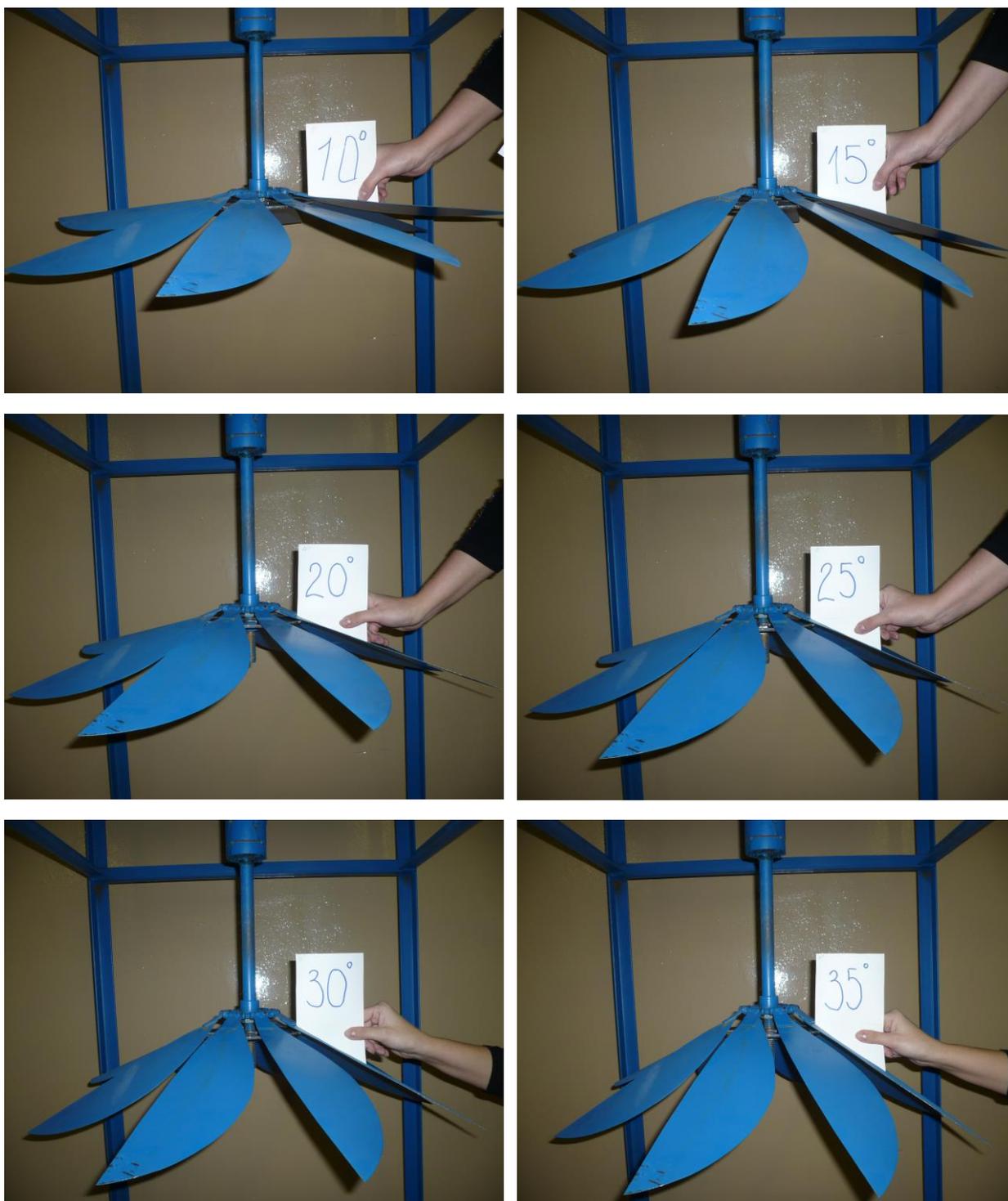


Рис. 3.3. Вид на изменение угла установки лопасти по отношению к вертикальной плоскости

### 3.4.2. Угол атаки лопасти

Также подвергался изменению угол атаки лопасти (см. рис. 3.4.), т.е. лопасть изменяла свое расположение по отношению к встречному потоку попадающего на нее материала.

Изменяемость угла установки лопасти по отношению к атаке материала составила от  $10^{\circ}$  до  $35^{\circ}$  с интервалом в  $5^{\circ}$ .

### 3.4.3. Число устанавливаемых лопастей

Число лопастей изменяли в следующем порядке. Первоначально планировалось проводить исследования, начиная с двух лопастей. Однако, данные исследования не удалось провести, так как вращения лопастей в процессе выпуска материала не последовало. Поэтому данные исследования не вошли в официальные результаты экспериментов.

Далее были изготовлены три, четыре, шесть и восемь лопастей.

Эти варианты лопастей формировались в единый узел рабочего органа распределительного устройства и последовательно использовались в испытаниях.

### 3.4.4. Разная шероховатость поверхности лопасти загрузочно- распределительного устройства

В качестве материала, изменяющего шероховатость рабочей поверхности лопасти, была взята наждачная бумага для хозяйственных нужд. Так, были использованы следующие рабочие поверхности лопасти:

- естественная поверхность крашеной лопасти;
- поверхность с бумагой P150;

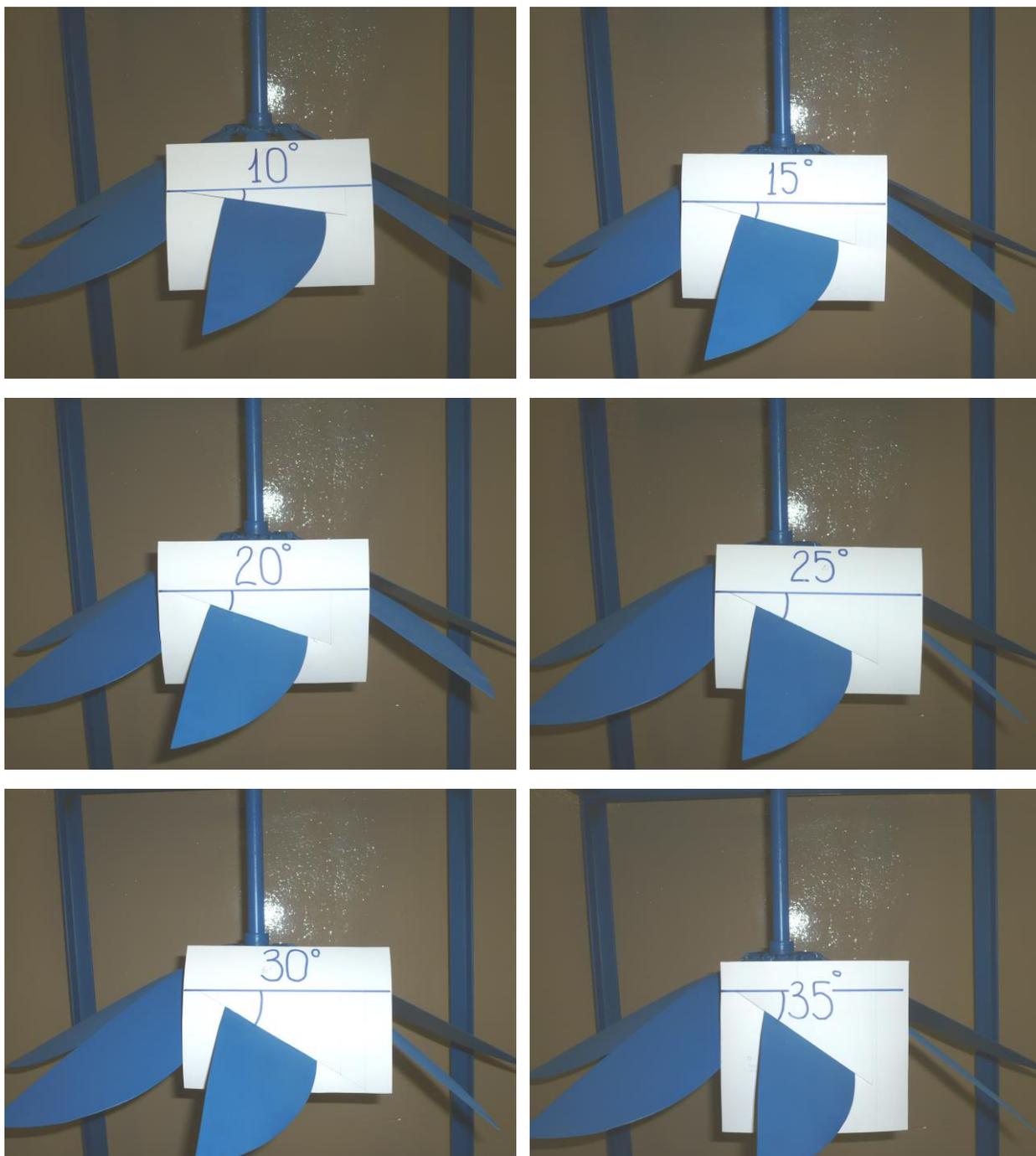


Рис. 3.4. Вид на изменение угла атаки лопасти

- поверхность с бумагой P100;
- поверхность с бумагой P40.

Наждачная бумага наклеивались на рабочую поверхность лопасти.

#### 3.4.5. Изменение диаметра выходного отверстия воронки

Изменение диаметра выходного отверстия воронки осуществлялось методом крепления на самую широкую горловину воронки сужающих элементов, изготовленных в виде малых воронок. Воронки изготавливались из плотной бумаги и крепились на конструкцию воронки клеем. Диаметр выходного отверстия воронки принимался 150, 200, 250, 300 мм.

#### 3.4.6. Изменение высоты сброса материала на рабочую поверхность лопастей распределительного органа

Для формирования рабочей струи материала, способной привести в движение лопасти распределительного устройства, в экспериментах менялась высота сброса материала. Так, установка имела возможность конструктивно изменять высоту подачи материала от 500 мм до 1500 мм. Применение сужающе - стабилизирующих поток элементов ни к каким видимым результатам не привели.

### **3.5. Характеристика материалов, используемых в исследованиях**

Опыты проводились на компонентах комбикормов, которыми располагает Самарский комбикормовый завод.

Исследования функционирования загрузочно-распределительного устройства проводились на выпуске материалов со следующими свойствами:

- отруби влажностью до 16 %, насыпной плотностью 268 кг/м<sup>3</sup>;
- мясокостная мука влажностью 11%, насыпной плотностью 435 кг/м<sup>3</sup>;

- мел дисперсный влажностью до 12 %, насыпной плотностью 519 кг/м<sup>3</sup>.

Фракционный состав мясокостной муки, мела и отрубей отвечал стандартам.

Отруби были получены в результате производства муки на ЗАО «Самарские мельницы».

Все материалы проходили проверку на соответствие предъявляемым к ним требованиям по влажности и гранулометрическому составу. В соответствии с этими требованиями, фракции исследуемых материалов класса 3...2 мм не должны превышать 5%, а фракции класса 4...3 мм не должны превышать 1% от общей массы совокупности всех фракций.

### **3.6. Методика экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования выполнялись в следующем порядке:

- определение высоты подачи материала на лопасти распределительного устройства;
- определение диаметра воронки подающего материал на лопасти распределительного устройства;
- определение угла наклона лопасти;
- определение угла атаки лопасти;
- изменение числа рабочих лопастей распределительного устройства;
- изменение шероховатости рабочей поверхности лопасти распределительного устройства.

Опыты проводились на одном материале, затем испытуемый материал менялся, и приведенный выше порядок исследования повторялся.

На всех видах материала проводились замеры скорости вращения лопастей (рис. 3.5.). Для этого кончик рабочей поверхности лопасти выделялся цветом, и определялась отметка прохождения полного круга

лопастью на стойке лабораторной установки. Замеры проводились с помощью секундомера.



Рис. 3.5. Вид на замер скорости вращения лопастей

### **3.7. Оценка достоверности результатов**

Повторность и число опытов устанавливались согласно общепринятым рекомендациям [42, 71, 88, 118].

Оценка достоверности результатов экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики по критерию Стьюдента [71].

### 3.8. Результаты экспериментальных исследований

#### 3.8.1. Влияние угла наклона лопасти на диаметр разброса материала

Для проведения эксперимента были изготовлены лопасти разного уровня наклона (от  $10^\circ$  до  $35^\circ$ , с шагом  $5^\circ$ ).

В результате длительного начального отбора первых испытуемых показателей были выставлены следующие параметры установки. Угол атаки лопастей составил  $20^\circ$ . Данные показатели были выставлены интуитивно и показали наиболее стабильные результаты. Число лопастей на оси изменялось от 3 до 8 шт. На трех, на шести и восьми лопастях наблюдалось значительное уменьшение диаметра разброса, поэтому оптимальным числом лопастей на валу загрузочно-распределительного устройства является 4. Высота подачи материала составляла 1000 мм.

В результате таких предварительных показателей испытуемой установки были получены следующие результаты влияния угла наклона лопасти на диаметр разброса материала (см. рис. 3.6).

Необходимо отметить следующее. При проведении эксперимента все испытуемые материалы вели себя максимально стабильно по отношению результативности получаемых показателей. В результате все кривые зависимостей совпали почти в одну линию. Это объясняется тем, что угол атаки лопасти, равный  $20^\circ$ , позволил максимально приблизить возможность вращения лопастей при подаче материала. В результате чего, рабочая ось, с расположенными на ней лопастями, сразу пришла в движение и стала показывать указанные на рис. 3.6. показатели.

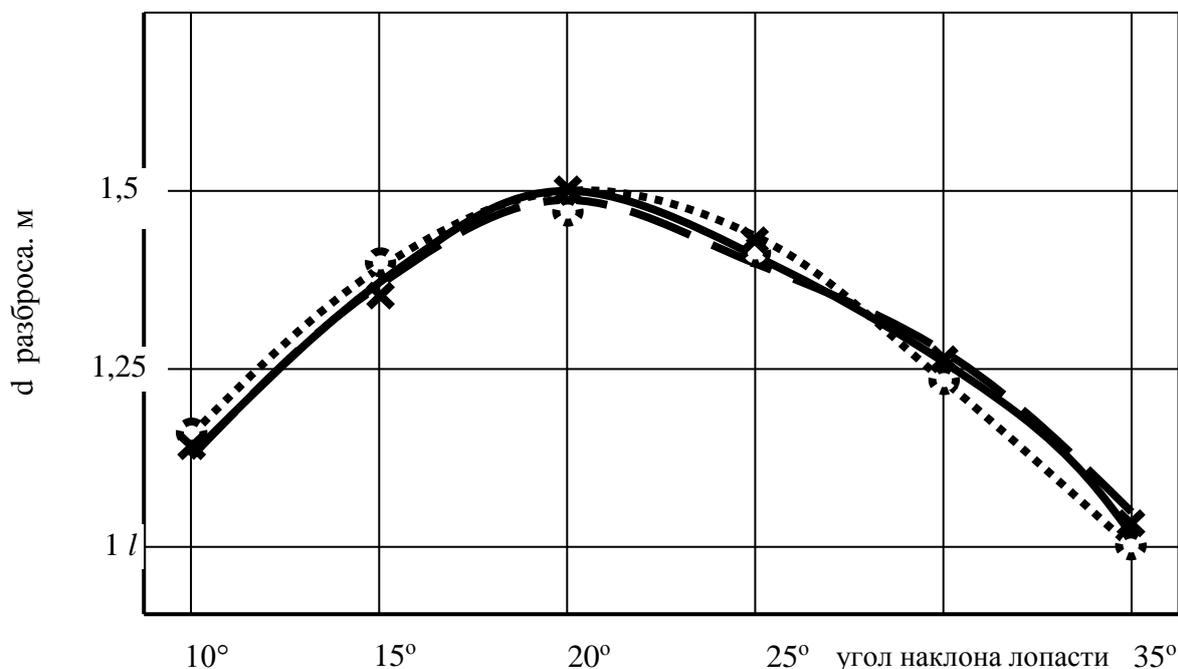


Рис. 3.6. Зависимости влияния угла наклона лопасти на диаметр разброса материала:

— мел; - - - отруби; ····· мясокостная мука

Так, стало очевидным, что установка лопасти на  $20^\circ$  стала переломной точкой в определении оптимальных показателей разброса испытуемых материалов. С дальнейшим увеличением угла установки лопастей наблюдалось стабильное уменьшение радиуса разброса материала. Это объясняется тем, что материал прекращал разбрасываться по периметру, а стабильно скатывался с рабочей поверхности лопасти.

Таким образом, в результате эксперимента были получены следующие результаты оптимальной стабильности функционирования исследуемой установки. Устойчивым показателем можно принять угол наклона лопасти  $20^\circ$ .

### 3.8.2. Влияние угла атаки лопасти на диаметр разброса материала

Для проведения эксперимента были изготовлены лопасти с разным углом атаки (от  $10^\circ$  до  $35^\circ$ , с шагом  $5^\circ$ ).

При испытаниях были выставлены следующие параметры установки. Угол наклона лопастей составил  $20^\circ$ . Число лопастей на оси изменялось от 3 до 8 шт. На трех, на шести и восьми лопастях наблюдалось значительное уменьшение диаметра разброса, поэтому оптимальным числом лопастей на валу загрузочно-распределительного устройства является 4. Высота подачи материала составляла 600 мм.

Необходимо отметить следующий стабильный показатель для всех испытуемых материалов. При установке угла атаки лопасти на  $10^\circ$  ни один испытуемый материал не показал стабильного результата. Было отмечено, что материал ложился на поверхность лопастей, не придавая им импульса движения. Также вели себя мел и мясокостная мука при установке угла рабочего органа на  $15^\circ$ . При таких технических параметрах отруби показали следующие результаты (см. рис.3.7).

