

ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Пронин Алексей Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА**

Специальность 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Булатов Сергей Юрьевич

Княгинино – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	13
1.1 Постановка задачи.....	13
1.2 Классификация дозаторов сыпучих компонентов.....	15
1.3 Анализ конструкций шнековых дозаторов сухих сыпучих компонентов	20
1.4 Краткий обзор научных работ по процессу дозирования.....	41
1.5 Выводы по разделу.....	47
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	49
2.1 Описание схемы и алгоритма дозирования.....	49
2.2 Описание процесса дозирования	53
2.3 Принятые допущения и ограничения.....	56
2.4 Расчет массы сыпучего материала, дозируемого при торможении шнека дозатора.....	58
2.5 Определение массы сыпучего компонента, пребывающего в условиях свободного падения	61
2.5.1 Определение высоты падения.....	62
2.5.2 Определение центра массы слоя материала в шнеке дозатора	63
2.5.3 Определение центрального угла сегмента	64
2.5.4 Определение высоты конуса насыпного компонента, пребывающего в наличии во время активации датчика	65
2.5.5 Расчет массы сыпучего компонента.....	66
2.6 Выводы по разделу.....	71
3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	72
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	72
3.2 Лабораторные установки.....	72
3.3 Приборы и оборудование	78
3.4 Методика определения погрешности дозирования устройства с асинхронным электроприводом.....	79

3.5 Методика определения погрешности дозирования устройства с шаговым электроприводом.....	80
3.6 Методика испытания устройства в режиме дозирования двумя шнеками ...	81
3.7 Методика производственной проверки работоспособности двухшнекового дозатора компонентов комбикорма.....	84
3.8 Методика определения погрешности дозирования.....	91
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА	93
4.1 Результаты исследований рабочего процесса дозатора с асинхронным электродвигателем	93
4.2 Результаты исследований рабочего процесса дозатора с шаговым электродвигателем	100
4.3 Результаты исследований в режиме дозирования двумя шнеками	103
4.4 Результаты производственных испытаний в режиме дозирования двумя шнеками	107
4.5 Выводы по разделу.....	111
5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СУХИХ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА	113
5.1 Характеристика сравниваемых образцов дозируемого сырья, анализ рынка и выбор базы сравнения.....	113
5.2 Расчет технико-экономических показателей	115
5.3 Выводы по разделу.....	116
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ	134
Приложение А	135
Приложение Б.....	136
Приложение В.....	137
Приложение Г	140
Приложение Д.....	145
Приложение Е.....	146

Приложение Ж.....	150
Приложение З	152
Приложение И	154
Приложение К.....	156
Приложение Л.....	158
Приложение М.....	160
Приложение Н	162
Приложение О	164
Приложение П	165
Приложение Р	166
Приложение С.....	171
Приложение Т.....	178
Приложение У	182

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Федеральным законом от 29.12.2006 г. №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» установлены первостепенные задачи и направления в сфере развития сельского хозяйства, заключающиеся в повышении конкурентоспособности как в производственной, так и в экономической деятельности, а также содействии устойчивому развитию межселенных территорий и территорий сельских поселений. Основной целью вышеуказанного закона является обеспечение населения продовольственной продукцией российского производства. В то же время Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, продовольствия и сырья с изменениями от 02 сентября 2021 года (Постановление Правительства Российской Федерации №1474) определяет приоритеты и цели государственной политики в развитии пищевой и перерабатывающей промышленности, животноводства и растениеводства с внедрением инновационных технологий, позволяющих достичь целевых показателей для решения одной из первостепенных проблем российского сельского хозяйства – внушительной себестоимости производимой сельхозпродукции (круп, яиц, молока, мяса, овощей, фруктов). При этом, эффективное соперничество с иностранными производителями на продовольственном рынке неосуществимо без сокращения затрат и нуждается в постоянном повышении количества и качества производимой продукции. Реализация поставленных задач достигается путем увеличения доли современных сельскохозяйственных комплексов и перерабатывающих предприятий с внедрением передового, эффективного и надежного оборудования с параллельной автоматизацией технологических процессов [16; 111].

Областью реализации инновационных технологий все чаще становится животноводство. Характерной особенностью данного направления является непрерывный, последовательный технологический процесс, обеспечивающий все

потребности, включая сбалансированное кормление и содержание большой концентрации поголовья скота и птицы на животноводческом комплексе. Определённо, высокопроизводительное и точное дозирующее оборудование для приготовления комбикормов могло бы принципиально повысить эффективность производства, упростить работу обслуживающего персонала, повысить качество и объёмы выпускаемой продукции, а также достигнуть существенной экономии средств.

Всеобщее признание, что продуктивность и рост животных и птицы обусловлен качеством кормления, селекцией и условиями содержания [5; 52]. Передовое и эффективное животноводство предполагает необходимость введения макро и микрокомпонентов, различных специальных ингредиентов и периодическое добавление вакцин в сбалансированный рацион [16]. Пищевые, витаминные и лечебные добавки способны существенно улучшить качество производимой продукции, а групповая вакцинация через рацион животных и птицы – защитить поголовье, что очень важно в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки современности [19].

Основным недостатком существующих дозирующих устройств и линий по приготовлению комбикормов является относительно низкая точность дозировки, зависящая от множества факторов, которая приводит к недостатку, либо чрезмерной концентрации минеральных веществ и витаминов в приготовленном корме для животных [11]. При этом современная рецептура требует точного дозирования. Несоблюдение технологического процесса особо негативно сказывается на здоровье и репродуктивности животных, что напрямую влияет на объёмы производства и грозит потерей его эффективности [23]. Оптимальная точность дозирования обеспечивает соблюдение рецептуры приготовления комбикорма для птиц и животных, что положительно сказывается на их содержании и здоровье, при этом существенно стимулирует увеличение прироста поголовья в хозяйстве, а также значительно экономит дорогостоящие компоненты, входящие в состав повседневного рациона [33].

Степень разработанности темы. Научными исследованиями, сосредоточенными на усовершенствовании процесса дозирования сыпучих ингредиентов в процессе приготовления продукции занимались: В.Р. Алешкин, А.В. Алешкин, В.М. Барановский, С.Ю. Булатов, А.С. Буркина, П.В. Давыденко, Р.Л. Зенков, А.В. Катылымов, В.А. Керженцев, В.В. Коновалов, М.А. Лапиков, Е.А. Никитин, С.И. Поляков, Г.А. Родыгинский, А.Г. Сергеев, П.А. Савиных, В.А. Сысуев, В.И. Солодун, О.А. Тареева, И.В. Юдаев, Р. А. Chongchitpaisan, R. Nevko, D. Minglani, T.O. Olanrewaju, Z. Yang и др. [1; 7; 9; 16; 33; 42; 44; 45; 53; 54; 61; 92; 96; 101; 104; 106; 107; 114; 115; 116; 117; 118; 123].

При анализе существующих научных исследований выявлено, что проблемной ситуацией в производстве комбикормов является наличие в нем большого количества компонентов с разными физико-механическими свойствами, что требует либо применения большого количества дозирующих устройств, либо перенастройки дозаторов под конкретный элемент комбикорма. Поэтому разработка современных универсальных дозирующих устройств с высокими показателями работы является актуальной задачей в современных условиях и предоставляет возможность оптимизировать технологические процессы дозирования, исключить использование неквалифицированной рабочей силы, повысить качество и уменьшить себестоимость комбикорма.

Цель исследования – повышение эффективности дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма двухшнековым дозатором.

Задачи исследования:

1. Провести анализ конструкций дозирующих устройств сухих сыпучих компонентов, применяемых в агропромышленном комплексе и обосновать конструкцию дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма.

2. Получить теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

3. Провести экспериментальные исследования рабочего процесса

двухшнекового дозирующего устройства сухих сыпучих компонентов комбикорма и оценить влияние конструкционных и режимных параметров дозатора на точность дозирования.