Стабильным показателем активности испытуемого образца можно принять  $20^\circ$ , т.к. при этих показателях все испытуемые материалы показали определенные результаты. Так, отруби показали самый оптимальный результат на этом уровне установки лопасти. В дальнейшем наблюдалось только падение показателей за счет того, что испытуемый материал при каждом понижении угла атаки только быстрее стекал с лопасти. Такой же эффект наблюдался и на других испытуемых материалах.

Таким образом, в результате эксперимента были получены следующие результаты оптимальной стабильности функционирования исследуемой установки. Устойчивым показателем можно принять угол атаки лопасти  $20^\circ$ .

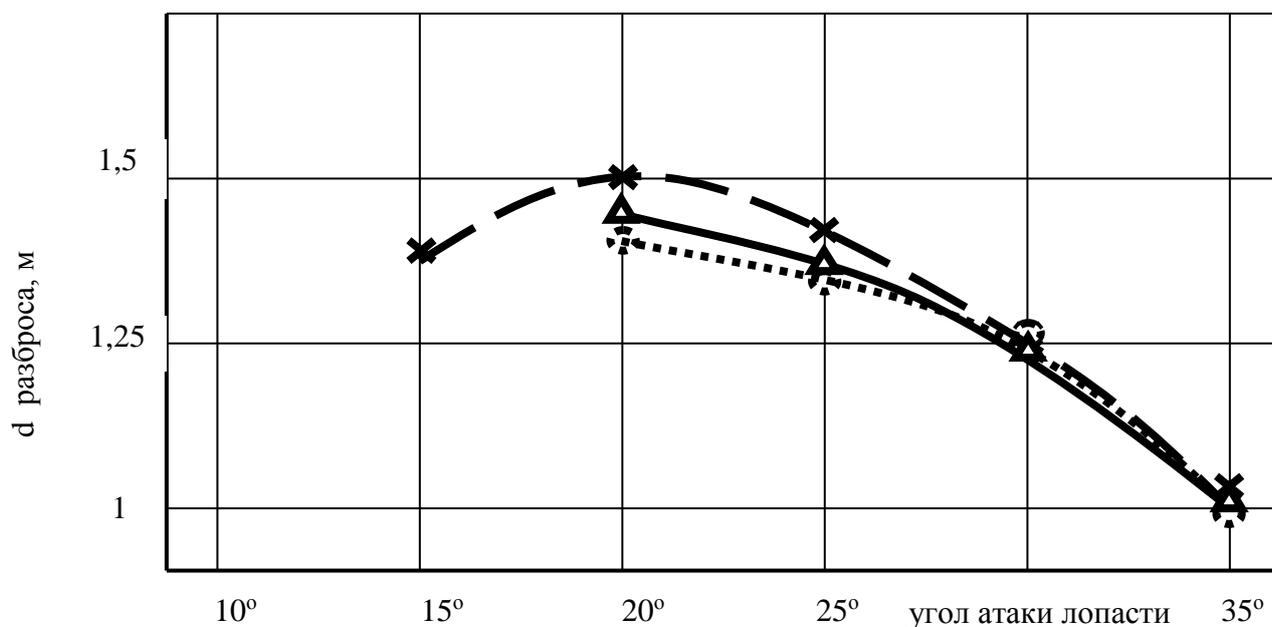


Рис. 3.7. Зависимости влияния угла атаки лопасти на диаметр разброса материала:

— мел; — — отруби; ..... мясокостная мука

### 3.8.3. Влияние числа лопастей на диаметр разброса материала

Для проведения эксперимента были изготовлены комплекты распределительных лопастей из трех, четырех, шести и восьми штук.

Расчетной единицей для измерения разброса материала была взята величина диаметра лопастей. Дальнейшее разбрасывание материала измерялось в пропорциональном соотношении от этого диаметра. Так, для всех материалов был получен приблизительно равный результат, который отражен на рис.3.8.

Из графика видно, что при наличии трех лопастей испытуемый материал распределялся на 1,25 м. Это объясняется тем, что такое число лопастей увеличивает свободное пространство между ними, и частицы материала проходили сквозь промежутки между лопастями.

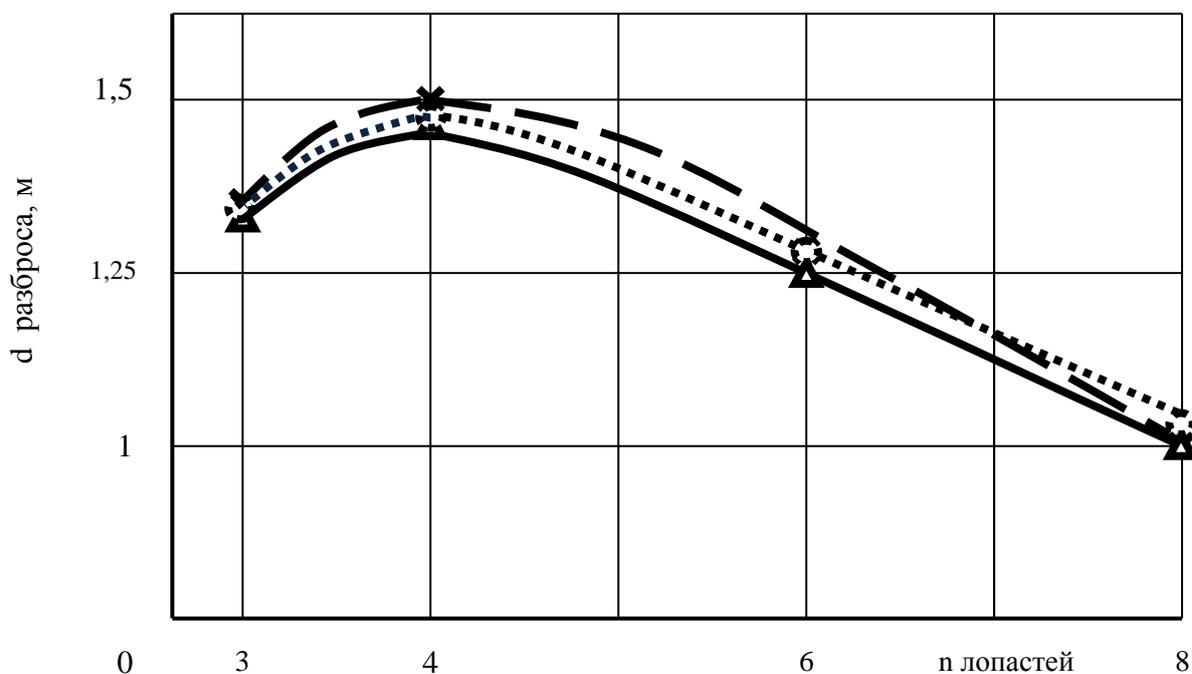


Рис. 3.8. Зависимости влияния числа лопастей на диаметр разброса материала:  
 — мел; — — отруби; ..... мясокостная мука

При наличии четырех лопастей диаметр разброса увеличился до 1,5 м. Это обосновывается тем, что материал, поступая на лопасти, равномерно распределялся по ним и, получая импульс, отлетал на указанное выше расстояние.

Конструкция с пятью и семью лопастями не использовалась по причине сложности точного расположения лопастей на несущей оси.

При наличии шести и восьми лопастей наблюдалось резкое падение диаметра разброса материала. На шести лопастях материал стал задерживаться из-за того, что не успевал проходить сквозь промежутки между лопастями. Тем самым, частицы материала стали задерживаться на поверхности лопастей и мешать друг другу при распределении.

При использовании восьми лопастей диаметр разброса материала уменьшился до размера диаметра рабочей поверхности лопасти. В действительности материал переставал проходить через промежутки между

лопастями, и, скатываясь по образовавшейся «шапке» из уже застрявшего материала, падал вниз.

Таким образом, оптимальным числом распределительных лопастей на предлагаемом устройстве можно утвердить четыре. По результатам исследований принципиальной разницы не наблюдалось из-за незначительных результатов разброса материала [85,86].

#### 3.8.4. Влияние шероховатости поверхности лопасти загрузочно-распределительного устройства на диаметр разброса материала

В опытах были использованы следующие рабочие поверхности лопасти: крашеная лопасть; поверхность с бумагой P150; поверхность с бумагой P100; поверхность с бумагой P40.

В результате проведенных испытаний были получены следующие результаты. Все виды поверхности, покрытые наждачной бумагой разной плотности, показали себя в эксплуатации весьма негативно, т.к. создавали дополнительное сопротивление при скольжении материала. Скольжение материала с лопасти препятствовало свободному распределению примерно на  $\frac{1}{4}$  по отношению к поверхности с крашеной структурой при тех же условиях подачи материала.

Таким образом, для оптимального распределения материала на испытываемой установке лучше использовать крашеную поверхность лопастей.

#### 3.8.5. Влияние диаметра выходного отверстия воронки на диаметр разброса материала

Настоящее исследование проводилось на всех испытываемых материалах. Однако, как видно на рис. 3.9., кривые абсолютно совпали.

При испытаниях были выставлены следующие параметры установки. Угол атаки лопасти составил  $20^\circ$ . Угол наклона лопасти в составил  $25^\circ$ . Число лопастей на оси – 4 шт.

Число испытываемых воронок составило четыре варианта:  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  (150, 200, 250, 300 мм).

В результате исследований была получена следующая зависимость (см. рис. 3.9).

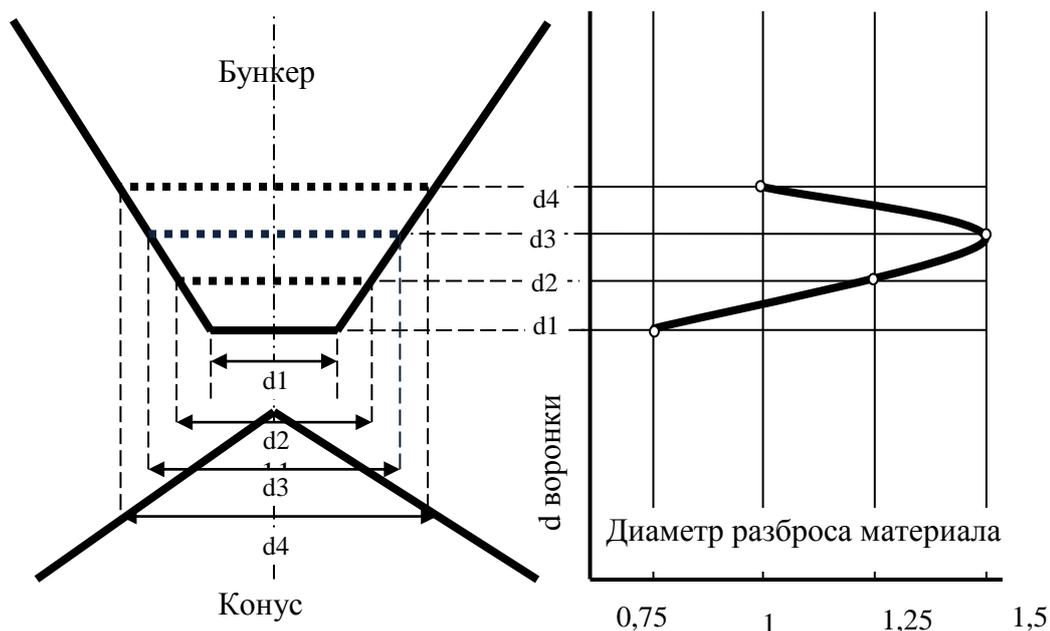


Рис.3.9. Зависимости влияния диаметра выпускного отверстия на диаметр разброса материала

И

Из рисунка видно, что максимальный диаметр разброса 1,5 м приходится на диаметр воронки  $d_3$ . Это обусловлено тем, что поток материала, попадая на рабочую поверхность лопасти, занимает  $1/5$  часть от ее размера. Далее, при центробежном вращении, материал распределяется со свободным скольжением по лопастям и вылетает на 1,5 м.

В случае с диаметром воронки  $d_1$ , материал занимает своим потоком незначительную часть рабочей поверхности лопастей. При вращении лопастей материал не может обеспечить полную загрузку лопастей распределяемым потоком, т.к. большая часть материала проваливается в

межлопастное пространство. Разброс материала составляет 0,75 м. Лишь незначительная часть материал долетает до окончания лопасти.

При диаметре воронки d2 исследуемый материал отлетал на расстояние 1,25 м.

В случае с воронкой d4 при выпуске материала из отверстия на рабочую поверхность лопасти наблюдалась следующая ситуация. Поток материала свободно проходил через лопасти и свободно ссыпался через их края, лишь незначительно превышая при разбросе диаметр рабочей поверхности.

Таким образом, оптимальным результатом можно признать диаметр выпускного отверстия d3, т. к. при его использовании достигается распределение материала на 1,5 м.

### 3.8.6. Влияние высоты сброса материала на рабочую поверхность лопастей распределительного органа на диаметр разброса материала

При настоящих исследованиях имело место изменение высоты подачи из воронки на рабочую поверхность лопастей. Как отмечалось выше, установка имела возможность конструктивно изменять высоту подачи материала от 500 мм до 1500 мм. Необходимо отметить следующее. При изменении высоты подачи материала видимых изменений в поведении распределения не происходило. Следовательно, высота подачи материала на рабочую поверхность лопастей значения не имеет. В нашем случае, для компактности конструкции, рекомендовано устанавливать высоту подачи материала на рабочую поверхность лопастей от 600 до 1500 мм.

### 3.9. Оценка равномерности распределения сыпучего материала по сечению емкости

Наиболее значимым показателем процесса загрузки емкостей различного назначения компонентами комбикорма является равномерность распределения сыпучего материала по сечению емкости. После экспериментального подтверждения оптимальных значений параметров вспомогательного загрузочно-распределительного устройства проводились испытания по определению степени равномерности распределения сыпучего материала. По известной методике [91] для определения равномерности распределения материала по сечению емкости использовался стандартный набор ячеек (рис.3.10.), который устанавливался под загрузочно-распределительным устройством.



Рис.3.10. Измерительная решетка с распределенной по ячейкам навеской сыпучего материала

Содержимое каждой ячейки взвешивается и определяется содержание материала в ячейке.

При идеально равномерном потоке в каждую ячейку поступает одинаковое количество сыпучего материала, то есть:

$$m_{ij}^{равн} = \frac{M}{n}, \quad (3.6)$$

где  $M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}$  - масса навески.

Равномерность распределения потока по поперечному сечению емкости предлагается оценивается в процентах:

$$q = \frac{m_{ij}}{m_{ij}^{равн}} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

Таким образом, были получены графики поверхностей распределения сыпучего материала при загрузке компактной струей и с помощью загрузочно-распределительного устройства (рис.3.11.-3.12.).

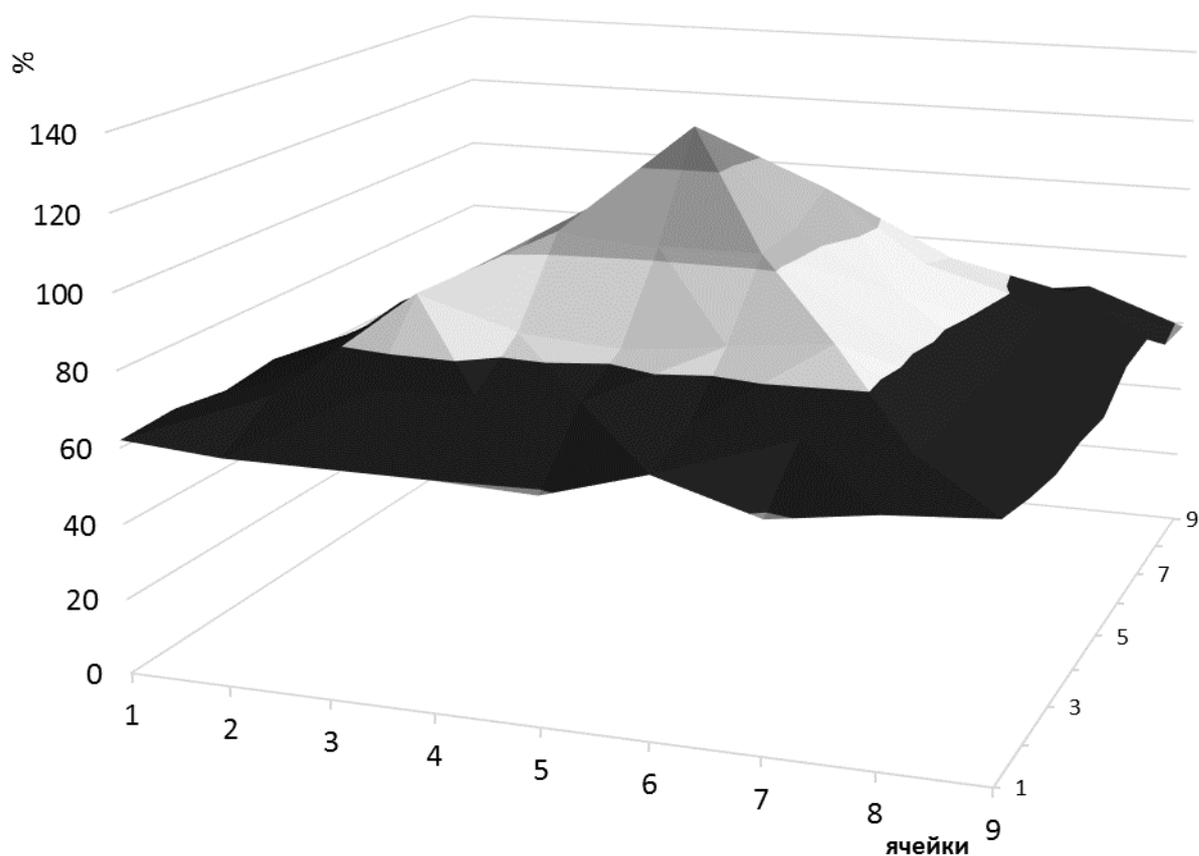


Рис.3.11. График поверхности распределения сыпучего материала при загрузке компактной струей