4. Испытать двухшнековый дозатор в производственных условиях и оценить технико-экономическую эффективность от применения двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Объект исследования: процесс дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Предмет исследования: конструкционные и технологические параметры, а также показатели точности дозирования двухшнекового дозатора для сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Научную новизну работы составляют:

1. Теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

2. Конструкция двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов (патент на изобретение № 2813794 Российская Федерация).

3. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 Российская Федерация).

4. Оптимальные параметры двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма, обеспечивающих допустимую точность дозирования.

Теоретическая и практическая значимость

Выведены аналитические зависимости, с помощью которых можно рассчитать массу дозируемого компонента, досыпаемую дозатором при торможении и массу компонента, находящегося в состоянии свободного падения, которые не оказывают влияние на датчики веса и являются погрешностью дозирования. Значение суммы этих масс вводится в программу управления дозатором, тем самым повышается точность дозирования.

Ценность работы с практической точки зрения заключается в возможности применения предложенного дозатора и программы управления им фирмами-производителями комбикормового оборудования и производителями комбикормов с целью повышения точности ввода компонентов комбикорма.

Производственная проверка двухшнекового дозатора компонентов комбикорма проводилась в составе линии по производству корма для КРС в ООО ПЗ «Большемурашкинский». Полученные результаты исследований переданы ЗАО «Доза-Агро» Нижегородской области. Результаты производственных испытаний и внедрения научных исследований рабочего процесса двухшнекового дозатора компонентов комбикорма подтверждены соответствующими документами (приложения Т, У).

Теоретическая и методологическая основа исследования

С целью установления актуальности направления научных исследований изучались материалы международных научных и отраслевых конференций, выставок, сайты ведущих производителей, новейшие технологические и технические решения в сфере дозирующих систем, современные устройства дозирования сухих сыпучих компонентов, выпускаемые зарубежными и отечественными компаниями: «АффиксПро», TrueWeighTM, DEGA, SHINI, "ПТФ "Техпром", «U-pack-tech» и др. Были проанализированы источники научно-технической и патентной литературы, осуществлено сравнительное исследование существующих конструкций дозаторов.

Теоретические исследования основаны на законах теоретической механики. Исследования проводились с использованием программы для статистического анализа и обработки данных Statgraphics, а также программ математического моделирования, анализа и обработки данных, многофункциональных интерактивных вычислительных систем, трехмерного проектирования (MathCad, MS Word, Excel, Компас 3D и др.). Во время осуществления научных исследований применялась современная измерительная аппаратура и вычислительная техника, задействовались экспериментальные лабораторные

установки для определения точности дозирования.

Достоверность основных положений работы подтверждается высокой степенью сходимости результатов теоретических расчетов и эксперимента, применением известных способов оценки точности дозирования, большим объемом проведенных экспериментальных исследований, применением современного высокоточного измерительного и вычислительного оборудования, апробацией результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющих погрешность дозирования.

2. Конструкция двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов (патент на изобретение № 2813794 Российская Федерация, приложение А).

3. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 Российская Федерация, приложение Б).

4. Оптимальные параметры двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма, обеспечивающих допустимую точность дозирования.

Апробация результатов работы. Основные положения научной работы и результаты исследований представлялись на рассмотрение и подвергались обсуждению в ходе:

1-й Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире», Княгинино, НГИЭУ, 2021;

- 2-я Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и технологий в современном мире», Княгинино, НГИЭУ, 2023;

- XXVII-й Международной научно-практической конференции «Инновационная техника и цифровые технологии в животноводстве», Москва, ФНАЦ ВИМ, 2023;

- 3-я Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные

проблемы науки и технологий в современном мире», Княгинино, НГИЭУ, 2024.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 8 публикаций в рецензируемых научных изданиях, получен 1 патент РФ на изобретение, 1 свидетельство государственной регистрации программы для электронно-вычислительных машин.

Личный вклад автора в работу. По теме диссертации автором лично и при его непосредственном участии выполнены все этапы работы, включающие проведение критического обзора существующих дозирующих устройств сухих сыпучих компонентов, постановку проблемы, формулировку цели и задач исследований, разработку двухшнекового дозатора компонентов комбикорма, определение параметров и режимов работы двухшнекового дозатора сыпучих материалов, изготовление лабораторного образца установки, экспериментальное подтверждение теоретических предпосылок и установление оптимальных факторов при дозировании сухих сыпучих компонентов, где погрешность не превышает допустимое значение, проведение производственных испытаний разработанного устройства и определение его экономической и энергетической эффективности.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы со 123 наименованиями, изложена на 134 листах машинописного текста, содержит 58 рисунков, 9 таблиц, приложения.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Постановка задачи

Производство комбикормов для сельскохозяйственных животных является одним из ключевых направлений в развитии животноводства и агропромышленного комплекса Российской Федерации в целом. Полноценное самообеспечение любого животноводческого хозяйства кормбикормами предопределяет степень развития и экономическую составляющую как крупных птицефабрик, животноводческих предприятий, так и небольших фермерских хозяйств. Себестоимость продукции животноводства в среднем на 70% состоит из затрат на приобретение кормов [5].

Предназначение предприятий по производству комбикормов – это приготовление сбалансированных кормосмесей для обеспечения полноценным суточным рационом [110], в который входят все необходимые питательные вещества и витамины в определенном количестве, согласно рецептуре. Что в итоге положительно сказывается на здоровье, росте и продуктивности животных, а также сохранности поголовья.

По мере развития животноводческой отрасли и создания крупных сельскохозяйственных предприятий, животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик стало очевидно, что невозможно накормить крупное поголовье животных без использования сбалансированных комбикормов. Потребность обеспечения комбикормами значительно возросла, требуемые объемы которых возможно приготовить только промышленным способом на сельхозпроизводствах и специализированных предприятиях. Для повышения показателей качества комбикормов требуется неукоснительное соблюдение научно-обоснованных норм по питательности, безвредности и

сбалансированности кормовой смеси для животных и птицы с учетом возраста и направленности, от рождения до забоя. Поэтому, для приготовления комбикормовых смесей строятся отдельные производства, разрабатываются дозирующие устройства и линии, которые осуществляют выпуск продукции, состав которой гарантирует точность рецептуры смеси, требуемый химический состав при смешивании и обогащении, подтвержденный научными исследованиями, а также предполагает вероятность полного потребления комбикорма животными с гарантией безопасного переваривания всех содержащихся компонентов. Необходимо учесть, что перенасыщение смеси отдельными компонентами может привести к низким показателям продуктивности [48], а в отдельных случаях, к болезни и гибели животных. В процессе приготовления комбикормовой смеси дозирование является важным и сложным технологическим процессом, к которому предъявляются строгие требования в части точности определения массы и объема вводимых компонентов.

Неукоснительное соблюдение рецептуры возможно только при наличии надежного устройства, гарантирующего точность и постоянный контроль каждого этапа процесса дозирования, а также имеющего возможность введения необходимых корректирующих настроек во время технологического процесса, обеспечивающих максимальную точность, высокую производительность и возможность многокомпонентного дозирования. Одним из важнейших параметров такого устройства является наличие функции дозирования ингредиентов, входящих в состав рецепта в микродозах. В то же время, оборудование должно обеспечивать максимальную загрузку при минимальных трудовых и энергетических затратах и иметь высокую эффективность.

Таким образом, разработка и исследование дозирующих устройств является на сегодняшний день важной и актуальной задачей.

1.2 Классификация дозаторов сыпучих компонентов

Дозаторами называются устройства, предназначенные для отмеривания и выдачи заданной дозы материала. Дозирование – это технологическая операция по отмериванию необходимого количества компонента с требуемой точностью. Точность дозирования устанавливается технологическими требованиями и аргументируется экономическими обоснованиями [4; 7; 12; 33; 56; 107].

Для безупречного выполнения всех этапов технологического процесса дозирующее оборудование не следует воспринимать как отдельно взятую единицу, а как неделимую часть в составе всей производственной линии. Потому что, от надёжного и точного функционирования данного устройства будет зависеть качество выпускаемой продукции.

К текущему периоду времени разработано огромное количество дозирующих устройств и разного вспомогательного оборудования. Связано это с тем, что к данному технологическому оборудованию предъявляется широкий набор определенных технических требований, характеристик и особенностей технологического процесса [111].