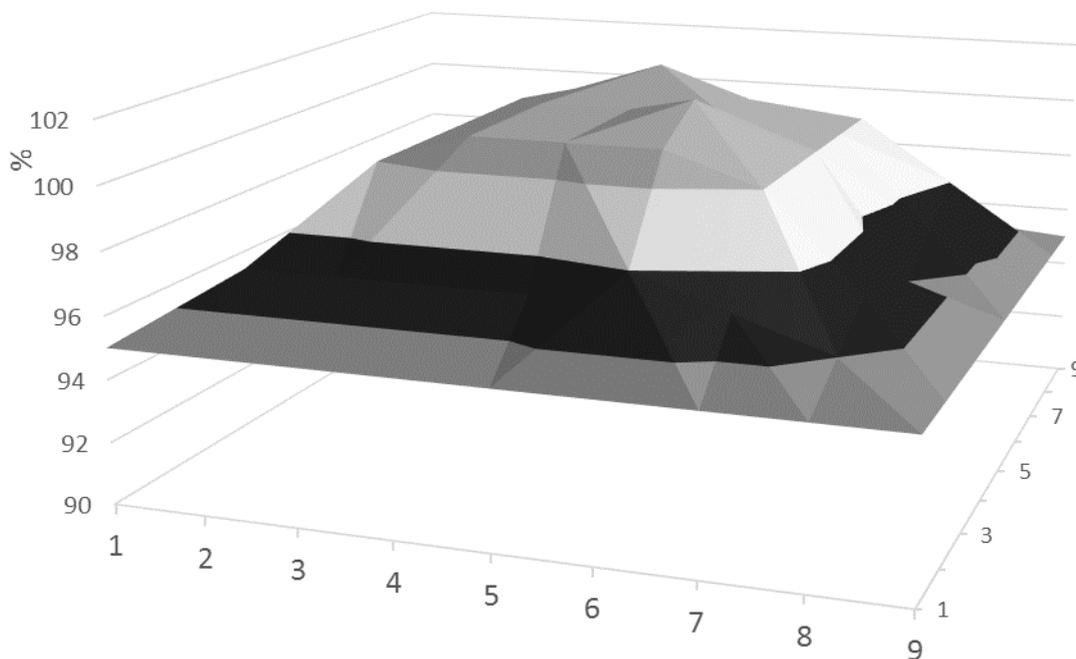


Рис.3.12. График поверхности распределения сыпучего материала при загрузке с помощью загрузочно-распределительного устройства

### **3.10. Оценка диаметра разброса материала загрузочно-распределительным устройством методом многофакторного эксперимента**

На диаметр разброса материала влияет ряд факторов, в том числе и конструктивные параметры загрузочно-распределительного устройства. В число основных факторов, определяющих степень диаметра разброса материала, включим угол атаки лопасти  $x_1$ , угол наклона лопасти  $x_2$  и число рабочих органов  $x_3$ .

Для получения общей математической зависимости диаметра разброса материала от перечисленных факторов воспользуемся теорией многофакторного эксперимента [71]. При этом в процессе проведения

эксперимента предусматривается одновременное изменение всех управляемых и контролируемых факторов, что позволяет значительно сократить число опытов.

Факторы, оказывающие наибольшее влияние на диаметр разброса материала загрузочно-распределительным устройством, представлены в таблице 3.2.

Предельными значениями являются крайние значения факторов, характеризующих процесс, или заданные экспериментом, или максимальные и минимальные размеры элементов конструкции, выбранные в качестве определяющих.

Кодировка факторов проводилась по классическим методикам [71] и представлена в таблице 3.3.

Предельные (нижние и верхние) уровни факторов независимо от их физического содержания можно нормализовать и выразить соответственно через «-1» или «+1». Нормирование факторов производится по формуле:

$$x_i^1 = \frac{2(x_i^{b,n} - x_i^*)}{x_i^b - x_i^n}, \quad (3.8)$$

где  $x_i^1 = \pm 1$  – нормированный уровень этого фактора;

$x_i^{b,n}$  – максимальное или минимальное значение  $i$ -го фактора;

$x_i^*$  – середина диапазона варьирования.

Таблица 3.2 – Факторы, влияющие на диаметр разброса материала загрузочно-распределительным устройством

Фактор	Наименование	Уровни варьирования	
		Нижний (-)	Верхний (+)
$x_1$	Угол атаки лопасти, °	20	30
$x_2$	Угол наклона лопасти, °	20	30
$x_3$	Число рабочих органов, шт.	4	8

Таблица 3.3 – Кодирование факторов и выбор интервалов их варьирования

Наименование	Значения		
Обозначение факторов	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Наименование фактора	Угол атаки лопасти ( $\alpha$ ), °	Угол наклона лопасти ( $\beta$ ), °	Число рабочих органов ( $n$ ), шт.
Базовый уровень	20	20	6
Интервал варьирования	10	10	2
Верхний уровень фактора	30	30	8
Нижний уровень фактора	10	10	4
Функция отклика	Диаметр разброса материала, м		

План испытаний (таблица 3.4) называют матрицей испытаний. Каждая строка в матрице означает один эксперимент, в котором исследуемые факторы зафиксированы при строго определенных значениях уровней.

Матрица испытаний типа  $2^k$  обладает следующими свойствами:

1. Свойство симметрии:

$$\sum_{g=1}^N x_{ig} = 0; i = \overline{1, k}. \quad (3.9)$$

2. Свойство ортогональности вектор-столбцов матрицы:

$$\sum_{g=1}^N x_{ig} x_{jg} = 0; i \neq j; i, j = \overline{0, k}. \quad (3.10)$$

3. Свойство нормировки:

$$\sum_{g=1}^N x_{ig}^2 = N; i = \overline{0, k}, \quad (3.11)$$

где  $k$  – число столбцов в матрице;

$N$  – число строк в матрице.

Таблица 3.4 – Матрица испытаний

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y_1$
1	+1	+1	+1	0,853
2	+1	+1	-1	1,01
3	+1	-1	+1	0,933
4	+1	-1	-1	1,12
5	-1	+1	+1	0,938
6	-1	+1	-1	1,09
7	-1	-1	+1	1,013
8	-1	-1	-1	1,2
9	+1	0	0	0,953
10	-1	0	0	1,033
11	0	+1	0	0,993
12	0	-1	0	1,067
13	0	0	+1	0,9
14	0	0	-1	1,057

Свойство ортогональности упрощает расчеты. Получается уравнение регрессии с независимыми между собой коэффициентами, т.е. каждый коэффициент характеризует вклад только  $i$ -го фактора в изменение характеристики состояния.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии при полном факторном плане  $2^k$  производится по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{ig} y_g}{N}. \quad (3.12)$$

При регрессивном анализе квадратичная модель (полином второго порядка) имеет вид:

$$y_1 = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} \cdot x_i^2. \quad (3.13)$$

Чем больше численная величина коэффициента уравнения регрессии, тем больше влияет фактор. Наличие знака «+» приводит к увеличению отклика, «-» - к уменьшению отклика.

Результаты экспериментальных исследований были обработаны при помощи программы Statistica 7.011 для ПЭВМ. Были проверены однородности дисперсий, статистическая значимость коэффициентов регрессии и адекватности моделей. В результате расчетов было получено уравнение регрессии (в раскодированном виде).

$$d = 2,9839 - 0,081 \cdot \alpha + 0,0103 \cdot \alpha^2 - 0,0898 \cdot \beta + 0,0758 \cdot \beta^2 - 0,084 \cdot n - 0,0154 \cdot n^2 - 0,0006 \cdot \alpha \cdot \beta - 0,0006 \cdot \alpha \cdot n + 0,0081 \cdot \beta \cdot n. \quad (3.14)$$

Полученное уравнение регрессии позволяет оценить влияние факторов на диаметр разброса материала загрузочно-распределительным устройством и оптимизировать их значения.

Анализ уравнения регрессии (3.12) показывает, что на критерий оптимизации  $y_1$  (диаметр разброса материала) влияют все факторы, но наибольшее влияние оказывают: угол атаки лопасти ( $\alpha=0,081$ ), угол наклона лопасти ( $\beta=0,898$ ), число рабочих органов ( $n=0,084$ ).

Из уравнения регрессии видно, что максимальный эффект получается при сочетании следующих факторов:

- угол атаки лопасти  $x_1 - 20^\circ$ ;
- угол наклона лопасти  $x_2 - 20^\circ$
- число рабочих органов  $n - 4$  шт.;

$$y_{\text{эксн. max}} = 1,2 \text{ м};$$

$$y_{\text{расч. max}} = 1,17 \text{ м}.$$

При наилучшем сочетании факторов:

- угол атаки лопасти  $x_1 - 10^\circ$ ;
- угол наклона лопасти  $x_2 - 10^\circ$
- число рабочих органов  $n - 8$  шт.;

$$y_{\text{эсп.мак}} = 0,53 \text{ м};$$

$$y_{\text{расч.мак}} = 0,59 \text{ м}.$$

Полученное уравнение регрессии проверено на адекватность по критерию Фишера. Для проверки адекватности найденного уравнения было проведено пять экспериментов в «нулевой» точке (сборки, соответствующие средним значениям факторов).

Дисперсии выборок определяются по формуле:

$$S_1^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2, \quad (3.15)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.16)$$

где  $N, M$  – число экспериментов.

$$S_1^2 = 1,056;$$

$$S_2^2 = 0,913.$$

Отношение погрешности расчетной формулы к погрешности замера пропускной способности бункера сравнивается с табличным значением пятипроцентных пределов критерия Фишера для соответствующих степеней свободы:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (3.17)$$

$$F = \frac{1,056}{0,913} = 1,2.$$

$$F_{\text{табл.}} = 2,53.$$

$F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$ , следовательно, полученное уравнение регрессии адекватно с экспериментом.

На основании полученных данных при помощи программы Statistica 7.0 for Windows для ПЭВМ построены графики поверхностей (рис. 3.13, 3.14, 3.15).

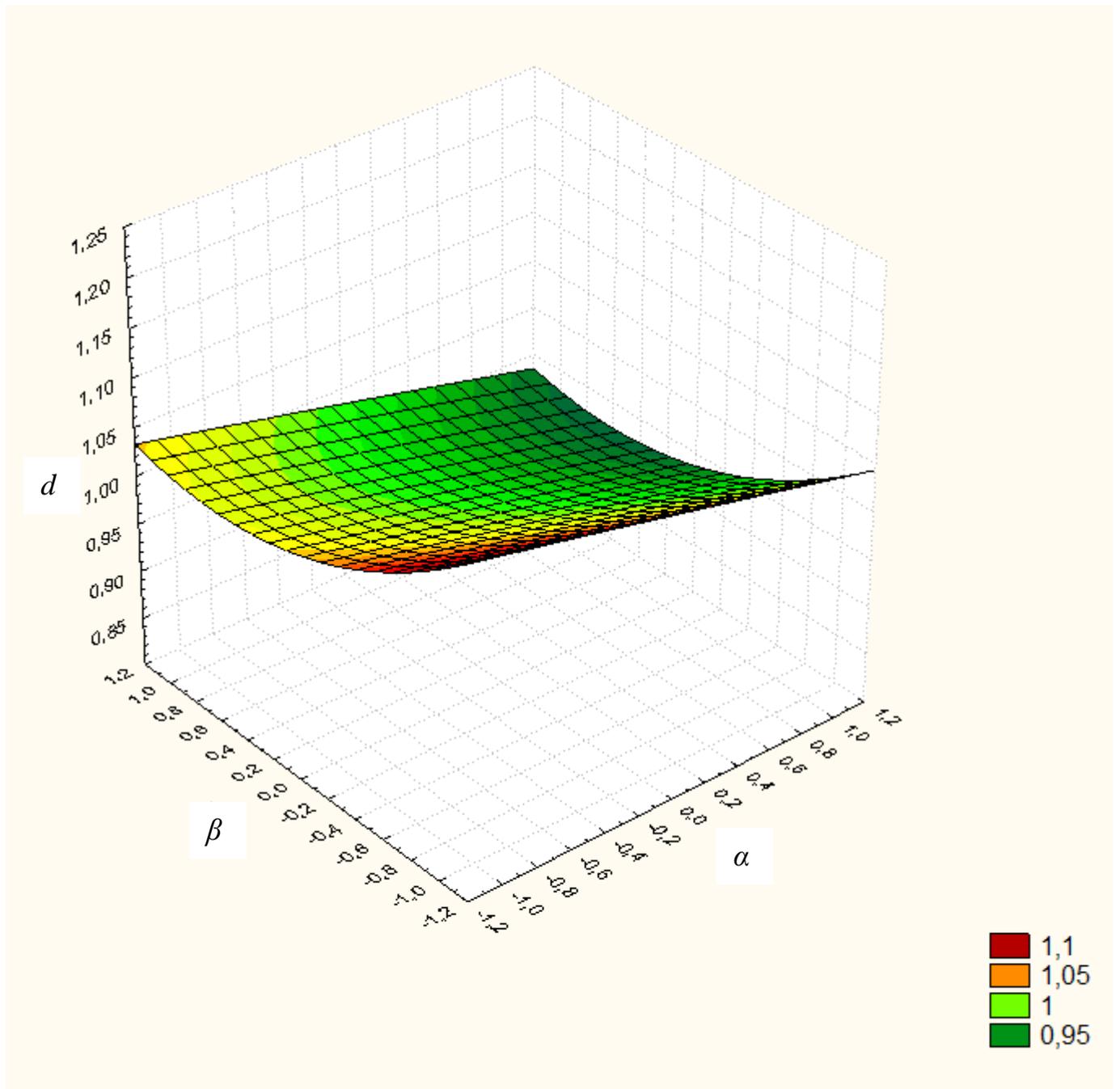


Рис.3.13. Трехмерный график поверхности влияния угла атаки ( $\alpha$ ) и угла наклона ( $\beta$ ) лопастей на диаметр разброса материала

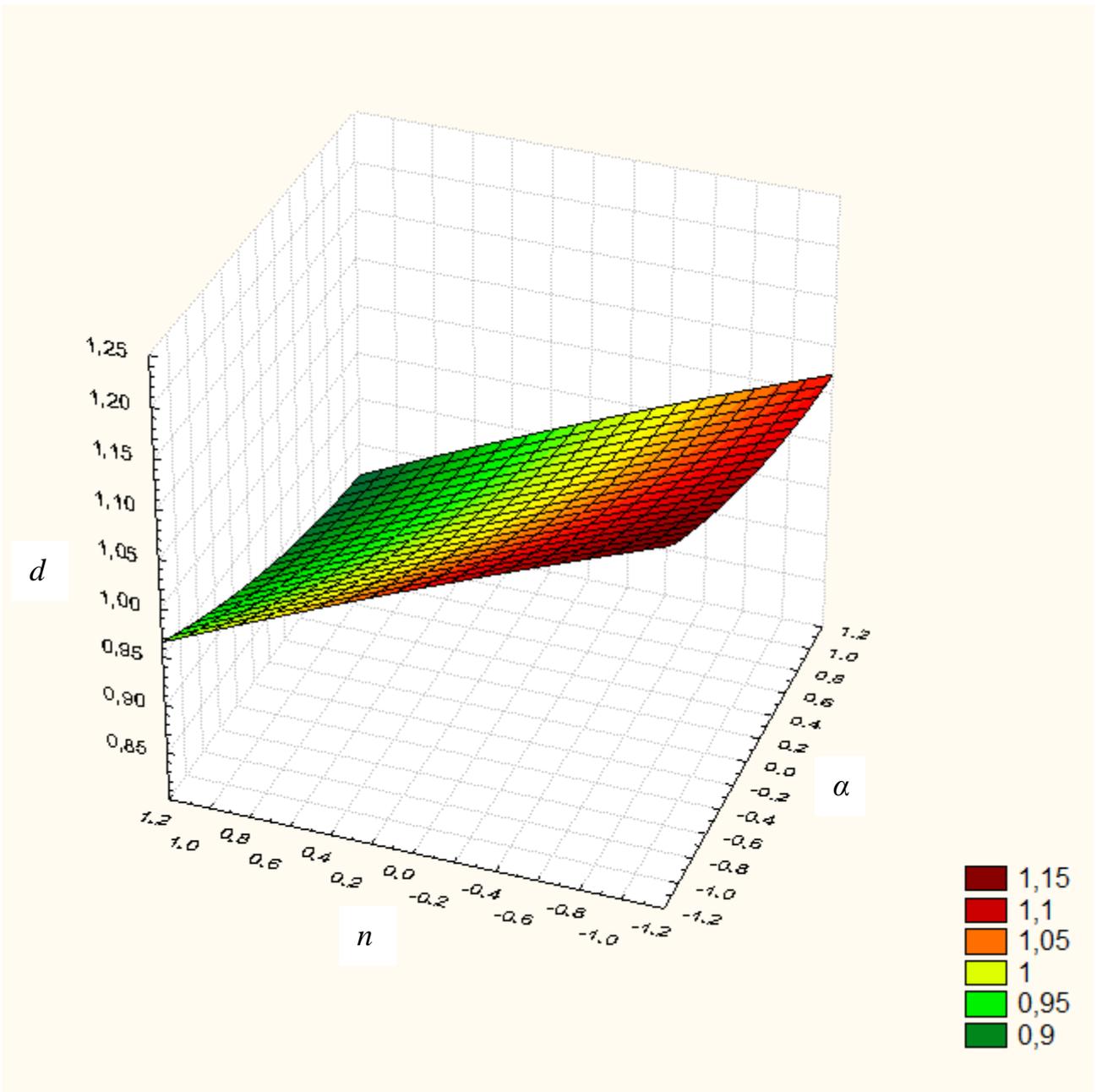


Рис. 3.14. Трехмерный график поверхности влияния угла атаки ( $\alpha$ ) и числа лопастей ( $n$ ) на диаметр разброса материала