По принципу действия дозирующие устройства (рисунок 1.1) классифицируются на весовые и объемные.

При применении первого метода порцию измеряют по массе, а при применении второго – по объему. Необходимо учесть, что влияние на точность при дозировании сыпучих компонентов в объемных дозирующих устройствах оказывает плотность продукции.

По характеру прохождения технологического процесса дозирование подразделяется на дискретное (порционное) и непрерывного действия. Периодическая цикличность взвешивания дозы продукции типична для дискретного объемного дозирования. Данные устройства для дозирования сыпучих компонентов конструктивно просты, но имеют высокую погрешность в точности

дозирования. Дискретные (массовые) дозирующие устройства построены на отделении необходимой дозы определенной массы, имеют высокую точность, но технологически и конструктивно сложны.

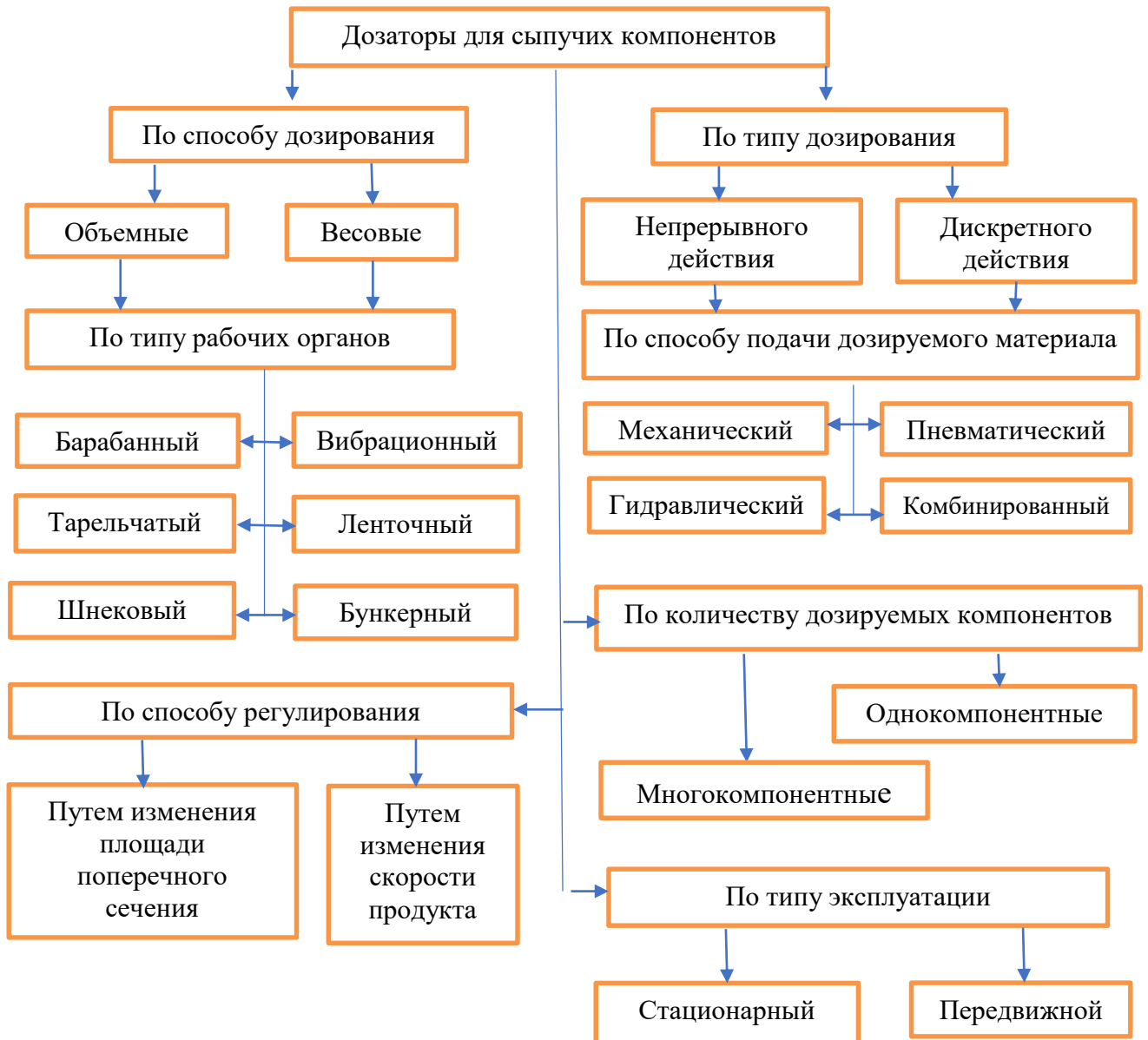


Рисунок 1.1 – Классификация дозирующих устройств*
 *Источник: составлено автором по данным [1; 20; 26; 94]

При массовом непрерывном дозировании необходимо принимать к сведению такой показатель, как влажность окружающего воздуха, оказывающий влияние на равновесную влажность компонента. При относительном изменении влажности воздуха разница массы сухого компонента может отклоняться от изначальной до

10% [91]. Это ведет к огромной погрешности дозирования.

Объемные устройства непрерывного дозирования не очень требовательны к качеству продукции и позволяют осуществлять технологический процесс в соответствии с предъявляемыми требованиями.

По виду рабочих органов дозирующие устройства подразделяются на вибрационные, шнековые, тарельчатые, барабанные, ленточные и бункерные.

Вибрационное дозирующее оборудование – это устройство, предназначенное для доставки и дозирования сыпучих компонентов. Работа устройства основана на передвижении сыпучего компонента за счет вибрации. Основным недостатком является высокая погрешность.

Шнековый дозатор состоит из бункера, оборудованного датчиком уровня шнека, лопастей и разгрузочного устройства (питатель и клапан). Недостатками данного устройства являются: малая точность при работе с материалами неоднородной плотности, истирание материала и невозможность применения для подачи влажного налипающего материала, а также высокая энергоемкость.

Тарельчатые дозаторы достаточно точны, обладают широким диапазоном регулирования производительности и обеспечивают достаточно равномерную подачу продукции. Дозаторы этого типа эффективно используются для дозирования мелкокусковой и мелкозернистой продукции. Но они обладают довольно серьезной неточностью дозирования за счет изменения фракционного состава, возможной перемены влажности компонента и условий нахождения материала в бункере (слёживания).

Барабанный дозатор используется для дозирования сыпучих компонентов. Барабанные дозирующие устройства подразделяются на ячеистые, лопастные, цилиндрические, гладкие и рифленые. В ячеистых и лопастных барабанах подача продукции зависит от объема и числа секторов. Подача продукции регулируется изменением частоты их вращения. Цилиндрические, гладкие дозирующие устройства обеспечивают подачу компонента с помощью силы трения и сцепления с поверхностью барабана, а подача продукции изменяется за счет регулировочной

заслонки. Производительность и точность дозирования барабанного дозатора зависят, в основном, от физико-механических свойств продукта, и особенно от объема массы и ее постоянства во время дозирования.

Ленточные дозирующие устройства позволяют обеспечивать непрерывное или дискретно-непрерывное весовое дозирование, а также могут использоваться для непрерывного динамического взвешивания и дозирования продукции. Данные устройства отличаются равномерностью подачи материала, простотой технического обслуживания и ремонтпригодностью. При этом обладают достаточно высокой энергоемкостью и малой точностью дозирования.

Бункеры-дозаторы используются в сельскохозяйственной и строительной отраслях для дозирования различных сухих, гранулированных, сыпучих фракций и добавок, а также в производстве различных смесей. Подача компонента в резервуар бункера производится ручным, либо механическим способом, во время достижения необходимой массы производится выгрузка. Отличается несложной конструкцией, во время рабочего процесса учет дозы производится в основном по объему, при этом имеет незначительный диапазон регулировки.