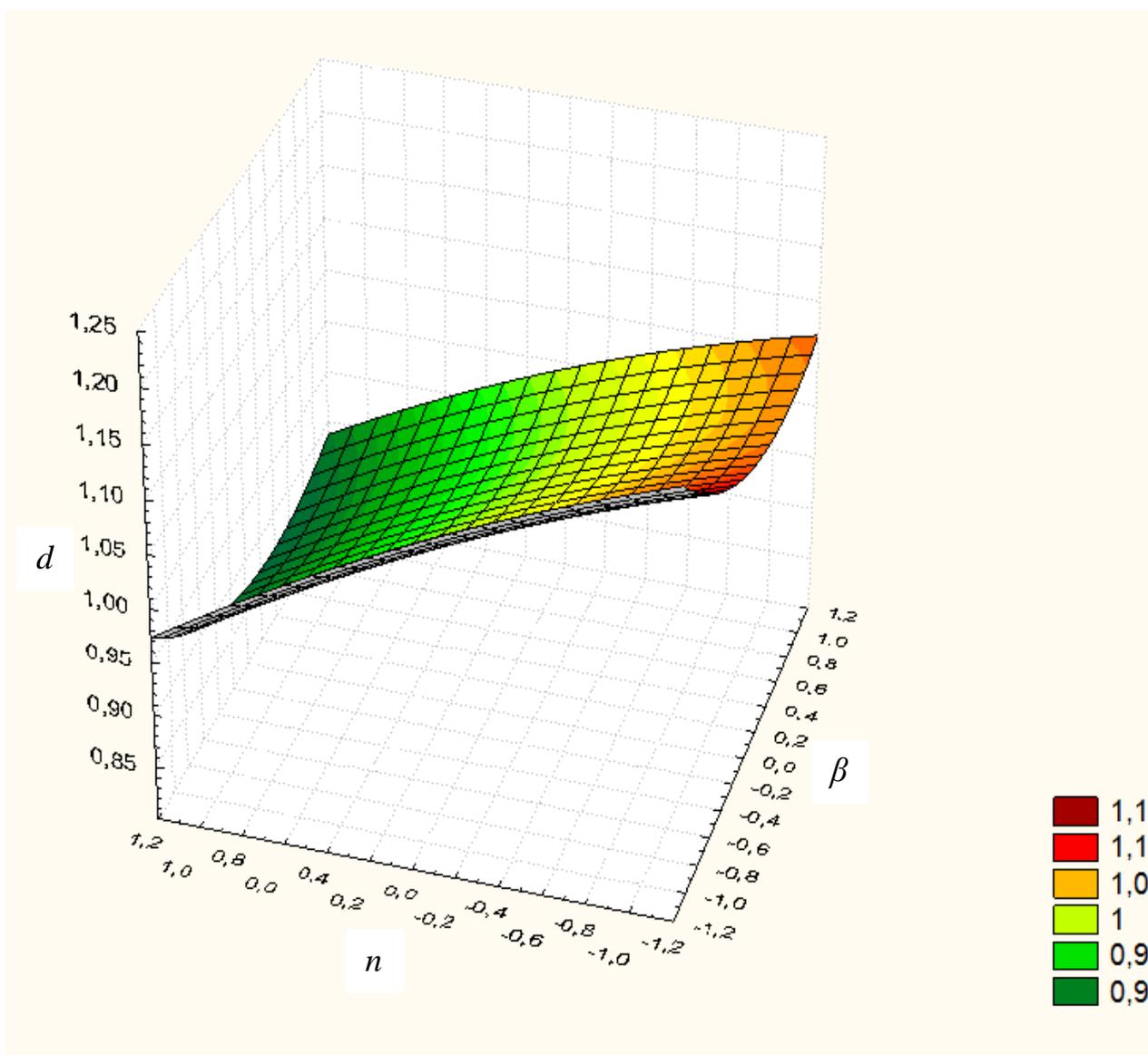


Рис. 3.15. Трехмерный график поверхности влияния угла наклона ( $\beta$ ) и числа лопастей ( $n$ ) на диаметр разброса материала

### 3.11. Выводы по третьей главе

В результате исследований были получены следующие результаты, рекомендуемые к исполнению в производственной конструкции:

- угол наклона лопасти составляет -  $20^{\circ}$ ;
- угол атаки лопасти составляет -  $20^{\circ}$ ;
- число рабочих лопастей на оси – 4 шт.;
- поверхность рабочих лопастей должна быть крашеная или отшлифованная до такого же коэффициента скольжения;
- диаметр выпускной воронки должен составлять  $1/5$  часть диаметра рабочих лопастей;
- высота подачи материала на рабочую поверхность лопастей должна составлять от 500 до 700 мм;
- для всех типов испытываемых материалов вышеперечисленные параметры загрузочно-распределительного устройства не требуют корректировки;
- выполнена оценка диаметра разброса материала загрузочно-распределительным устройством методом многофакторного эксперимента, получено уравнение регрессии и построены трехмерные графики зависимостей.

## **4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1. Применение загрузочно-распределительного устройства в технологических линиях приготовления комбикорма и в условиях хозяйств**

Технология производства комбикормов представляет собой совокупность операций, последовательное выполнение которых позволяет получить из кормового сырья, значительно отличающегося друг от друга по комплексу физико-механических свойств, питательности, химическому составу в соответствии с рецептурой, корм с заданными параметрами. При этом конечный продукт в виде комбикорма учитывает вид, пол, возраст, состояние и цель кормления сельскохозяйственных животных.

Комбикорма приготавливают при строгом соблюдении режима работы оборудования в соответствии с зоотехническими требованиями нормативных документов, утвержденных для государственных предприятий Минсельхозпродом или по его поручению специальными лабораториями и учреждениями.

Структура комбикормового производства предусматривает основные и вспомогательные процессы. К основным процессам относят процессы, непосредственно связанные с превращением исходного сырья в комбикорм. Вспомогательные процессы непосредственно с выработкой комбикормов не связаны. К ним относят: транспортирование, прием, размещение и хранение сырья; хранение и отпуск готовой продукции; переработку отходов основного производства и т. п.

Приготовление комбикормов включает следующие операции: прием, взвешивание и хранение сырья; очистку сырья от посторонних примесей; шелушение овса и ячменя; влаготермическая обработка зерна, дробление

зерна и других компонентов; сушку и измельчение минерального сырья; подготовку смеси микродобавок с наполнителем; ввод в комбикорма жидких добавок; дозирование компонентов согласно рецептам; смешивание компонентов; гранулирование или брикетирование смесей; учет и выдача комбикормов.

Предлагаемое загрузочно-распределительное устройство может применяться как в технологических линиях приготовления комбикорма (рис.4.1), так и в условиях хозяйств (рис.4.2).

В основу принципиальной технологической схемы (см. рис. 4.1) положена порционная технология, включает линии приема и очистки зернового, мучнистого сырья и шрота; дозирования неизмельченных компонентов; их просеивания и измельчения крупной фракции; одновременного дозирования белкового и минерального сырья, премикса и смешивания всех компонентов. Преимуществами этой схемы являются: снижение энергопотребления за счет меньшего числа применяемых дробилок; сокращение протяженности транспортных линий; оперативный переход с выработки комбикорма одного рецепта на другой; эффективная переработка трудноизмельчаемых компонентов (ячмень, овес); повышение коэффициента использования дробилок и всего технологического оборудования [17].

#### **4.2. Производственная проверка и внедрение загрузочно-распределительного устройства**

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований и полученного патента на полезную модель №113515 была разработана техническая документация на загрузочно-распределительное устройство и изготовлен производственный образец.

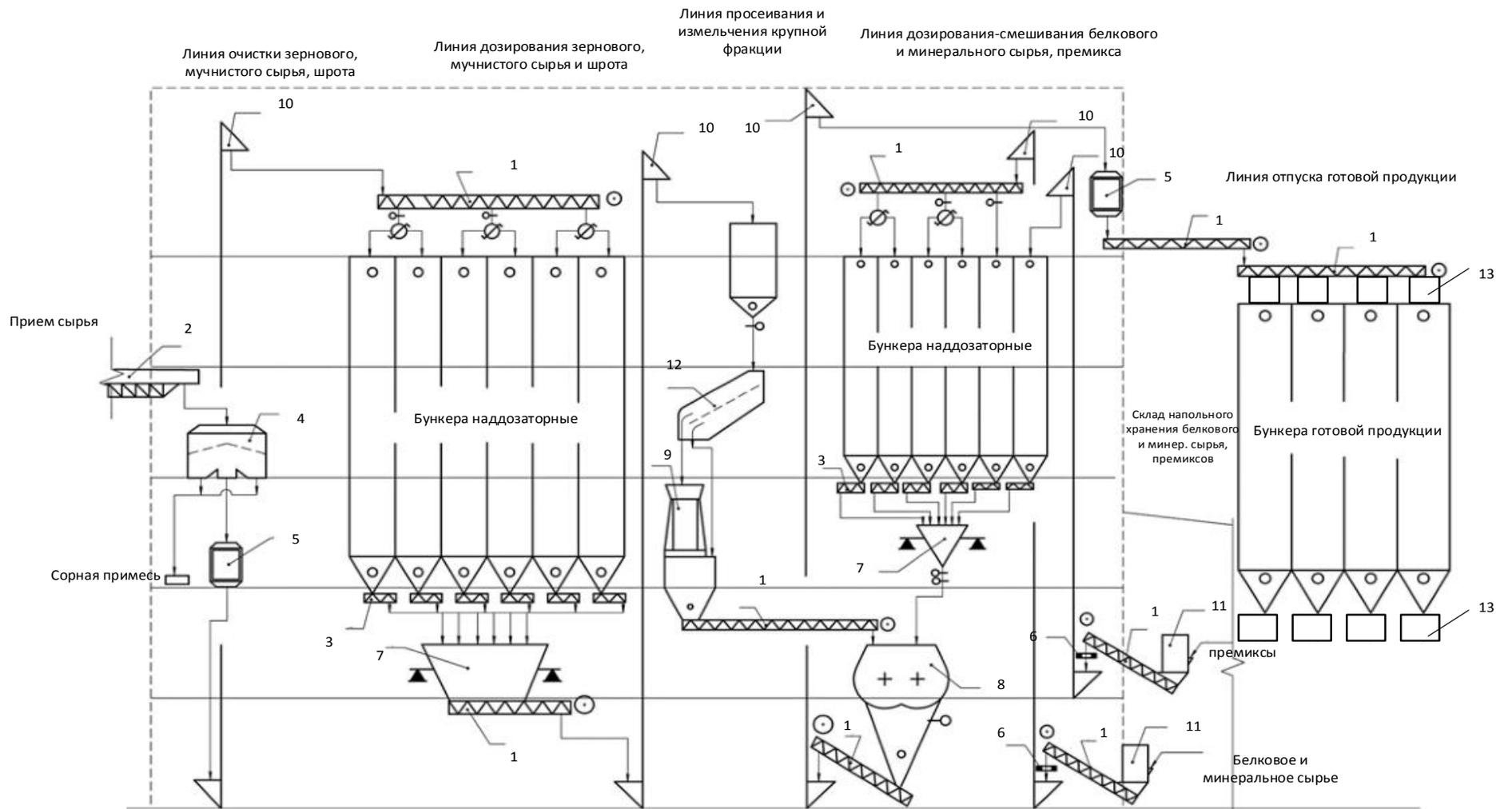


Рис.4.1. Технологическая схема приготовления комбикорма:

1 – приемный бункер с транспорта разного типа; 2 – конвейер; 3 – нория; 4 – сепаратор; 5 – магнитная колонка; 6 – бункеры для зернового сырья, шрота, БВМК; 7 – дробилки; 8 – загрузочно-распределительные устройства; 9 - бункеры готовой продукции; 10– бункер для белкового, минерального сырья, премиксов; 11 – дозатор; 12 – смеситель; 13- кормовоз

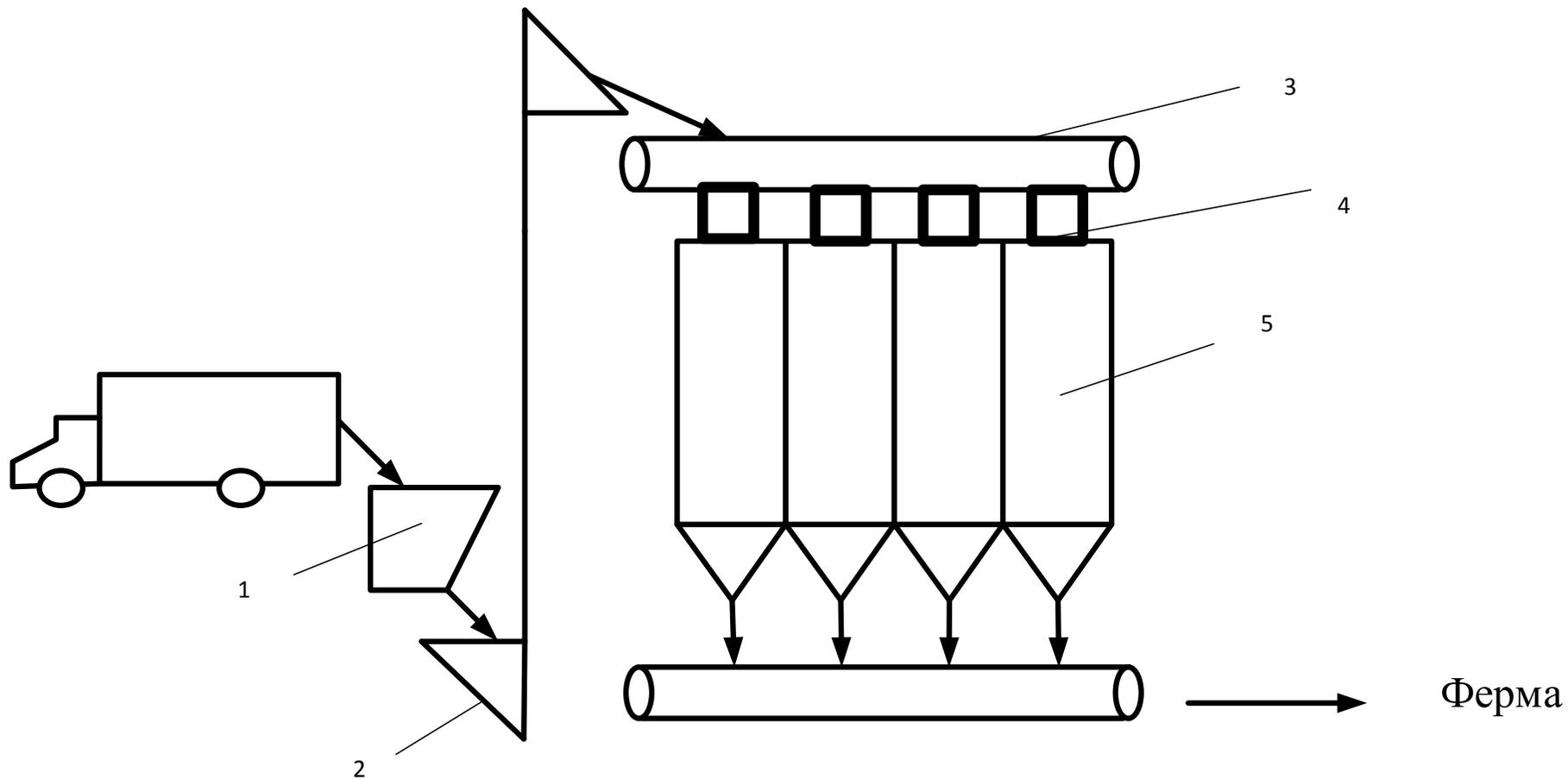


Рис.4.2. Технологическая схема доставки комбикорма животным в условиях хозяйств:

1 – приемный бункер с транспорта ; 2 – нория; 3 - транспортер; 4 – загрузочно-распределительные устройства; 5 – бункеры для готовой продукции.

Производственные испытания проводились в отгрузочной зоне на предприятии ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод» Самарской области. Загрузочно-распределительное устройство с гравитационным приводом использовалось при загрузки мобильных емкостей продукцией предприятия – отрубями и комбикормом. Применение предлагаемого устройства позволяет произвести более полную и равномерную загрузку мобильной емкости без разравнивания насыпи и последующей дозагрузки.

Экспериментальный образец вспомогательного загрузочно-распределительного устройства был изготовлен в соответствии с теоретическими расчетами.

Параметры устройства следующие:

- количество рабочих органов (лопастей) – 4;
- угол наклона лопастей -  $20^{\circ}$ ;
- угол атаки лопасти -  $20^{\circ}$ ;
- угол основания лопасти -  $86,5^{\circ}$ ;
- длина рабочего органа 1,2 м.

Схема загрузочно-распределительного устройства с распределяемым по нему потоком сыпучего материала представлена на рис. 4.3.

Установка работает по следующей схеме:

1. Сыпучий материал поступает по гофрированному трубопроводу.
2. Попадая в цилиндр, сыпучая масса устремляется к лопастям, имеющим винтовой профиль, и своей массой давит на них.
3. Лопастя приводятся в движение поступающим сверху потоком сыпучего материала.
4. Материал начинает разлетаться по лопастям, распределяясь по периметру емкости.

Загрузочно-распределительное устройство с гравитационным приводом работоспособно на загрузке отрубей и комбикорма. При загрузке наблюдалось равномерное распределение материала по сечению емкости.

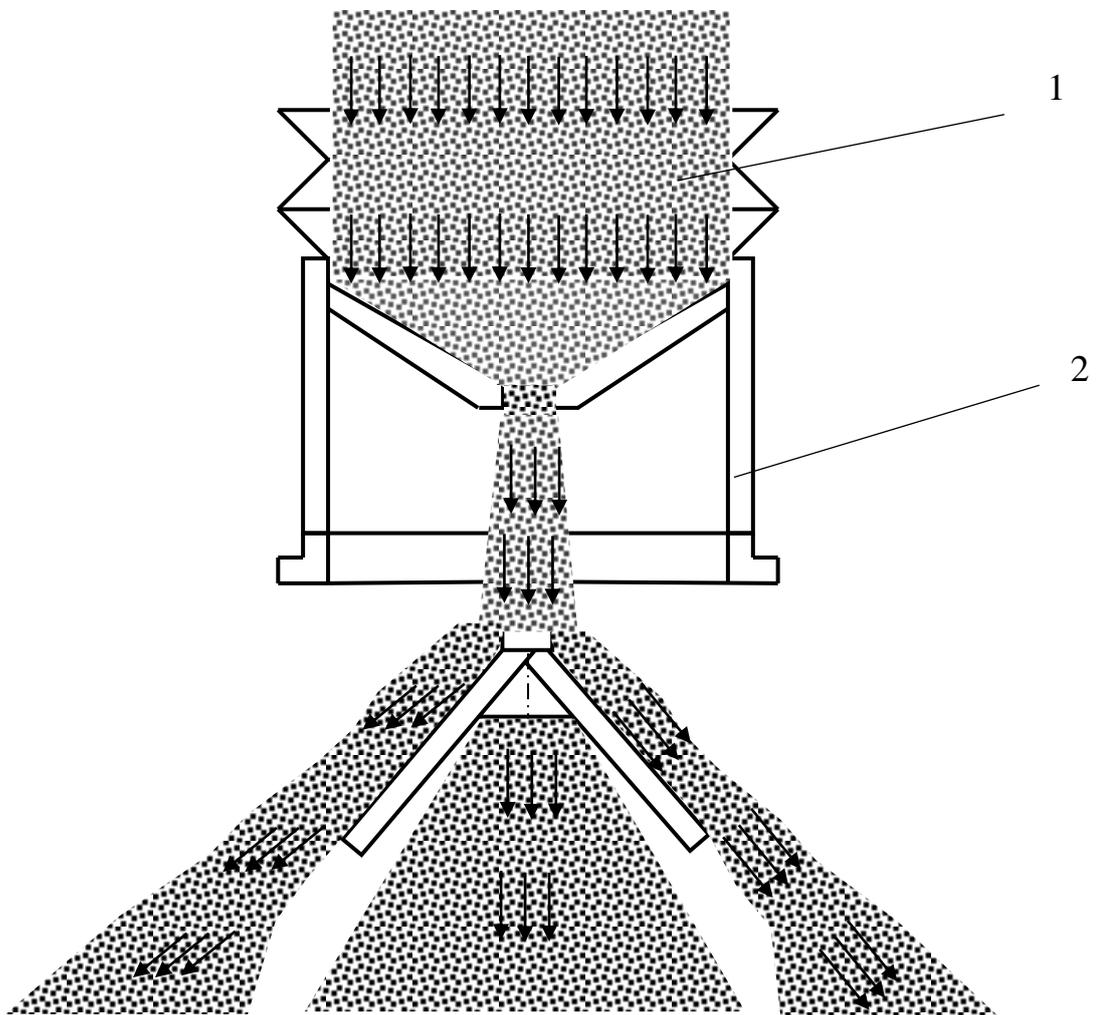


Рис.4.3. Схема распределения потока сыпучего при загрузке емкости с помощью загрузочно-распределительного устройства: 1- поток сыпучего материала; 2- загрузочно-распределительное устройство

Производственная проверка вспомогательного загрузочно-распределительного устройства, проведенная с участием специалистов ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод», показала высокую работоспособность при загрузке отрубей и комбикорма.

Комиссия считает, что загрузочно-распределительное устройство пригодно для эксплуатации, является перспективной конструкцией и может служить основой для создания промышленного образца.

Рассмотрим структуру транспортно-технологической системы операций с зерновыми материалами и продуктами помола при доставке, хранении и вводе компонентов комбикормов в производственный цикл предприятия на примере ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод».

Процесс доставки сырья на предприятие затрагивает применение нескольких видов магистрального транспорта. Более 80% зерновых материалов (зерно, маслосемена, побочные продукты маслозаводов и т.п.) поступает на предприятие бестарно в мобильных емкостях, около 10-15% доставляется в тарированном виде (мешкотара, мягкие контейнеры), оставшаяся доля поставок компонентов комбикорма, используемых в малом процентном соотношении от объема готовой продукции, приходится на автомобильный транспорт [76, 112].

Технология производства комбикорма предусматривает наличие на предприятии ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод» следующих складских зон: приёмных – для сырья; технологических и аккумулирующих – для внутрипроизводственных нужд; отгрузочных – для отправки готовой продукции. Все вышеперечисленные зоны имеют 48 емкостей соответствующего назначения и размеров.

Выгрузка зерновых материалов на железнодорожном пути необщего пользования производится самотеком через нижние разгрузочные люки емкости в три последовательно расположенных между рельсами приемных люка (каждый рассчитан на один разгрузочный люк) на ленточный

транспортер. Посредством ленточного транспортера зерно и другие компоненты комбикорма поступают на ковшовый элеватор, перемещающий их вверх – в емкость для хранения, представляющую собой систему бункеров, в которые загружаются принимаемые сыпучие материалы.

Складской комплекс сырья Самарского комбикормового завода для сырья предусматривает совместное размещение компонентов комбикормов для всех рецептов. Для хранения сырья применяются емкости, параметры которых учитывают максимальное процентное содержание компонента комбикорма в рецепте и его трех-пятидневный запас. Необходимость складирования обуславливается неравномерностью циклов производства, транспортирования и потребления.

В современных условиях рыночной экономики целесообразны оптовые закупки, которые обеспечивают значительные скидки у поставщиков. Так, зерновые культуры, которые могут храниться до 12 месяцев, а некоторые, например, пшеница – до 24 месяцев, приобретаются «про запас» и хранятся в корпусе элеватора. Остальные компоненты комбикормов, сроки хранения которых значительно меньше, заказываются у поставщиков по мере необходимости.

Погрузка готовой продукции на железнодорожном пути необщего пользования ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод» производится в автомобильный транспорт на крытых платформах (фронт погрузки рассчитан на три автомобиля) и в мобильные емкости в крытых складских помещениях с высокой рампой. Загрузка как автомобилей, так и мобильных емкостей осуществляется через выпускные трубы емкостей для хранения готовой продукции.

На рис. 4.4. представлена схема транспортно-технологических операций с зерновыми материалами, продуктами помола и готовой продукцией на зерноперерабатывающем предприятии комбикормового производства ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод».

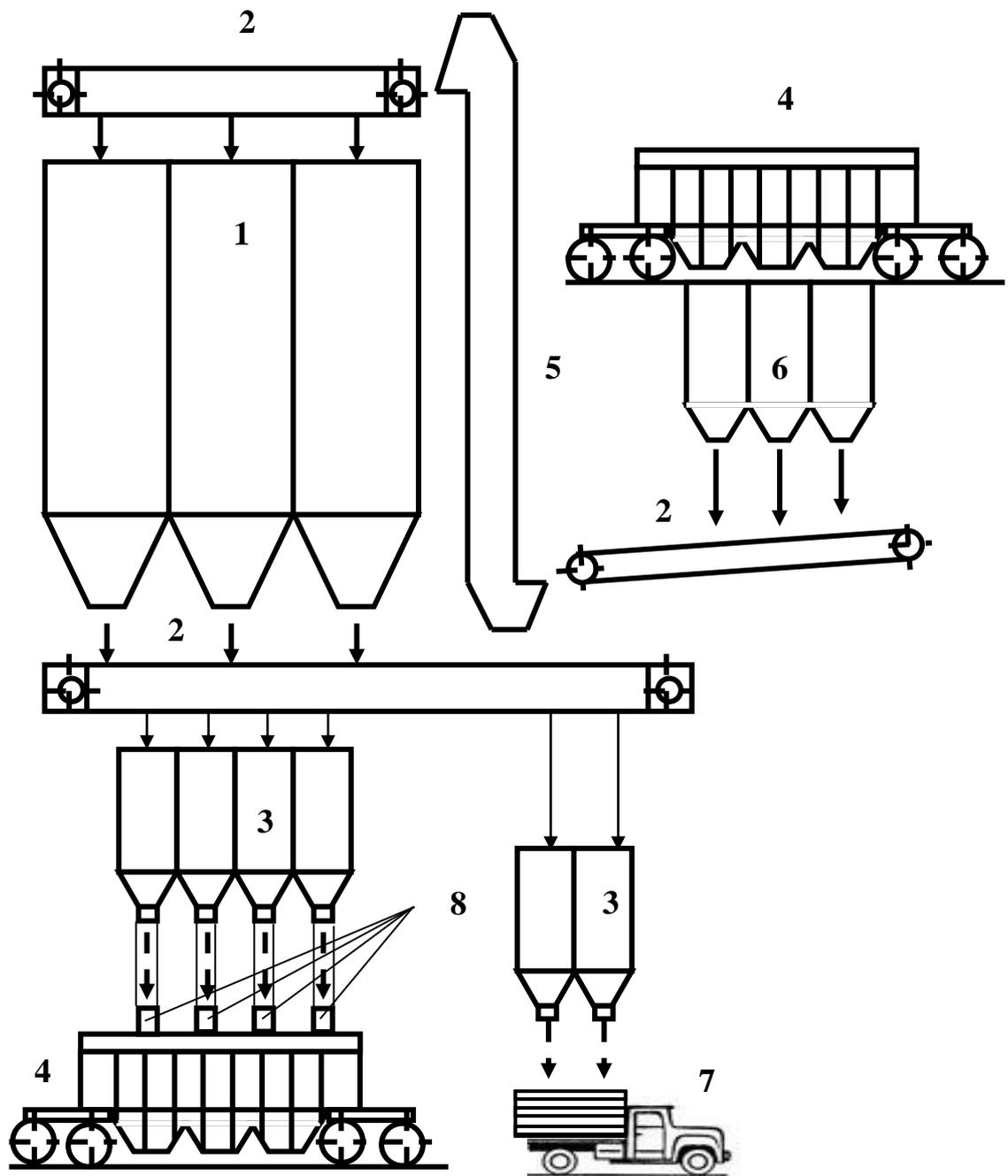


Рис. 4.4. Схема транспортно-технологических операций с зерновыми грузами, продуктами помола и готовой продукцией : 1 – аккумулярующие ёмкости (склад); 2 – ленточный транспортёр; 3 – отпускные бункеры; 4 – мобильная ёмкость ; 5 – элеватор; 6 – приёмные бункеры; 7 –автомобиль; 8 – предлагаемые загрузочно-распределительные устройства

### **4.3. Расчет экономической эффективности применения загрузочно-распределительного устройства**

Экономическая оценка рассматриваемых и применяемых технологий, экономного потребления ресурсов, применения высокопроизводительной техники является залогом успешной работы любого предприятия в условиях рыночных отношений. Работа предприятия направлена на снижение до минимума издержек производства и реализации продукции. Необходимо создавать и организовывать производство продукции, пользующейся спросом и обладающей конкурентоспособностью. Это позволяет достичь обеспечения высоких доходов квалифицированных работников.

Расчет экономической эффективности производился с учетом методики [44, 53, 62, 89, 90, 113] литературных источников.

Для своевременного и полного отражения соотношения расходов и доходов, связанных с деятельностью объекта транспортно-грузовых систем необходим расчет приведенных ниже технико-экономических показателей.

Все технико-экономические показатели можно условно разделить на две группы, отражающие расходы и доходы. Каждый из этих показателей, в свою очередь, подразделяется на подгруппы.

К группе расходных показателей относятся:

1. Капитальные затраты на строительство (они представляют собой совокупность затрат на строительство, оснащение, механизацию и автоматизацию и для ввода его в эксплуатацию). Капитальные затраты считаются в два этапа: первый этап - определение необходимой суммы инвестиций на строительство; второй – определение капитальных вложений с учетом их распределения по периодам и упущенной выгоды. Таким образом, расчет этого показателя необходим для реализации проекта и обоснования его эффективности.

2. Эксплуатационные расходы. Обычно рассчитываются за год и представляют собой совокупность расходов необходимых для нормальной

деятельности предприятия. В эту подгруппу входят: расходы на заработную плату (совокупность заработной платы работников, а также отчисления и начисления на зарплату); расходы на амортизацию; расходы на ремонт, оборудование и сооружение; расходы на освещение; расходы на энергоносители (силовая энергия, топливо, сжатый воздух, смазка); расходы на уплату налогов (на имущество, НДС, на землю и т.д.).

Наглядным примером оптимального применения загрузочно-распределительного устройства может быть его использование на стыке нескольких отраслей, когда денежные средства переходят из внутреннего оборота одной отрасли в другую. Например, рассмотрим этап транспортирования отрубей в мобильных емкостях. Данная операция ежедневно осуществляется, в частности, на «Самарском комбикормовом заводе». Для проверки работоспособности конструкции был изготовлен экспериментальный образец, который использовался при загрузке мобильных емкостей.

Технологические параметры по отправке отрубей на предприятии следующие:

- годовой грузопоток 19760 т;
- расстояние перевозки – 1000 км.

Общие капиталовложения определяются суммированием капитальных вложений по основным статьям затрат на приобретение, строительство и монтаж оборудования.

Они определяются по формуле:

$$K_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n K_i, \text{ руб./год} \quad (4.1)$$

где  $i=1+n$  – число элементов капитальных затрат.

Амортизация – это постепенное уменьшение стоимости основных фондов вследствие его старения, изнашивания.

Расчет амортизационных отчислений производится умножением суммарной стоимости имущества, отнесенного к соответствующей

амортизационной категории, на указанную выше норму амортизации, за исключением имущества, отнесенного к первой и четвертой категориям, в отношении которого производится расчет для каждой единицы имущества в отдельности.

При расчете амортизационных отчислений может использоваться коэффициент, учитывающий условия эксплуатации. Он отражает особенности отдельных видов производства, режим эксплуатации машин и оборудования, естественные условия и влияние агрессивной среды, которые вызывают повышенный износ основных фондов.

Расходы на амортизацию устройства определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_a = K_{\text{общ}} \cdot \alpha_i, \text{ руб./год} \quad (4.2)$$

где  $n$  – число разных групп оборудования и сооружений с различными отчислениями на амортизацию и ремонты;

$\alpha_i$  – норма отчислений на амортизацию  $i$ -го вида устройств и сооружений,  $\alpha_i = 6,5 \%$ .

Расходы на ремонт:

$$\mathcal{E}_p = C_m \cdot (\gamma_{кр} + \gamma_{тр}), \text{ руб./год} \quad (4.3)$$

где  $C_m$  – цена устройства, руб.;

$\gamma_{кр}$  – коэффициент, учитывающий стоимость капитального ремонта от цены машины,  $\gamma_{кр} = 8,9 \%$ ;

$\gamma_{тр}$  – коэффициент, учитывающий стоимость текущего ремонта от стоимости машины,  $\gamma_{тр} = 2\%$ .

Срок окупаемости находится по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{\text{общ}}}{\Delta \mathcal{E}}, \text{ год} \quad (4.4)$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  – экономия эксплуатационных расходов, руб./год.

Рентабельность инвестиционного проекта рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{ЧД}{3n} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где ЧД – чистый доход, прибыль;

$Zn$  - затраты на производство.

Экономическая оценка является заключительным этапом комплексной оценки работы рассматриваемого объекта – способа загрузки мобильных емкостей и хранилищ сыпучими материалами.

Экономическая эффективность загрузочного устройства определялась в сравнении с существующей схемой загрузки компактной струей.

По существующей технологии перевозка отрубей осуществляется в мобильных емкостях, отправляется ежедневно 2 единицы с нормой загрузки (при плотности сыпучего материала  $0,4 \text{ т/м}^3$ ) – 38 т. Загрузка производится при помощи загрузочных рукавов компактной струей.

Предлагается использовать устройство, позволяющее загружать до 41,5 т отрубей в мобильную емкость, что сокращает их число в год на 44 единицы. Базовая стоимость предлагаемого устройства 15000 руб., для загрузки мобильных емкостей требуется 4 таких устройства.

$$ЧД_{\text{сущ}} = 138320000 - 110000256 = 28319744 \cdot 0,8 = 22655795,2 \text{ руб.};$$

$$P_{\text{сущ}} = \frac{22655795,2}{110000256} \cdot 100 = 20\% ;$$

$$ЧД_{\text{предл.}} = 138320000 - (110000256 + 10440 \cdot 3682316) = 31991620 \cdot 0,8 = 25593296 \text{ руб.};$$

$$P_{\text{предл.}} = \frac{25593296}{106328380} \cdot 100 = 24\% .$$

Расчет расходов и экономической эффективности произведен при помощи Microsoft Excel. В таблицах 4.1 - 4.7 приведен расчет экономии от внедрения новой технологии исходя из цен на 2014 г.