По подаче дозируемого материала устройства можно классифицировать по двум основным способам: гравитационному и принудительному. При гравитационном способе процесс протекает за счет атмосферного давления и только под воздействием силы тяжести (самотеком). Принудительный способ подачи можно классифицировать по следующим видам: механический, гидравлический, пневматический и комбинированный. Каждый вид обеспечивает подачу энергии исполнительному механизму и генерирует его движение. У каждого вида своя рабочая среда, что делает различными их характеристики.

Механический привод – это устройство, в котором для передвижения компонента применяется усилие рабочего органа, например, электропривод. Электрический привод преобразует электрическую энергию в механическое движение исполнительного механизма. Электроприводы различаются по нескольким параметрам, таким как ток, напряжение, мощность, конструкционные

особенности и т.д. Электропривод достаточно экономичен, является главным потребителем энергии и практически основным источником механической энергии в промышленном производстве.

Пневматический привод – это устройство, приводящее в движение механизм с помощью сжатого газа (воздуха). Пневмопривод долговечен, экологичен, надежен, экономичен и достаточно прост в эксплуатации. Скорость движения рабочего механизма пневмопривода значительно выше, чем в гидроприводе, также он не оказывает отрицательного воздействия на окружающую среду. Недостатками пневмопривода являются: невысокая точность, недостаточная плавность хода (резкость, прерывистость), небольшой коэффициент полезного действия и образование конденсата в рабочем механизме, что оказывает отрицательное влияние на производственный процесс.

Гидропривод – это устройство, приводящее в движение механизм с помощью жидкости. Подразделяются на два основных принципа работы: объемный и гидродинамический. При объемном способе используется энергия давления рабочей жидкости, а в гидродинамическом – энергия потока жидкости, которая прямо пропорциональна развиваемой мощности. Главным достоинством гидропривода является возможность развивать огромное усилие при достаточно компактных параметрах. По сравнению с пневмоприводом гидропривод подобного размера генерирует силу в двадцать пять раз больше, при этом имеет достаточно высокий коэффициент полезного действия, а также широкий диапазон рабочей температуры [40; 94; 105].

Основными недостатками гидропривода являются: высокая стоимость устройства и технического обслуживания, не экологичен, низкая точность и энергетическая неэффективность [49; 94].

Рассмотрение и анализ описаний рабочих процессов и конструктивных схем дозирующих устройств показал, что разработка и создание наиболее рациональной конструкции дозирующего устройства, которая бы обеспечила высокую точность дозирования, малый расход энергии, максимальную производительность и

высокую надежность, а также отвечала бы технологическим требованиям современного производства, не прекращается [94].

Необходимо сделать вывод, что на предприятиях агропромышленного комплекса при производстве комбикормов и прочей продукции эффективно и целесообразно применять шнековые дозирующие устройства в связи с их высокой точностью, надежностью и универсальностью.

Данный тип имеет широкий диапазон пропускной способности, который регулируется конструктивными параметрами шнека. При эксплуатации достаточно применение одного взвешивающего устройства, смонтированного в любой точке производственного помещения, так как шнековые дозирующие устройства ввиду своих конструктивных особенностей, способны перемещать материал на значительные расстояния.

1.3 Анализ конструкций шнековых дозаторов сухих сыпучих компонентов

На сегодняшний день разработано и предложено большое количество дозирующих устройств для сухих сыпучих компонентов. Рабочим органом таких устройств является шнек, который в пространстве может быть расположен горизонтально, вертикально или под углом к горизонту [55; 76; 80; 83; 86; 88; 89].

На рисунке 1.2 представлено дозирующее устройство, которое предложено оснастить отдельными (индивидуальными) приводами дозирующий шнек и вспомогательное разгрузочное оборудование, а также в весовом бункере установить однолопастной верхний и четырехлопастной нижний сбрасыватели.

За счет усовершенствования конструкции и внедрения отдельных приводов появилась возможность выполнять дозирование продукции с различной текучестью и в более широком диапазоне корректировать точность дозировки, а также увеличивать эксплуатационную надежность оборудования [79].

Однако такой способ регулирования точности дозирования очень энергоемкий, а для повышения результатов точности требуется использование системы логического контроля. Кроме того, при работе механических частей устройства происходит истирание продукции.

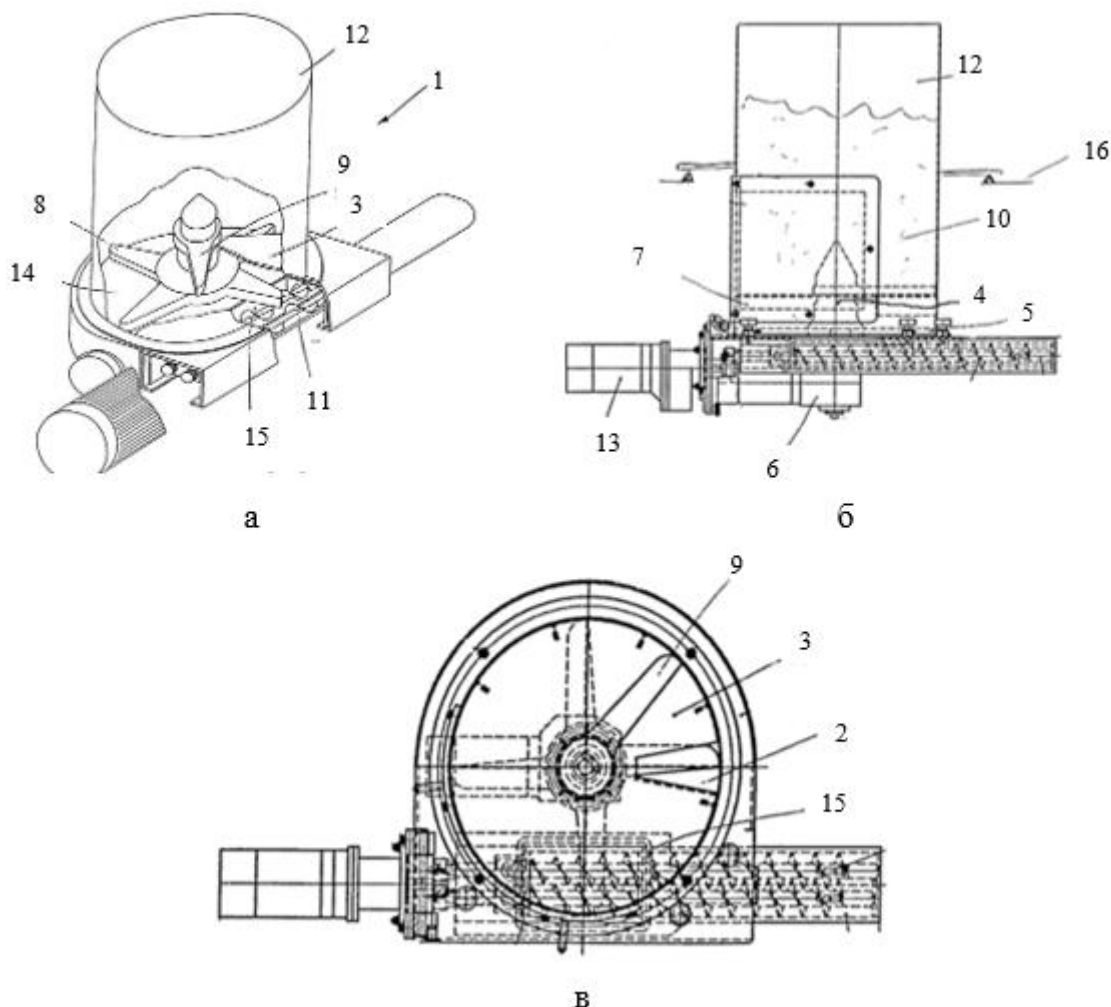


Рисунок 1.2 – Микродозировочное устройство по патенту 2146220: а – трехмерное изображение; б – вид с боку; в – вид с верху; 1 – дозатор весовой; 2 – проем для прохода продукта; 3 – разгрузочное днище; 4 – ось; 5 – фланец; 6 – электропривод; 7 – пространство; 8 – четырехлопастной сбрасыватель; 9 – верхний сбрасыватель; 10 – компонент; 11 – дозирующий шнек; 12 – бункер; 13 – электропривод; 14 – днище; 15 – проем для передачи продукта; 16 – взвешивающее устройство [79]

Новизна технического решения в устройстве, описанном в патенте № 2 213 709, заключается в том, что ленточный полый шнек более крупного диаметра обладает противоположным направлением навивки относительно

навивки шнека малого диаметра спирального типа (рисунок 1.3). При управлении устройством в режиме "грубо" производится совместное вращение шнеков по ходу навивки шнека более крупного диаметра, а при работе в режиме "точно" - в направлении навивки шнека меньшего диаметра [78].