Таблица 4.1

Существующая технология				
Загрузка мобильной емкости, т	Число мобильных емкостей в сутки	Годовой грузопоток, т	Число рабочих дней в году	Число мобильных емкостей в год
38	2	19760	260	520

Таблица 4.2

Предлагаемая технология				
Загрузка мобильной емкости, т	Число мобильных емкостей в сутки	Годовой грузопоток, т	Число рабочих дней в году	Число мобильных емкостей в год
41,5	1,83	19760	260	476

Таблица 4.3

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ				
Амортизационные отчисления				
Предлагаемая технология				
Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, руб.	Число оборудования, шт.	Амортизация, %	Амортизационные отчисления, руб.
Устройство	15000	4	6,50%	3900
ИТОГО				3900

Таблица 4.4

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ				
Расходы на ремонт				
Предлагаемая технология				
Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, руб.	Число оборудования, шт.	Отчисления на ремонт оборудования, %	Отчисления на ремонт оборудования, руб.
Загрузочное устройство	15000	4	10,90%	6540
ИТОГО				6540

Таблица 4.5

Существующая технология				
Стоимость перевозки отрубей в мобильных емкостях				
Расстояние, км	Класс сыпучего материала	Загрузка мобильной емкости, т	Стоимость перевозки 1 мобильной емкости, руб.	Общая стоимость перевозки в год, руб.
1000	1	38	83689	43518280

Таблица 4.6

Предлагаемая технология				
Стоимость перевозки отрубей в мобильных емкостях				
Расстояние, км	Класс сыпучего материала	Загрузка мобильной емкости, т	Стоимость перевозки 1, мобильной емкости, руб.	Общая стоимость перевозки в год, руб.
1000	1	41,5	83689	39835964

По данным таблиц можно сделать вывод об эффективности внедрения данного устройства, так как капитальные и эксплуатационные расходы покрываются за счет сокращения числа отправляемых мобильных емкостей.

Величина единовременных капитальных вложений на внедрение предлагаемого загрузочно-распределительного устройства составила 60 тыс. руб. При внедрении предлагаемого устройства в ООО «Агролюкс» ОП «Самарский комбикормовый завод» экономия эксплуатационных расходов составила 186 руб./т, рентабельность производства увеличилась на 4 %. Расчет экономической эффективности использования бесприводного загрузочно-распределительного устройства проводился исходя из цен на 2014 г.

Таблица 4.7

Итоговая таблица по экономике			
Наименование расходов (доходов)	Единица измерения	Существующая технология	Предлагаемая технология
Капитальные вложения	руб.	-	60 000
Эксплуатационные расходы, без учета ЗП	руб.	-	10440
Число мобильных емкостей в год	шт.	520	476
Экономия мобильных емкостей в год	шт.	-	44
Стоимость перевозки	руб.	43518280	39835964
Экономия стоимости перевозки	руб.	-	3682316
Себестоимость перевозки на 1000 ТКМ	руб.	1145	960
Рентабельность производства	%	20	24

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного анализа конструктивных схем существующих загрузочных устройств установлено, что при заполнении емкостей различного назначения компактной струей наблюдается слеживаемость, сегрегация комбикорма и его компонентов, снижается коэффициент использования полезного объема хранилищ, наблюдается слеживаемость, сегрегация комбикорма и его компонентов, что негативно влияет на усвояемость кормов животными.

2. Разработана конструкция бесприводного загрузочно-распределительного устройства, защищенная патентом на полезную модель №113515. Предлагаемое загрузочно-распределительное устройство обладает простотой и надежностью конструкции, универсальностью, отсутствием энергозатрат, обеспечивает равномерное распределение комбикорма по всему сечению загружаемой емкости, исключая тем самым слеживаемость, сегрегацию комбикорма и сохраняя его качество.

3. Разработана параметрическая модель функционирования емкости для хранения компонентов комбикорма с применением разработанного устройства, позволяющая выявить основные параметры, влияющие на данный процесс, и оценить значимость этих параметров на каждом этапе. Процесс загрузки влияет на равномерность укладки частиц материала, степень сегрегации сыпучей массы, коэффициент использования объема хранилища, динамическое воздействие материала на нижние слои, целостность (повреждение) частиц сыпучей массы.

4. В результате теоретических исследований обоснованы основные параметры загрузочно-распределительного устройства: форма рабочего органа (лопасти), число лопастей, угол атаки лопасти, угол наклона лопасти, угол основания лопасти, длина лопасти. При загрузке емкости высотой 3 м, диаметром 3 м получены следующие параметры загрузочно-распределительного устройства: число лопастей – 4 шт., угол наклона и угол

атаки рабочего органа -  $20^\circ$ , угол основания лопасти –  $86^\circ$ , длина рабочего органа – 1,2 м.

В результате экспериментальных исследований были получены следующие результаты функциональных возможностей конструкции: угол атаки лопасти составил  $20^\circ$ ; угол наклона лопасти –  $20^\circ$ ; число рабочих лопастей на оси – 4 шт.

5. В результате проведения многофакторного эксперимента получили уравнение регрессии, адекватно описывающие зависимость диаметра разброса материала  $y$  от трех факторов: угла атаки лопасти  $\alpha$ , угла наклона лопасти  $\beta$ , числа рабочих органов  $n$ . Степень влияния факторов на критерий оптимизации  $y$  оценивалась по численному значению коэффициентов, характеризующих вклад каждого фактора в изменение характеристики состояния: угол атаки лопасти ( $\alpha=0,081$ ), угол наклона лопасти ( $\beta=0,898$ ), число рабочих органов ( $n=0,084$ ). Установлено, что результаты экспериментальных и теоретических исследований обладают высокой сходимостью.

6. Производственные испытания показали, что загрузочно-распределительное устройство с гравитационным приводом работоспособно на погрузке отрубей и комбикорма. При загрузке наблюдалось равномерное распределение материала по сечению емкости и увеличение ее полезного объема на 8%. Загрузочно-распределительное устройство пригодно для эксплуатации, является перспективной конструкцией и может служить основой для создания промышленного образца.

7. Производственные испытания показали наличие экономического эффекта от применения загрузочно-распределительного устройства на загрузке мобильной емкости за счет увеличения ее полезного объема на 8%. Экономия эксплуатационных расходов составила 186 руб./т, увеличение рентабельности производства на 4%.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. А.С. 1090630 SU МКИ В65 D 90/58 Затвор-рассекатель к устройству загрузки крытых емкостей / А.Ф. Яшин, Г.Г. Шайдулин, С.А. Асеев (СССР) Заявлено 20.09.82, опубл. 07.05.84, Бюл. №17.
2. А.С. 1229143 SU МКИ А1 Устройство для подачи материала на транспортные средства / А.И. Семенов (СССР) Заявлено 21.02.84, опубл. 07.05.86, Бюл. №17.
3. А.С. 1258796 SU МКИ В65 G 67/22 Способ загрузки открытых транспортных емкостей сыпучими материалами / В.И. Астафичев (СССР) Заявлено 24.12.82, опубл. 23.09.86, Бюл. №35.
4. А.С. 1261856 SU МКИ А1 Устройство вертикальной выгрузки сыпучих материалов / Г.А. Малыгин, Е.А. Ткаченко, Р.М. Клочков, В.С. Сутормин (СССР) Заявлено 06.07.84, опубл. 07.10.86, Бюл. №37.
5. А.С. 1381039 SU МКИ В65 G 3/04, 65/32 Устройство для распределения сыпучего материала в бункере / В.И. Семеновский, С.Б. Родин, В.Н. Воробьев, Н.С. Великоредчанина (СССР) Заявлено 03.09.86, опубл. 15.03.88, Бюл. №10.
6. А.С. 1533964 SU МКИ В65 G 65/32, 69/04 Загрузочное устройство/ Н.И. Романов (СССР) Заявлено 27.01.88, опубл. 07.01.90, Бюл. №1.
7. А.С. 1557021 SU МКИ В65 G 11/10 Гравитационный спуск/ В.М. Феликсов, Т.В. Федотова, М.Ю. Лайко (СССР) Заявлено 07.07.88, опубл. 15.04.90, Бюл. №14.
8. А.С. 1567461 SU МКИ В65 G 3/04, 51/26 Устройство для загрузки сыпучим грузом транспортного средства / А.Г. Михайлов, В.В. Харланов, В.И. Бодров, Г.А. Черенков, А.Р. Тонковид (СССР) Заявлено 02.07.87, опубл. 30.05.90, Бюл. №20.
9. А.С. 1615082 SU МКИ В65 G 11/10 Устройство для перегрузки сыпучего материала / В.Г. Морозов, А.В. Горбачев, Ю.Н. Дубинчук, Н.К. Наремский (СССР) Заявлено 27.09.87, опубл. 23.12.90, Бюл. №47.

10. А.С. 1742169 SU МКИ В65 G 11/10 Устройство для транспортирования сыпучих материалов/ Б.С. Устинов, Д.Б. Устинов (СССР) Заявлено 27.03.89, опубл. 23.06.92, Бюл. №23.
11. А.С. 1742184 SU МКИ В65 G 65/30 Устройство для загрузки/ А.М. Нестеренко, А.И. Бараковских, В.Г. Нестеровский, А.И. Бадулин, В.И. Ратковский, В.В. Теренюк (СССР) Заявлено 16.08.90, опубл. 23.06.92, Бюл. №23.
12. Азгальдов В.В. Теория и практика оценки качества товаров. – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
13. Алферов К.В., Зенков Р.Л. Бункерные установки. Проектирование, расчет и эксплуатация. – М.: Машиностроение, 1955. - 308 с.
14. Алферов К.В. Бункеры, затворы, питатели. – М.: Машгиз., 1946. – 178 с.
15. Архипенко А.В. Активные бункерные вибростенки: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. - Белгород.: ВКТУ, 1998. - 21 с.
16. Атрошенко В.А. Особенности силовых воздействий сыпучих грузов на торцевые стены крытых грузовых вагонов и анализ напряженного состояния торцевых стен: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Брянск.: БИТМ, 1984. - 16 с.
17. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных. – Воронеж.: ОАО «Всероссийский Научно-исследовательский Институт», 2007. – 389 с.
18. Башкин Л.В., Буренин П.Д., Краюшкин Б.А., Румянцев Г.М. Бестарное хранение муки, отрубей и комбикормов. Под ред. П.Д. Буренина. – М.: Колос, 1974. – 224 с.
19. Бенсон Д., Уайтхед Д. Транспорт и доставка грузов/ Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1990. – 279 с.
20. Бестарное хранение и перемещение муки и мучных продуктов за рубежом. – М.: ЦИНТИ Госкомиздата СССР, 1964. – 45 с.

21. Битюцкий А.А. Разработка комплексного метода проектирования, расчета и испытания грузовых вагонов: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб.: ПГУПС, 1995. - 40 с.
22. Богомягих В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов. – Ростов-на-Дону: изд-во Ростовского университета, 1973. - 150 с.
23. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. Перевод с английского В. И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991. - 608 с.
24. Буренин П.Д. Бестарное хранение и перевозка муки, отрубей и комбикормов в ГДР, ЧССР и ФРГ. Обзор «Бестарное хранение, отпуск и перевозка муки, крупы и комбикормов». Серия «Мукомольно-крупяная промышленность». – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1979. - 35 с.
25. Вагоны / Под ред. Л.Д. Кузьмича. – М.: Машиностроение, 1978 – 376 с.
26. Вагоны/ Л.А. Шадур, И.И. Челноков, Л.Н.Никольский и др. – М.: Транспорт, 1980. - 439 с.
27. Варламов А.В. Повышение эффективности процесса выпуска компонентов комбикорма бункером с донным щелевым отверстием и механическим сводообрушителем: Дис... канд. техн. наук. – Саратов, 1999. – 113 с.
28. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Совершенствование процесса загрузки емкостей зерном и продуктами помола // Известия самарского научного центра Российской академии наук. – Спец. выпуск: «Проблемы железнодорожного транспорта на современном этапе развития». – Самара: СНЦ РАН, 2006. – с. 20 - 22.
29. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Эффективные способы заполнения кузовов транспортных средств сыпучими грузами. // Труды всероссийской научно-практической конф. «Транспорт-2006». Часть 2. Ростов-на-Дону, 2006. – с. 176-178.
30. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Параметрическая модель функционирования емкостей прирельсовых складов бункерного типа

- для зерновых грузов // Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России. / Материалы международной научно-технической конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – с. 300-301.
31. Варламов А.В., Варгунин В.И., Горюшинский В.С., Варламова Н.Х. Теория и практика применения щелевых бункеров на железнодорожном транспорте и в агропромышленном комплексе // Самарский научный центр Российской академии наук. – Самара: СНЦ РАН, СамГУПС, 2007. – с. 25 - 26.
32. Варламов А.В., Варламова Н.Х. Применение нового бункерного оборудования и ресурсосберегающей технологии в транспортно-складских комплексах для сыпучих грузов// Управление. Логистика. Экономика. / Сб. науч. трудов.– Самара: СамГУПС, 2007. – с. 15 – 17.
33. Варламов А.В., Варламова Н.Х. Повышение безопасности выгрузки труднсыпучих грузов из прирельсовых складов бункерного типа // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса / Материалы IV Всероссийской научно-практической конф. – Самара: СамГУПС, 2008. – с. 35 – 36.
34. Варламов А.В., Варгунин В.И., Андрианова И. Р. Анализ погрузочно-выгрузочных работ с зерновыми грузами на примере ЗАО «Самарский комбикормовый завод» // Управление. Логистика. Экономика / Сб. науч. трудов. - Выпуск 3. – Самара: СамГУПС, 2008. – с. 21 – 23.
35. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Обоснование конструктивно-технологических параметров бесприводного загрузочно-распределительного устройства для вагонов-хопперов // Управление. Логистика. Экономика / Сб. науч. трудов. - Выпуск 3. – Самара: СамГУПС, 2008. – с. 31 - 34.
36. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Оценка качества загрузки емкости зерновыми грузами и продуктами помола // Актуальные проблемы

- развития транспортного комплекса. / Материалы V Всероссийской научно-практической конф. – Самара: СамГУПС, 2009. – с. 379 - 381.
37. Варламов А.В. Конструкция и динамика механизмов предотвращения и устранения сводообразований в бункерах хранения и выпуска сыпучих материалов. Монография / Самарский научный центр Российской академии наук. – Самара: СЦ РАН, СамГУПС, 2010. – 231 с.
38. Варламов А.В., Мазько Н.Н. Улучшение эксплуатационных показателей вагонов-хопперов путем применения энергосберегающего загрузочно-распределительного устройства // Вестник Транспорта Поволжья / Научно-технический журнал № 1 (31). - Самара : СамГУПС, 2012. – с. 82-87.
39. Варламов А.В., Варламова Н.Х., Мазько Н.Н. Применение нового энерго- и ресурсосберегающего оборудования в транспортно-складских комплексах для хранения и переработки сыпучих грузов // Вестник Транспорта Поволжья / Научно-технический журнал № 3 (39). - Самара : СамГУПС, 2013. – с. 89-93.
40. Варламов А.В., Мазько Н.Н., Аверкеев А.А. Конструкция бесприводного ресурсосберегающего загрузочно-распределительного устройства для компонентов комбикорма // Известия ОГАУ № 1. – 2014. – С. 61-64.
41. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. – Киев: изд-во УАСХН, 1960. – 284 с.
42. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М. : Колос, 1982. – 231 с.
43. Влияние параметров силосов и физико-механических свойств муки на кинематику процесса истечения. Отчет по теме 1.203-б. Арх. №7961/250. – М.: ЦНИИПромзернопроект, 1975. – 183 с.
44. Горфинкель В.Д., Швондер В.А. Экономика фирмы: Учебник для вузов. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 461 с.

45. Горюшинский И.В. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров бункерного устройства с побудителем скребкового типа для выпуска комбикорма и его компонентов: Дис... канд. техн. наук. – Саратов, 1997. – 121 с.
46. Горюшинский И.В., Мосина Н.Н. К вопросу оценки процесса загрузки емкостей сыпучими материалами // Сб. научн. тр. Студентов, аспирантов и молодых ученых СамИИТ. Выпуск 3. – Самара: СамИИТ, 2001. – с. 83 - 84.
47. Горюшинский И.В. Эффективное заполнение емкостей в транспортно-технологических системах: Монография / Под общей ред. Г.М. Третьякова – Самара: СамГАПС, 2003. – 138 с.
48. Горюшинский И.В. Технологические системы обеспечения сырьем комбикормовых и животноводческих предприятий: Дис. ... д-ра. техн. наук. – Оренбург, 2005. - 290 с.
49. Горюшинский И.В., Бахарев А.П., Мазько Н.Н. Моделирование процессов функционирования емкостей для сыпучих материалов // Ресурсосбережение и инновации: проблемы и методы решения. / Сб. статей Международной научно-практической конф. – Пенза: ПГУ, 2006. – с. 20 - 24.
50. Горюшинский И.В., Мазько Н.Н. Повышение эффективности хранения зерновой продукции в бункерах // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. - №11. – с. 77 - 78.
51. Горячкин В.П. Собрание сочинений. т4. – М.: Сельхозгиз, 1940.- 315 с.
52. ГОСТ 23462-95. Продукция комбикормовой промышленности. Правила приемки. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации – Минск, 5 с.
53. ГОСТ 23728 – 79 и др. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.

54. Гутьяр Е.М. Распределение давления по стенке силосной башни. // Тр. МАДИ. – сб. №2, 1935.
55. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.
56. Гячев Л.В. Теория бункеров. – Новосибирск: Изд. Новосибирского университета, 1968. –148 с.
57. Денисов В.В. Совершенствование складирования и выпуска из бункеров сводообразующих компонентов комбикорма: Дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2001. – 154 с.
58. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1968. - 164 с.
59. Джон В. Грин. Внешняя баллистика. Современная математика для инженеров / под ред. Э. Ф. Баккенбаха. Перевод с английского – М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. - с. 48 - 72.
60. Долгунин В.Н. Процессы и оборудование для переработки зернистых материалов в управляемых сегрегированных потоках : монография / В.Н. Долгунин, О.О. Иванов – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 120 с.
61. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах: Учебное пособие / И.В. Горюшинский, И.И. Кононов, В.В. Денисов и др.; Под общей ред. И.В. Горюшинского – Самара: СамГАПС, 2003. – 232 с.
62. Жарикова Л.А. Экономическая эффективность инженерного решения. Методические указания. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 1994. – 24 с.
63. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. – М.: Машиностроение, 1964. – 252 с.
64. Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С. Бункерные устройства. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с.
65. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.

66. Зимон А.Д., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. М.: Металлургия, 1978. – 287 с.
67. Зуев Ф.Г. и др. Подъемно – транспортные машины зерноперерабатывающих предприятий. – М.: Агропромиздат, 1985. – 320 с.
68. Иванов М.Г. Исследование процесса сводообразования в бункерах и рудоспусках: Дисс. ... канд. техн. наук. – Л, ЛГИ. 1964.
69. Квапил Р. Движение сыпучих материалов в бункерах. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. – 80 с.
70. Кенеман Ф.Е. О свободном истечении сыпучих тел. // Известия АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, 1960. №2. - с. 70 - 72.
71. Коновалов В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ: Учебное пособие. – Пенза: ПГСХА, 2003. – 176 с.
72. Кононов И.И. Совершенствование процесса функционирования бункерных хранилищ транспортно-складских комплексов для сыпучих грузов (на примере компонентов комбикорма): Дисс. ...канд. техн. наук. – Саратов, 2002. – 154 с.
73. Кочанова И.И. Исследование производительности истечения сельскохозяйственных сыпучих материалов из бункеров: Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1966. - 180 с.
74. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины. М.: Колос, 1981. – 263 с.
75. Кунаков В.С. Интенсификация процессов выгрузки сводообразующих зерновых материалов: Дисс. ... д-ра техн. наук. – Ростов-на-дону, 1998. - 399 с.
76. Логистика. Учебник / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 368 с.
77. Лойко Л.М. и др. Погрузка и выгрузка цемента в таре и навалом. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 129 с.

78. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. Т. 1-2. – М.: Наука, 1982. – 352, 640 с.
79. Мазько Н.Н. К вопросу об исследованиях закономерностей истечения сыпучих материалов из бункеров // Тезисы докл. XXX межвузовской науч. конф. студентов и аспирантов. – Самара: СамГАПС, 2003. – с. 154 - 155.
80. Мазько Н.Н. Перспективные направления исследований вопросов функционирования емкостей для сыпучих материалов // Дни студенческой науки / Сб. науч. трудов студентов и аспирантов. – Выпуск 7. – Самара: СамГАПС, 2006. – с. 45 - 46.
81. Мазько Н.Н. Классификация загрузочно-распределительных устройств // Дни студенческой науки. / Сб. науч. трудов студентов и аспирантов. – Выпуск 7. – Самара: СамГАПС, 2006. – с. 46 - 47.
82. Мазько Н.Н. Анализ способов загрузки бункерных хранилищ прирельсовых складов бункерного типа зерновыми материалами // Наука, инновации, образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России. / Материалы международной научно-технической конф. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – с. 329 - 330.
83. Мазько Н.Н. Математическая модель функционирования емкостей для сыпучих грузов // Управление. Логистика. Экономика. / Сб. науч. трудов. - Выпуск 4. – Самара: СамГУПС, 2009. – с. 184 - 186.
84. Мазько Н.Н. Теоретическое обоснование конструкции и рабочего процесса загрузочного устройства для вагонов-хопперов // Актуальные проблемы развития транспортного комплекса. / Материалы VI Всероссийской научно-практической конф. – Самара: СамГУПС, 2010. – с. 170 - 172.
85. Мазько Н.Н. Результаты экспериментальных исследований бесприводного загрузочно-распределительного устройства для

- вагонов-хопперов // Вестник Транспорта Поволжья / Научно-технический журнал № 2 (32). - Самара : СамГУПС, 2012. –с. 83-85.
86. Мазько Н.Н. Результаты экспериментальных исследований бесприводного загрузочно-распределительного устройства для ёмкостей, применяемых в АПК // Известия ОГАУ № 2. – 2014. – С. 83-85.
87. Маликов О.Б., Болотин В.А. и др. Проектирование складов сыпучих грузов. / Методические указания для курсового и дипломного проектирования. – СПб.: ПГУПС, 1999. – 84 с.
88. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – М. : Колос, 1972. – 168 с.
89. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники – М. : МСХ. 1998. – 220 с.
90. Методические рекомендации по обоснованию эффективности инноваций на транспорте – Екатеринбург, 2002. – 24 с.
91. Мосина Н.Н. Совершенствование загрузки хранилищ и подвижного состава сыпучими грузами (на примере зерновых грузов и продуктов помола): Дисс. .канд. техн. наук. – С. Петербург-Пушкин, 2004. - 146 с.
92. Механизация и технология животноводства: Учебник / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич и др. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 585 с.
93. Некрашевич В.Ф. Экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса гранулятора травяной щуки: Дис. канд.техн.наук.-Л.-Пушкин, 1968.-189 с.
94. Некрашевич В.Ф., Мурованный В.А. Исследование методов и средств контроля за качеством гранул.: Тр./ВАСХНИЛ.-М. : Колос, 1978.-227 с.
95. Некрашевич В.Ф., Немтинов С.,Гаевой Е., Сницарь А. Физико-механические свойства сухих животных кормов. Мясная индустрия СССР, 1976 - 57 с.

96. Новиков А.Н. Методы борьбы со сводообразованием сыпучих материалов в емкостях. Обзор. – М.: НИИИнфсиройдоркоммунмаш, 1966. –70 с.
97. Отчет о НИР (заключ.) / ВНИИКП; Провести исследования влияния условий хранения и транспортирования на качественные и технологические показатели продуктов микробиологического синтеза и выдать исходные данные на создание технологии контейнерной перевозки этих продуктов: рук. П.Г. Черныш. - № ГР 01840035657; Инв. № 0286.0 060021. – Киев, 1985. – 85 с.
98. Отчет о НИР (заключ.) / ВНИИКП; Провести исследования и обосновать рациональные технологические схемы и технические средства механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ на комбикормовых предприятиях: рук. В.Г. Стоянов. - № ГР 81038851; Инв. № 02.84.0033896. – Воронеж, 1985. – 143 с.
99. Отчет о НИР (заключ.) / ВНИИКП; Разработать автоматизированное отпускное устройство производительностью до 150т/ч для дозированной загрузки железнодорожных вагонов на зерноперерабатывающих предприятиях: рук. Б.Н. Поветкин. - № ГР 01.85.0048615; Инв. № 3666/І. – Рига, 1987. – 85 с.
100. Отчет о НИР (заключ.) Разработать технологию бестарной отгрузки, транспортировки железнодорожным транспортом, приема и складирования премиксов: / ВНИИКП; рук. В.М. Шевандина. - № ГР 0189000830; Инв. № 02900054441. – Воронеж, 1990. – 188 с.
101. Патент № 2225821 RU, МПК 7 В 65 D 88/54, В 65 G 65/40. Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, И.В. Горюшинский и др.; Заявлено 26.02.2002; Опубл. 20.03.04. Бюл. № 8. 3с.: ил.
102. Патент № 2220085 RU, МКИ 7 В 65 D 88/54, В 65 G 65/32. Устройство для равномерного заполнения сыпучим материалом вертикально стоящих сосудов / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, И.В.

- Горюшинский, Н.В. Фролов, Н.Н. Мосина; Заявлено 27.02.02; Оpubл. 27.12.03, Бюл. №36. 4с.: ил.
103. Патент № 2237000 RU, 7 В 65 D 88/54, В 65 G 65/32. Загрузочное устройство для равномерного заполнения сыпучим материалом вертикально стоящих емкостей / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, И.В. Горюшинский и др.; Заявлено 26.11.02; Оpubл. 27.09.04, Бюл. №27. 4с.: ил.
104. Патент № 2404866 RU, МПК В 08 В 9/087, В 65 D 88/68. Переносной сводоразрушитель-очиститель / А.В. Варламов, О.П. Мулюкин, Н.Н. Мазько; Заявлено 12.08.2009; Оpubл. 27.11.2010, Бюл. №33. 5с.: ил.
105. Патент № 2420363 RU, МПК В 08 В 9/087, В 65 D 88/68. Переносной сводоразрушитель-очиститель / А.В. Варламов, О.П. Мулюкин, Н.Н. Мазько, Н.Х. Варламова; Заявлено 09.11.2009; Оpubл. 10.06.2011, Бюл. №16. 8с.: ил.
106. Пахайло А.И. Оптимизация параметров сельскохозяйственных бункерных устройств в условиях сводообразования сыпучих материалов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – зерноград.: АЧГАА, 1997. - 16 с.
107. Пельтинович А.Г., Блехман М.Е. Зависание сыпучих материалов в бункерах и пути его устранения. Труды ЦНИИПромздания. Вып. 10. – М., 1967. – 103 с.
108. Петрушкин Н.В. Повышение эффективности функциональных возможностей хранилищ бункерного типа в агропромышленном комплексе: Дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург.: ОГАУ, 2005. - 120 с.
109. Платонов П.Н. и др. Элеваторы и склады. / П.Н. Платонов, В.Г. Лебединский, В.Б. Фасман. – 2-е изд., пераб. и дополн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 316 с.
110. Погребной А.П. Обеспечение прочности специализированных вагонов бункерного типа при продольных ударах: Автореф. дисс. ... канд. т. наук. – Днепропетровск: ПГУПС, ДИИТ. 1984. - 25 с.

111. Погрузочно-разгрузочные работы с насыпными грузами: Справочник / Д.С. Плюхин, Е.Г. Угодин, Е.А. Иконников, Л.И. Алькинская; Под редакцией Д.С. Плюхина. – М.: Транспорт, 1989. – 303 с.
112. Правила организации и ведения технологического процесса производства продукции комбикормовой промышленности (ч.1-3). – М.: ВНПО Зернопродукт. Утверждено министерством по продовольствию и закупкам от 10.10.89 № 7.
113. Раицкий К.А. Экономика предприятий, учебник для вузов / К.А. Раицкий - Информ. - внедрен. Центр «Маркетинг» - М., 1999. - 693 с.
114. Распоряжение правительства РФ № 1830-р «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в РФ». – М.: 2009.-23 с.
115. Расчет и внедрение прогрессивных технических норм загрузки вагонов-цементовозов цементом на ПО «Мордовцемент» Всесоюзное Государственное специальное бюро по проведению пуско-наладочных и проектно-конструкторских работ в цементной промышленности ОРГПРОЕКТЦЕМЕНТ Договор №60 от 21.05.87 г. – М., 1987. – 34 с.
116. Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов. – М.: Химия, 1978. –174 с.
117. РТМ 24.17.01-83 Вагоны-хопперы для сыпучих грузов. Типы, основные параметры и размеры. – М.: МИНТЯЖМАШ, 1983. – 19 с.
118. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М. : Наука, 1971. – 71 с.
119. Рычков В.А. Технология и средства механизации погрузочно-разгрузочных работ в складах минеральных удобрений АПК: Автореф. дисс. ... канд. т. наук. - Рязань.: ГНУ ВНИИМС, 2001. – 49 с.
120. Сабликов М. В. Сельскохозяйственные машины. Ч. 2. Основы теории и технологического расчета. – М.: Колос, 1968. – 296 с.
121. Свидетельство РФ на полезную модель 23433, 7 В 65 G 65/30. Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер / Г.М.

- Третьяков, В.С. Горюшинский, И.В. Горюшинский, В.А. Яхимович, Н.Н. Мосина (РФ), 2001131776/20; Заявл. 28.11.2001; Оpubл. 20.06.2002, Бюл №17. – 3 с.
122. Патент на полезную модель № 113515 RU, МПК В 65 G 65/32, В 65 D 88/54. Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер / А.В. Варламов, Н.Н. Мазько, И.В. Горюшинский; Заявлено 10.03.2011; Оpubл. 20.02.2012.
123. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1968. – 382 с.
124. Соколов А.М. Прочность несущих конструкций специализированных вагонов с регулируемой разгрузкой: Дисс. ... канд. техн. наук. - СПб.: ПГУПС, 2000. - 114 с.
125. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1968. – 504 с.
126. Степанов А.Л. Портовое перегрузочное оборудование: Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1996. – 328 с.
127. Степанов А.Л. Экологический инжиниринг портовых технологий: Порт как природопользователь в системе судоходства и региональных техноантропогенных нагрузок. – СПб.: «Элмор», 1994. – 136 с.
128. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / В.И. Фисинин и др. – М.: Росинформагротех, 2009. – 80 с.
129. Стратегия машинно-технологического обеспечения производства продукции животноводства на период до 2020 года / соавт.: Ю.Ф.Лачуга и др.; Всерос. н.-и. и проектно-технол. ин-т механизации животноводства. - М.: ФГНУ Росинформагротех, 2009. - 71 с.
130. Таймер О.Ф. Аварии железобетонных силосов зерновых элеваторов/ Конструирование и технология машиностроения. / Тр. Американского общества инженеров-механиков. – М.: Мир, 1969, №2, том 91, серия В,181 с.

131. Тарасов А.Г. Исследование вибрационного сводообрушителя кормов в бункерах на птицефабриках: Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1976. - 195 с.
132. Теоретическая механика во ВТУЗах / Под общей ред. А.А. Яблонского. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1975. – 311 с.
133. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой, О. В. Верняев, И. И. Смирнов, Е. Г. Султан-Шах. – М.: Машиностроение, 1977. - 568 с.
134. Тимочкин А.В. Совершенствование разгрузочного процесса в транспортно-складских комплексах (на примере сельскохозяйственных грузов): Дис... канд. техн. наук. – СПб., 2003. – 135 с.
135. Третьяков Г.М. Совершенствование рабочего процесса и обоснование параметров цилиндрического бункерного устройства с побудителем типа лопастного колеса для выпуска компонентов комбикорма: Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов, 1998. – 119 с.
136. Третьяков Г.М., Горюшинский В.С., Горюшинский И.В. Контейнерно-транспортные системы в агропромышленном комплексе. Учебное пособие. – М.: Колос. 2002. – 224 с.
137. Третьяков Г.М. Повышение эффективности функционирования транспортно-складских систем обеспечения комбикормовых предприятий сырьем: Дис. ... д-ра техн. наук. – Самара, 2004. – 290 с.
138. Федеральный закон РФ № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ». М.: 2009. – 41 с.
139. Черкасов И.И. Механические свойства грунтов. – М.: Транспорт, 1981.
140. Чурков Н.А., Эстлинг А.А. Общее устройство вагонов и их взаимодействие с техническими средствами железных дорог: Учеб. пособие ПГУПС. – СПб.: 1997. – 126 с.

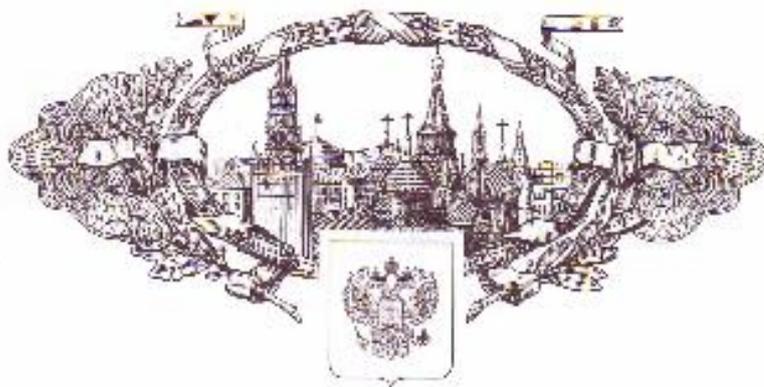
141. Чесноков С.П. Исследование явления сводообразования в бункерах применяемых в железнодорожном хозяйстве: Дисс. ... канд. техн. наук – 1953. – 130 с.
142. Шилкин В.И., Кузьмюков В.Р., Любченко В.Б. Типаж и структура средств механизации погрузочно-разгрузочных и складских работ. – Рязань.: ГНУ ВНИМС, 2001. – 128 с.
143. Шполянская А. Исследование механических свойств зерна разной влажности при статическом и ударном сжатии: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1947. – 154 с.
144. Яблонский А.А., Никифорова В.М. Курс теоретической механики. Учебник для техн. вузов. – 8-е изд., стереотипное. – Спб.: Издательство «Лань», 2001. – 768 с.
145. Ягофанов Х. Стальные бункера как пространственные системы: Автореф. дисс. ... д-ра. техн. наук. - Екатеринбург.: УрГАПС, 1998. - 47 с.
146. Яковлев В.Ф., Дудкин Е.П. Безопасность движения на промышленных железных дорогах: Учебное пособие. – Л.: ПГУПС, 1989. – 74 с.
147. Ясман С., Кобеляк С. О конструкции силосов / Мукомольная, элеваторная и комбикормовая промышленность. №11, 1986. - с. 42 - 47.
148. Яшин А.Ф., Шайдулин Г.Г., Асеев С.А. Эффективный способ погрузки удобрений в вагоны / Промышленный транспорт №2, 1983. - с. 15 - 16.
149. Яшин А.Ф. Исследование процессов истечения сыпучих грузов при железнодорожных перевозках: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук – Новосибирск, 1970. – 21 с.
150. A Numerical Model for Flow of Granular Materials in Silos. Part 2: Model Validation S. C. Negi; Z. Lu; J. C. Jofriet School of Engineering, University of Guelph. Guelph. Ontario. Canada N1G 2W1.
151. Finite Element Analysis of Bulk Solids Flow: Part 1, Development of a Model Based on a Secant Constitutive Relationship. Qinggang Meng; Jan C. Jofriet; Sarish C. Negi School of Engineering, University of Guelphi,

Guelphi. Ontario. NIG 2\V1. Canada (Received 15 September 1995; accepted in revised form 14 March).