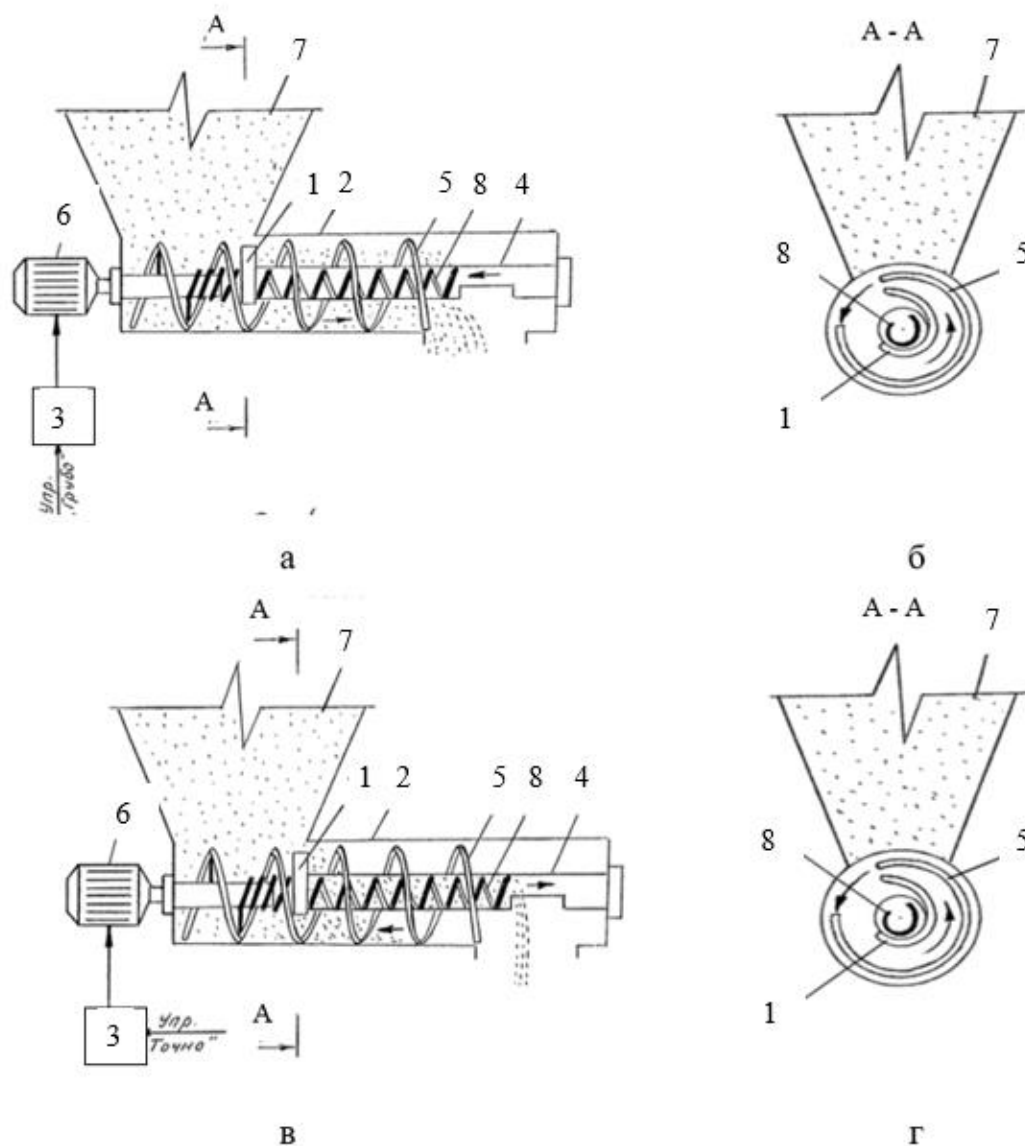


Рисунок 1.3 – Питатель комкующихся и сыпучих компонентов шихты стекольной по патенту № 2 213 709: а – осевой разрез устройства в положении грубого дозирования; б – поперечный разрез устройства в положении грубого дозирования; в – осевой разрез устройства в положении точного дозирования; г – поперечный разрез устройства в положении точного дозирования; 1 – патрубок точного дозирования; 2 – патрубок грубого дозирования; 3 – пускатель реверсивный; 4 – улавливатель материала; 5 – шнек большого диаметра ленточный полый; 6 – электропривод; 7 – бункер; 8 – шнек малого диаметра спиральный [78]

Во время выполнения технологической операции при дозировании продукции по программе «грубо», увеличивается способность повышенной производительности питателя за счет подачи материала двумя шнеками одновременно. При включении программы «точно» малым шнеком обеспечивается точное доведение массы объема, что приводит к снижению погрешности дозирования [78].

Данная конструкция обладает простотой управления процессом и уменьшает себестоимость производства продукции. При этом конструкция имеет следующие недостатки как: небольшая точность при работе с компонентами различной плотности и износ конструктивных элементов во время реверсивной работы электродвигателя, высокие пусковые токи.

Дозирующее устройство дискретного действия, описанное в патенте № 2 235 978, изображенное на рисунке 1.4, предназначается для мелкодисперсионных взрывоопасных сыпучих компонентов, состоит из: весового измерителя, бункера надвесового, шнекового питателя, ковша грузоподъемного, смонтированного в подвесовой точке. В представленном устройстве предлагается зафиксировать к весовому измерителю грузоподъемный ковш с конусообразным днищем, посредством цилиндрической обечайки и полый тяги, что обеспечит безопасность во время дозирования легковоспламеняемых, взрывоопасных компонентов. Также предлагается закрепить цилиндрический обод на верхнем участке подвесовой точки, увеличить объем бункера и провести монтаж стенок на надвесовом бункере, боковых по прямым углом, а задней и передней стенок с отрицательным наклоном угла 3-10 °. Данные решения позволили исключить неконтролируемый выброс компонента из ковша при дозировании, исключить сводообразование компонента, обеспечить устойчивую поставку компонента шнеками в грузоприемный ковш, и гарантировало поддержание высокой точности одиночных доз, выдаваемых дозирующим устройством [81].

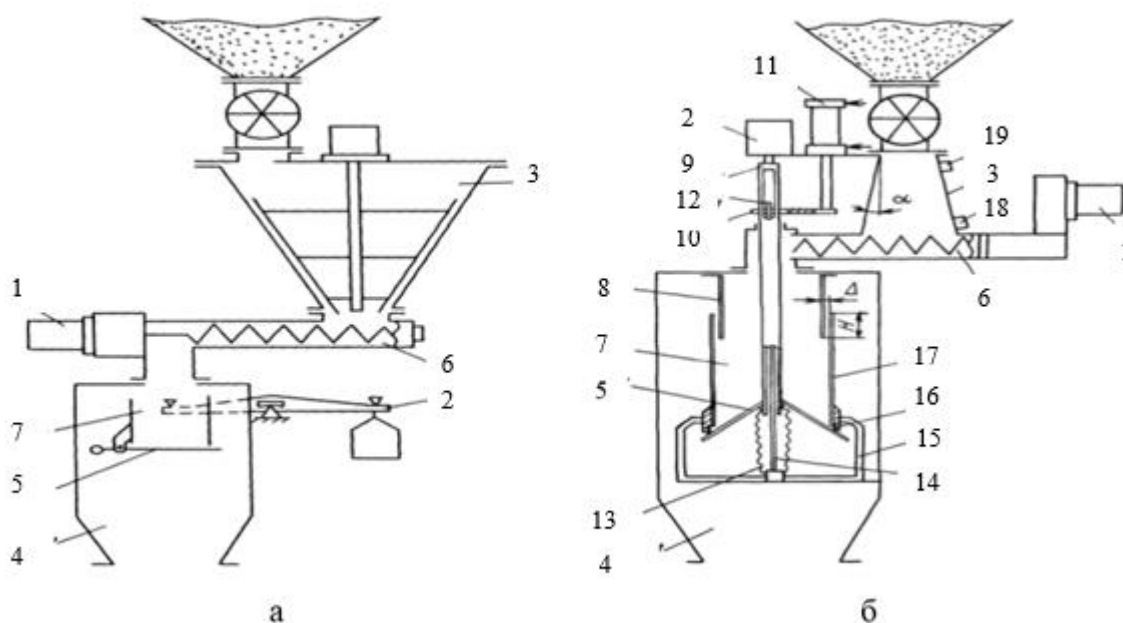


Рисунок 1.4 – Дозатор дискретного действия весовой для порошкообразных компонентов по патенту № 2 235 978: а – эскиз дозатора ДПД-10; б – весовой дозатор дискретного действия для порошкообразных материалов; 1 – электропривод, 2 – весовой измеритель; 3 – бункер; 4 – подвесная точка; 5 – конусное днище; 6 – питатель шнековый; 7 – грузоподъемный ковш; 8 – обод, 9 – тяга полая; 10 – ковш грузоподъемный; 11 – пневмоцилиндр; 12 – поперечная планка; 13 – трубка гофрированная; 14 – тяга; 15 – кронштейн; 16 – уплотнение торцевое; 17 – обечайка; 18 – датчик нижнего положения; 19 – датчик верхнего положения [81]

Во время работы с представленным устройством необходимо принять во внимание следующие недостатки: низкая точность при работе с компонентами разной плотности и высокий физический износ конструктивных элементов.

В дозирующем устройстве по патенту № 2 287 263, представленном на рисунке 1.5, предлагается на верхней оси симметрии емкости бункера установить прутковую спираль с изменяющимся диаметром и шагом, имеющую возможность осуществления вращательного и возвратно- поступательного движения. По ходу движения на верхних и торцевых кромках лопастей установить нарастающие от центра гребенки в виде пальцев различной длины вогнутые в сторону вращения. Лопасты и спираль дозирующего устройства вращаются по одной оси за счет электропривода шнека, посредством клиноременной передачи, соединяющей

конический редуктор и муфту [85].

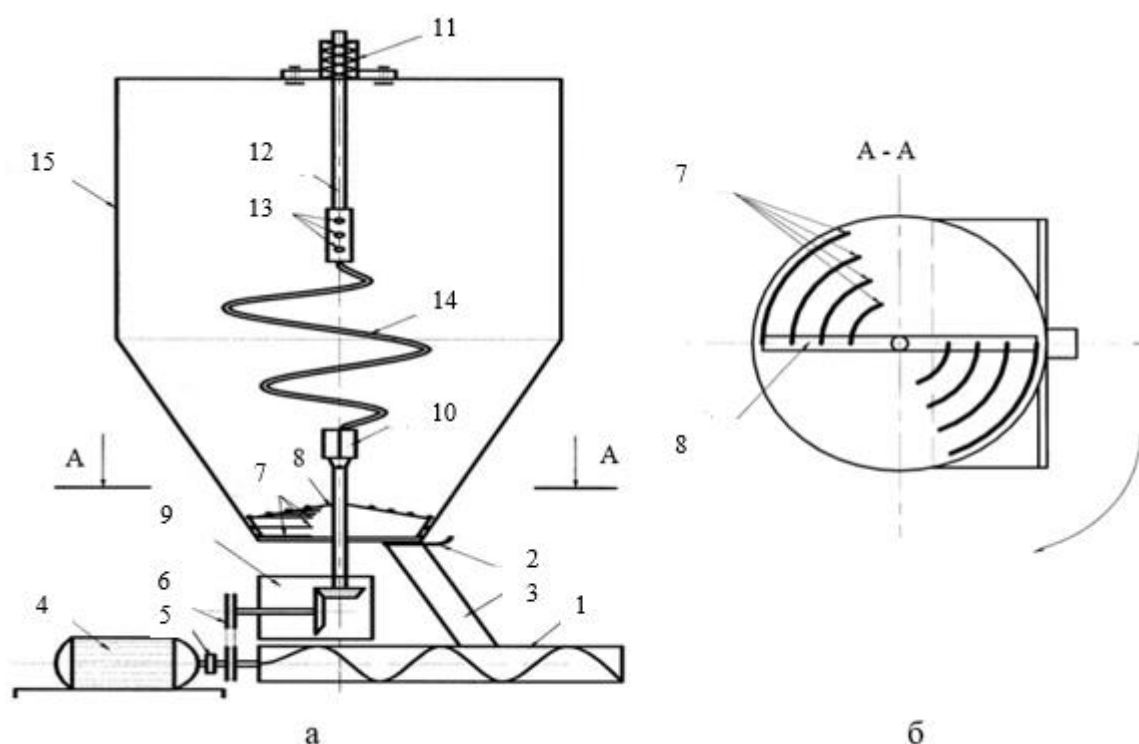


Рисунок 1.5 – Бункер-дозатор сыпучих кормов по патенту № 2 287 263: а – общий вид бункера- дозатора; б – разрез А – А ; 1 – шнек; 2 – регулировочная заслонка; 3 – рукав направляющий; 4 – электропривод; 5 – муфта; 6 – передача клиноременная; 7 – пальцы; 8 – лопасти; 9 – вал редуктора конического; 10 – соединение телескопическое; 11 – гайка; 12 – вал; 13 – втулка; 14 – прутковая спираль; 15 – емкость цилиндрическая [85]

Дозирующее устройство обладает следующими недостатками: малый диапазон регулировки дозирования, низкий показатель точности, высокий физический износ конструктивных элементов и достаточно сложная конструкция.

Для повышения точности дозирования в шнековом дозаторе по патенту № 2 742 563 предложено установить двухступенчатый шнек и разместить ступени шнека в большой и малой камерах, разделенных перегородкой, находящихся в подбункерной части устройства (рисунок 1.6).