152. Jenike A.W. Why bins don't flow. - "Mechanical Engineering", may, p.40-43, 1964.
153. Jenike A.W., Elsey P.I., Woley R.H. Flow properties of bulk solids. - "Proceedings A.S.T.M.", vol.60, p. 1168-1181, 1960.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 113515

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАГРУЗКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БУНКЕР

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный университет путей сообщения" (СамГУПС) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011108989

Приоритет полезной модели 10 марта 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 февраля 2012 г.

Срок действия патента истекает 10 марта 2021 г.



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU**<sup>(11)</sup>

**113515**<sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК  
**B65G65/32** (2006.01)  
**B65D88/54** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ**

Статус: по данным на 09.06.2012 - действует  
Пошлина: учтена за 1 год с 10.03.2011 по 10.03.2012

(21), (22) Заявка: 2011108989/11, 10.03.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.03.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.03.2011

(45) Опубликовано: 20.02.2012

Адрес для переписки:

443066, г. Самара, 1-й Безымянный пер., 18,  
СамГУПС, отдел защиты интеллектуальной  
собственности

(72) Автор(ы):

Варламов Александр Васильевич (RU),  
Мазько Наталья Николаевна (RU),  
Горюшинский Игорь Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования "Самарский государственный  
университет путей сообщения" (СамГУПС)  
(RU)

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАГРУЗКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БУНКЕР**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к машиностроительной отрасли, а конкретно к устройствам для загрузки сыпучего материала в бункеры и может быть использована в различных отраслях агропромышленного комплекса, как в открытых, так и закрытых бункерах. Техническим результатом предлагаемого устройства является упрощение конструкции и повышение его надежности. Технический результат достигается тем, что в устройстве для загрузки сыпучих материалов в бункер для их хранения, содержащем загрузочную воронку для подачи сыпучего материала и расположенный под загрузочной воронкой на валу соосно ей распределитель сыпучего материала, распределитель выполнен из не менее четырех лопастей с возможностью постоянного и равномерного вращения вокруг оси вала, лопасти выполнены винтообразными с углом атаки 18-21°, каждая лопасть представляет собой форму половины лепестка, вершина которого закреплена на валу распределителя. 5 илл.

Полезная модель относится к машиностроительной отрасли, а конкретно к устройствам для загрузки сыпучего материала в бункеры и может быть использована в различных отраслях агропромышленного комплекса, как в открытых, так и закрытых бункерах.

Известно устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер для их хранения, содержащее загрузочную воронку для подачи сыпучего материала в бункер и расположенный под загрузочной воронкой и соосно ей распределитель сыпучего материала, выполненный в виде полого усеченного конуса, обогаченного своей узкой частью, имеющий центральное входное отверстие для сыпучего материала, в сторону загрузочной воронки, диаметр выходного отверстия которой, расположенного на ее суженной части, обращенной вниз, больше диаметра суженной части распределителя материала (Патент US 3868028 A, 25.02.1975).

Известное устройство недостаточно обеспечивает распределение сыпучего материала в бункере при его загрузке. Степень равномерности этого распределения не слишком высока, поскольку в нем недостаточно разделяется на потоки подаваемый в бункер материал. В основном материал поступает в центральное входное отверстие распределителя и перемещение материала по поверхности стенки распределителя, что является недостаточным для равномерной загрузки по всему бункеру. Известно устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер для их хранения, содержащее загрузочную воронку для подачи сыпучего материала в бункер и расположенный под загрузочной воронкой и соосно ей распределитель сыпучего материала, выполненный в виде полого усеченного конуса, обращенного своей узкой частью, имеющий центральное входное отверстие для сыпучего материала, в сторону загрузочной воронки, диаметр выходного отверстия которой, расположенного на ее суженной части, обращенной вниз, больше диаметра центрального входного отверстия усеченного конуса распределителя материала. Полный усеченный конус распределителя выполнен с отверстиями в его стенке, расположенными по поверхности упомянутой стенки в шахматном порядке с образованием расположенных по высоте рядов отверстий, а также распределитель снабжен расположенными друг над другом усеченными конусами, установленными с возможностью регулирования площади отверстий в стенке распределителя посредством их поворота [Патент РФ № 2225821, МПК В65D 88/54, В65G 65/40,

«Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер», авторы: Третьяков Г.М. и др., опубл. 20.03.2004., БИ № 14].

Недостатком данного технического решения является сложность конструкции и трудоемкость ее выполнения. При загрузке сыпучего материала забиваются прямоугольные отверстия распределителя, происходит налипание материала на стенки конусов, что делает невозможным их поворот, вызывая поломку устройства.

Техническим результатом предлагаемого устройства является упрощение конструкции и повышение его надежности.

Технический результат достигается тем, что в устройстве для загрузки сыпучих материалов в бункер для их хранения, содержащем загрузочную воронку для подачи сыпучего материала и расположенный под загрузочной воронкой на валу соосно ей распределитель сыпучего материала, распределитель выполнен из не менее четырех лопастей с возможностью постоянного и равномерного вращения вокруг оси вала, лопасти выполнены винтообразными с углом атаки 18-21°, каждая лопасть представляет собой форму половины лепестка, вершина которого закреплена на валу распределителя.

Выполнение распределителя из не менее четырех винтообразных лопастей с углом атаки от 18° до 21°, обеспечивает постоянное и равномерное вращение их вокруг собственной оси, а следовательно равномерное распределение материала по сечению загружаемого бункера.

На фиг.1 показано устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер.

На фиг.2 показан вид по сечению А-А.

На фиг.3 показан вид по сечению В-В.

На фиг.4 показана схема расположения угла атаки лопасти распределителя сыпучего материала.

На фиг.5 показан график зависимости влияния угла атаки лопасти на диаметр разброса материала.

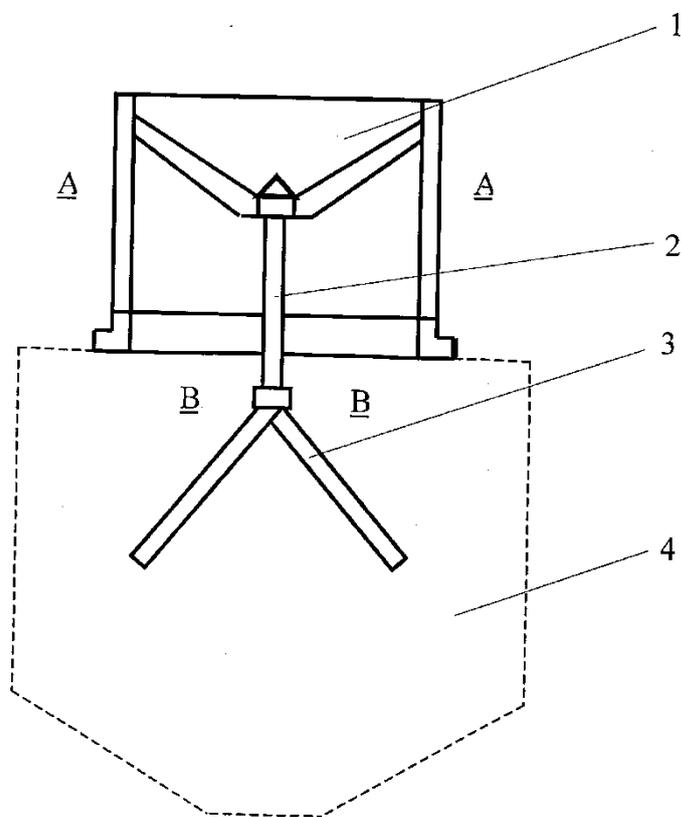
Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер состоит из загрузочной воронки 1, вала 2, не менее четырех винтообразных лопастей 3, бункера 4, выпускного отверстия 5.

Данное устройство устанавливается на емкость для загрузки сыпучего материала и работает следующим образом. Сыпучий материал, истекая из загрузочных механизмов, поступает в загрузочную воронку 1, отсюда из ее выпускного отверстия 5 направляется к лопастям 3, закрепленным на валу 2 с возможностью вращения вокруг своей оси и приводит их в круговое движение под действием гравитационных сил, возникающих от потока сыпучего материала. Таким образом, материал равномерно распределяется по всему сечению бункера 4.

Предлагаемое устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер обладает простотой и надежностью конструкции, легкостью в изготовлении, универсальностью, отсутствием энергозатрат, и обеспечивает равномерное распределение сыпучего материала по всему сечению загружаемой емкости.

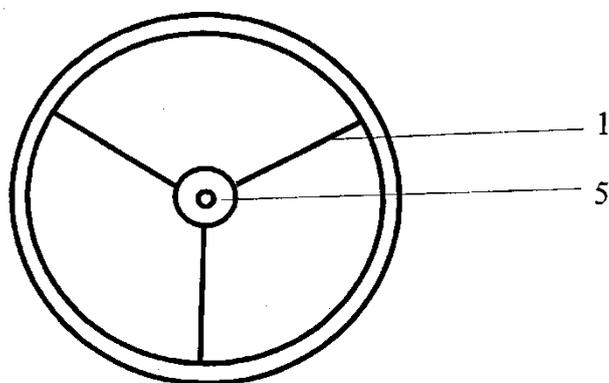
Формула полезной модели

Устройство для загрузки сыпучих материалов в бункер для их хранения, содержащее загрузочную воронку для подачи сыпучего материала и расположенный под загрузочной воронкой на валу соосно ей распределитель сыпучего материала, отличающееся тем, что распределитель выполнен из не менее четырех лопастей с возможностью постоянного и равномерного вращения вокруг оси вала, лопасти выполнены винтообразными с углом атаки 18-21°. каждая лопасть представляет собой форму половины лепестка, вершина которого закреплена на валу распределителя.



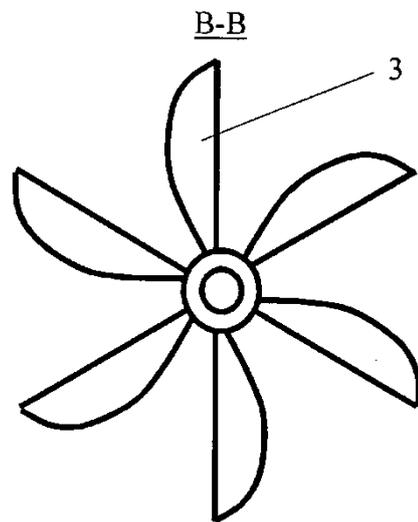
Фиг. 1

A-A

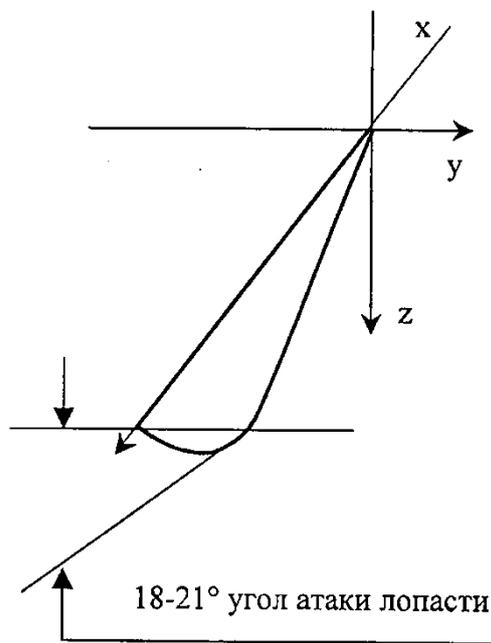


Фиг. 2

Устройство для загрузки  
сыпучих материалов в бункер

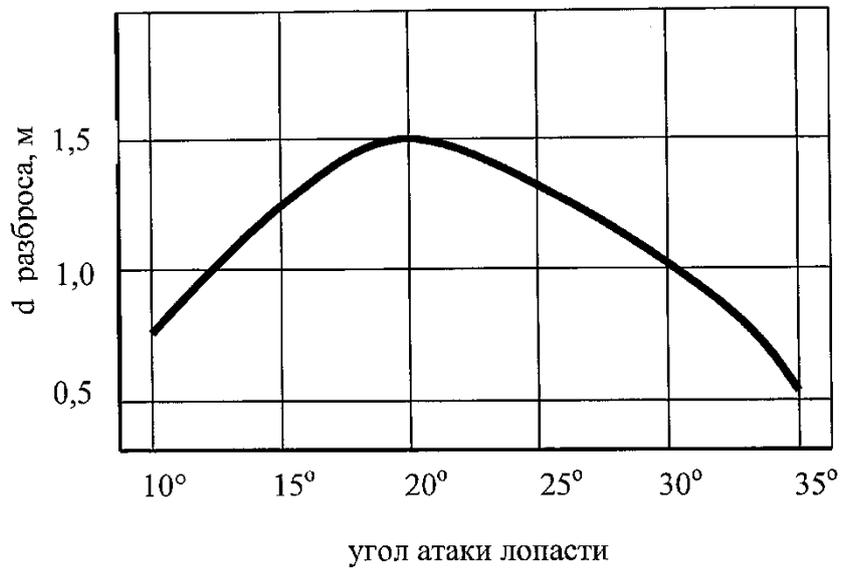


Фиг. 3

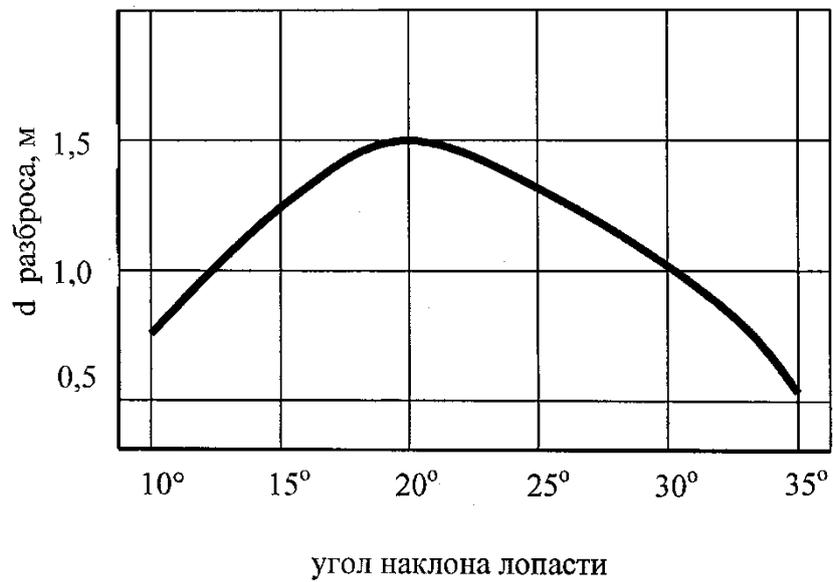


Фиг. 4

**Устройство для загрузки  
сыпучих материалов в бункер**



Фиг. 5



Фиг. 6

# "АГРОЛЮКС"

ОП «Самарский комбикормовый завод»

Почтовый адрес:  
443099 г. Самара, Хлебная площадь д. 6;  
E-mail : [a.frolova@luxagro.ru](mailto:a.frolova@luxagro.ru)  
факс+7(846) 332-21-56;

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора по  
техническим вопросам  
ОП «Самарский  
комбикормовый завод»  
ООО «Агролюкс»

  
Здобнов В. В.  
« 25 »  2010 г.

## АКТ

внедрения результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Мазько Натальи Николаевны

Комиссия в составе:

Председатель: Замалеев И. Ф. – начальник цеха по производству комбикормов ОП «Самарский комбикормовый завод»;

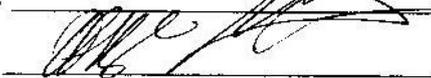
Члены комиссии: Прибылов В. Е. – и. о. главного энергетика ОП «Самарский комбикормовый завод»;

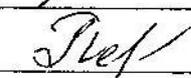
Петрякова Е.А.- мастер по сырью цеха по производству комбикормов ОП «Самарский комбикормовый завод»;

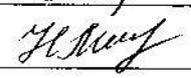
Комиссия в цехе комбикормового производства Самарского комбикормового завода провела испытания загрузочно-распределительного устройства с гравитационным приводом и установила следующее:

1. Загрузочно-распределительное устройство с гравитационным приводом работоспособно на погрузке отрубей и комбикорма. При загрузке наблюдалось равномерное распределение материала по сечению транспортировочной емкости.
2. Загрузочно - распределительное устройство позволяет увеличить статическую нагрузку вагонов-зерновозов до 41,5 т, что приводит к экономии расходов на перевозку. По существующей технологии статическая нагрузка при перевозке отрубей составляет 38 т.
3. Комиссия отмечает целесообразность применения предлагаемого загрузочно-распределительного устройства для загрузки комбикорма и отрубей в вагоны-зерновозы. Загрузочно-распределительное устройство пригодно для эксплуатации, является перспективной конструкцией и может служить основой для создания промышленного образца.

Председатель комиссии:  (И. Ф. Замалеев)

Члены комиссии:  (В. Е. Прибылов)

 (Петрякова Е.А.)

Соискатель:  (Н. Н. Мазько)