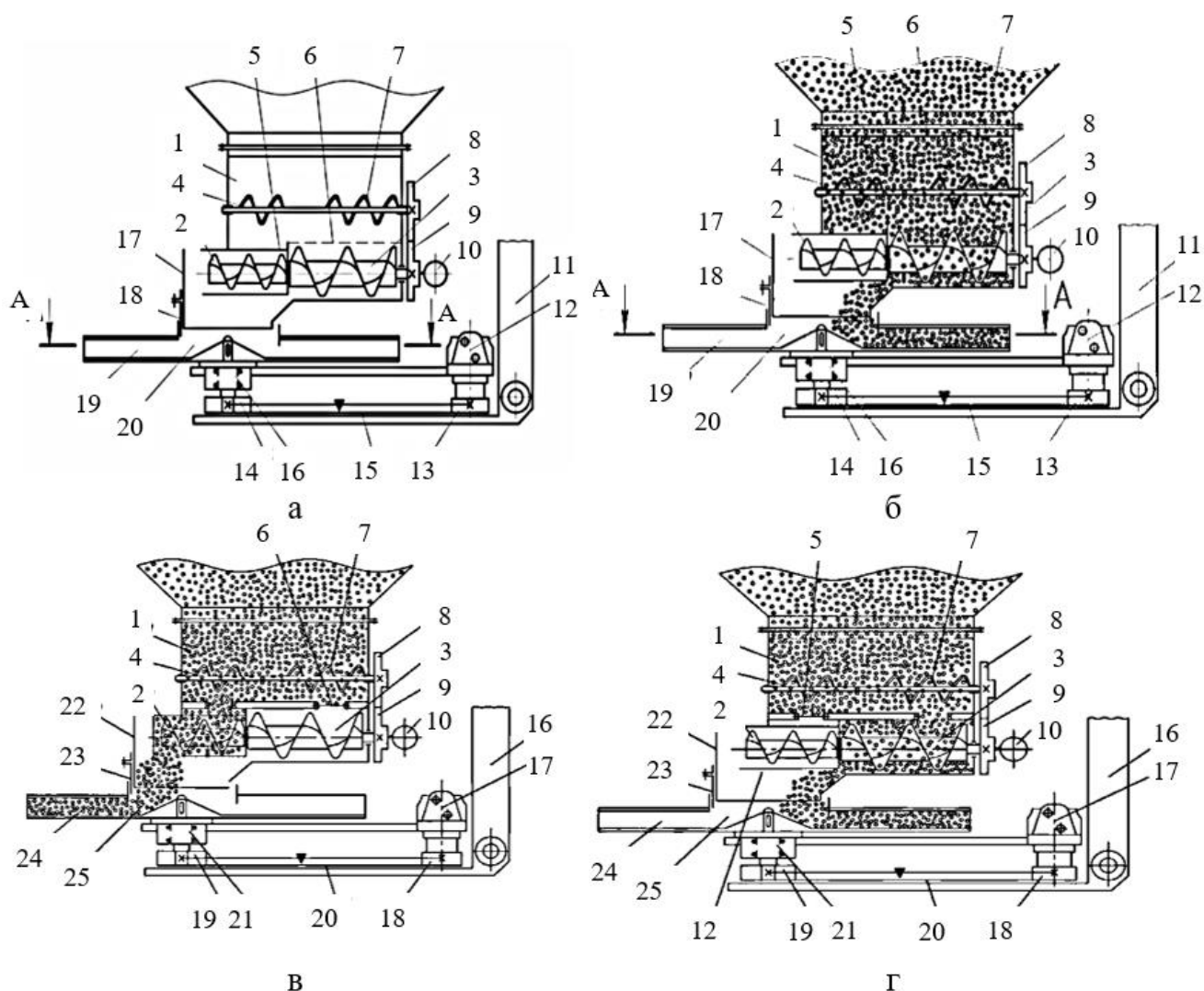


Рисунок 1.6 – Шнековое дозирующее устройство по патенту № 2 742 563:
 а – вид устройства общий; б – камеры большая и малая; в – передвижение дозируемого ингредиента в малой камере; г – передвижение дозируемого ингредиента в большой камере; 1 – корпус камеры загрузочной; 2 – ступень шнека малого; 3 – ступень шнека большого; 4 – ворошитель малый; 5 – малая задвижка; 6 – большая задвижка; 7 – ворошитель большой; 8 – шестерня; 9 – шестерня шнеков; 10 – электропривод; 11 – камера большая; 12 – камера малая; 13 – воронка большой камеры приемная; 14 – воронка малой камеры приемная; 15 – перегородка разделительная; 16 – рама; 17 – гидромотор; 18 – приводной шкив; 19 – ведомый шкив; 20 – клиновой ремень; 21 – узел подшипниковый; 22 – выгрузная камера; 23 – заслонка регулирующая; 24 – диск разбрасывателя; 25 – камера разгона; 5 и 6 – задвижки шиберные; 11, 12 – камеры большая и малая [86]

Дозирующее устройство включает в себя камеру загрузочную с горизонтально расположенными шиберными задвижками, ворошители, состоящие

из малой и большой винтовой спиральной навивок, находящихся на горизонтальном вале малого и большого шнеков и электродвигателя. Вращение двухступенчатого шнека производится от электродвигателя с одинаковой частотой оборотов и одновременным вращением [86].

Устройство обладает сложной конструкцией, относительно большими габаритами, высокой металлоемкостью.

В дозаторе-смесителе сыпучих материалов по патенту № 2 486 479 предложено над основным корпусом со спиральным винтом установить дополнительную секцию со спиральным винтом меньшего диаметра, имеющую выход в бункер. Малый спиральный винт к своему окончанию постепенно увеличивает шаг и диаметр (рисунок 1.7). Это способствует более точному отмериванию дозы сыпучей продукции и последующей подаче на рабочий орган винта большего диаметра для дальнейшего перемешивания с другим компонентом [84]. Одна стенка дополнительного бункера закруглена, что позволяет малому шнеку загребать сыпучий компонент по всей его полости, тем самым исключая формирование сводов и налипание компонента на стенках бункера, гарантируя качественную и непрерывную доставку компонента к выпускному проему для последующего перемешивания.

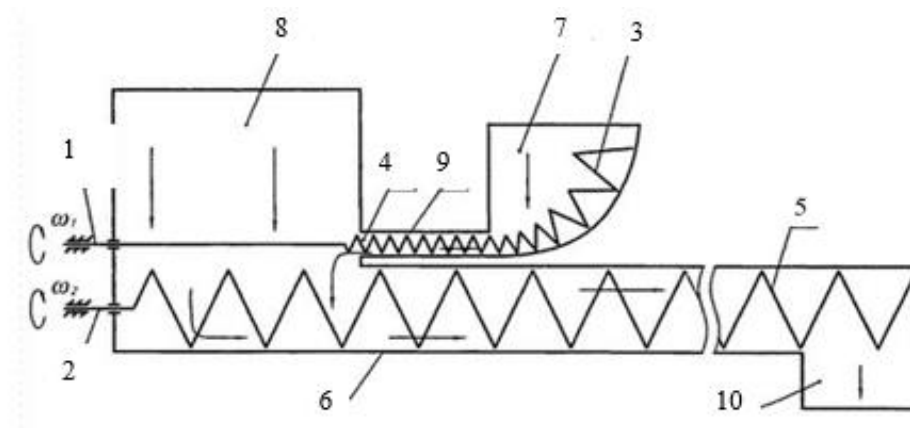


Рисунок 1.7 – Дозатор – смеситель сыпучих материалов по патенту № 2 486 479, общий вид; 1 – привод шнека малого диаметра; 2 – привод шнека большого диаметра; 3 – шнек малого диаметра; 4 – выходное отверстие малого шнека; 5 – шнек большого диаметра; 6 – кожух; 7 – малый бункер; 8 – основной бункер; 9 – кожух шнека малого диаметра; 10 – выгрузное окно [84]

Привод меньшего рабочего органа имеет возможность корректировки частоты вращения, что позволяет регулировать объем подачи продукции.

При рассмотрении данного образца необходимо учесть следующие недостатки: высокая энергоемкость, сильный износ узлов и деталей, истирание материала, а также невозможность дозирования влажного налипающего материала.

В дозирующем устройстве для сыпучих материалов по патенту № 2 746 166 для исключения налипания дозируемого материала на стенках корпуса, над шнеком в верхней части бункера, параллельно валу, закрепили плоский скребок (рисунок 1.8). Часть кромки скребка имеет уклон к основанию бункера, необходимый для выравнивания по горизонтальной поверхности дозируемого материала, подаваемого в бункер. Для дополнительного контроля и исключения пересыпа на крышке бункера установлен датчик [87].

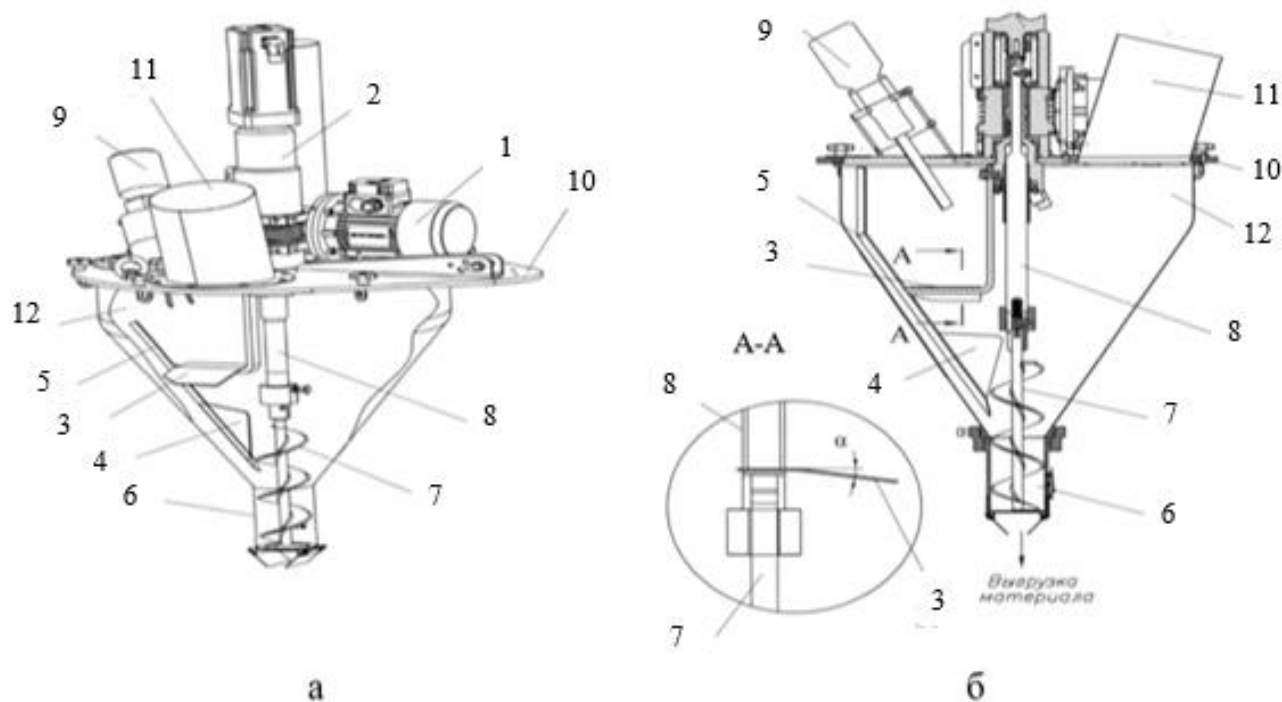


Рисунок 1.8 – Дозатор для сухих сыпучих компонентов по патенту № 2 746 166:

а – вид общий дозатора; б – продольный разрез и разрез А-А профиля горизонтальной лопатки дозатора; 1 – привод скребка; 2 – привод вала; 3 – плоская горизонтальная лопатка с кромкой; 4 – мешалка; 5 – скребок; 6 – шнековая труба; 7 – шнек; 8 – вертикальный вал; 9 – датчик уровня; 10 – бункерная крышка; 11 – патрубок; 12 – бункер загрузочный [87]

Предложенное приспособление способствует повышению точности дозирования и надежности исполнительного механизма, но имеет ряд недостатков: невозможность перемещения дозатором материала на расстояние относительно загрузочного бункера, обладает высокой энергоемкостью и не имеет возможности многокомпонентного дозирования.

В дозаторе сыпучих материалов по патенту № 2 281 803 предусмотрена возможность дозирования нескольких компонентов одновременно. Дозирующее устройство сконструировано из: шнекового транспортера, винтовых направляющих, которые приводятся в движение от электродвигателя, имеет четыре загрузочных бункера, выгрузные проемы которых объединены приемным каналом (рисунок 1.9).

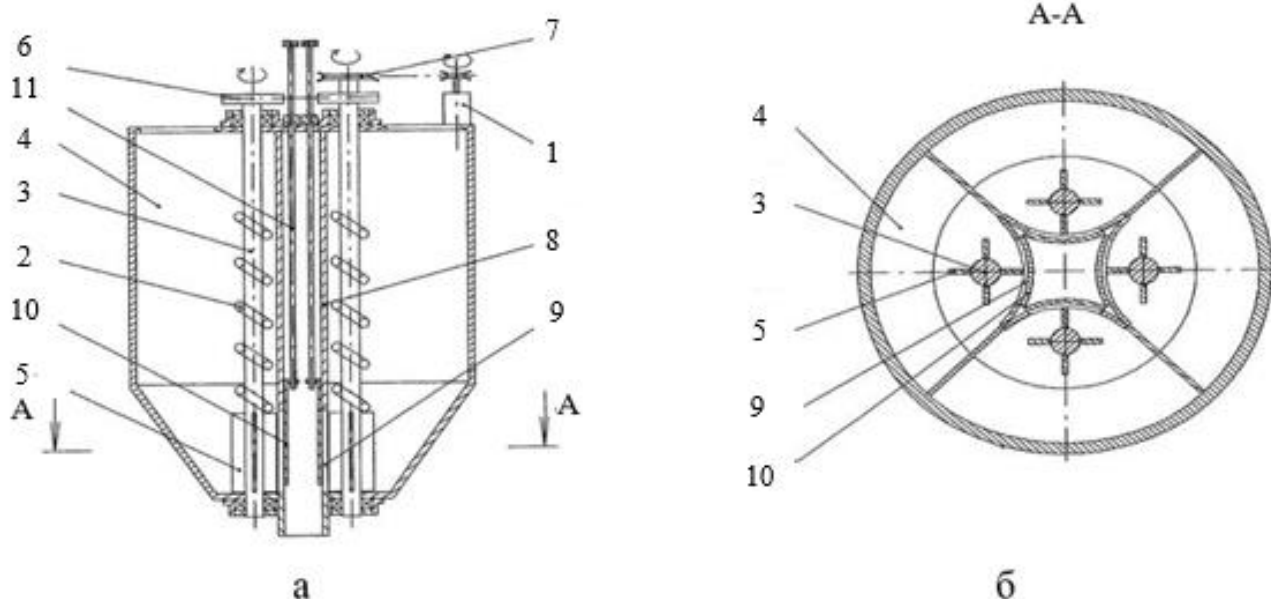


Рисунок 1.9 – дозирующее устройство для сыпучих компонентов по патенту № 2 281 803: а – вид общий дозирующего устройства для сыпучих компонентов; б – осевой разрез А-А; 1 – электропривод; 2 – винтовые направляющие; 3 – транспортер шнековый; 4 – загрузочный бункер; 5 – лопатки; 6 – передача цепная; 7 – передача клиноременная; 8 – канал приемный; 9 – выгрузные горловины; 10 – задвижки; 11 – управляющие винтовые фиксаторы [82]

Устройство предложено оснастить криволинейными задвижками на участках стенок загрузочных бункеров соприкасаемых с приемным каналом транспортно-распределительного механизма. Внедряемые задвижки имеют возможность

смещения по вертикали для изменения проходного сечения выгрузных горловин [82].

Предложенное изменение конструкции способствует повышению точности дозирования за счет улучшения процесса регулирования выхода продукции, упрощает управление технологическим процессом, повышает энергоэффективность и улучшает качество готового продукта.

При этом имеются следующие недостатки: высокий физический износ конструктивных элементов и достаточно сложная конструкция дозатора.

В дозирующем устройстве по патенту № 2 011 411 (рисунок 1.10) с целью эффективного управления дозирующим устройством, предложено оснастить питатель вспомогательным транспортно-распределительным шнековым механизмом для смешивания и дозирования сыпучих компонентов в процессе работы. Загрузочные бункеры устройства представляют собой криволинейные лотки в форме трубчатого элемента, представляющие собой прямолинейный цилиндр входящий в общий лоток, внутри которого смонтирован диск, оснащенный сквозными осевыми отверстиями [77]. На диске имеется посадочное отверстие, в котором установлен вал, где жестко закреплены криволинейные лопасти, находящиеся непосредственно над диском. Транспортно-распределительный шнековый механизм состоит из вала, на котором закреплена пружина, для осуществления регулировки осевого шага навивки, который непосредственно соединен с электродвигателем посредством зубчатых колес.

Основным недостатком данного устройства является достаточно сложный процесс регулировки, а также истирание дозируемой продукции во время работы механических частей конструкции.

Достаточно значительный интерес и востребованность приобрело дозирующее устройство, предназначенное для сухих сыпучих компонентов ДП2-3К, разработанное Казанским предприятием полного цикла «ТензоТехСервис» (рисунок 1.11, а) и дозатор Российской производственной компании ООО Циркуль,

торговой марки Compasstech с винтовыми транспортерами (шнеками) ВИТ (рисунок 1.11, б).

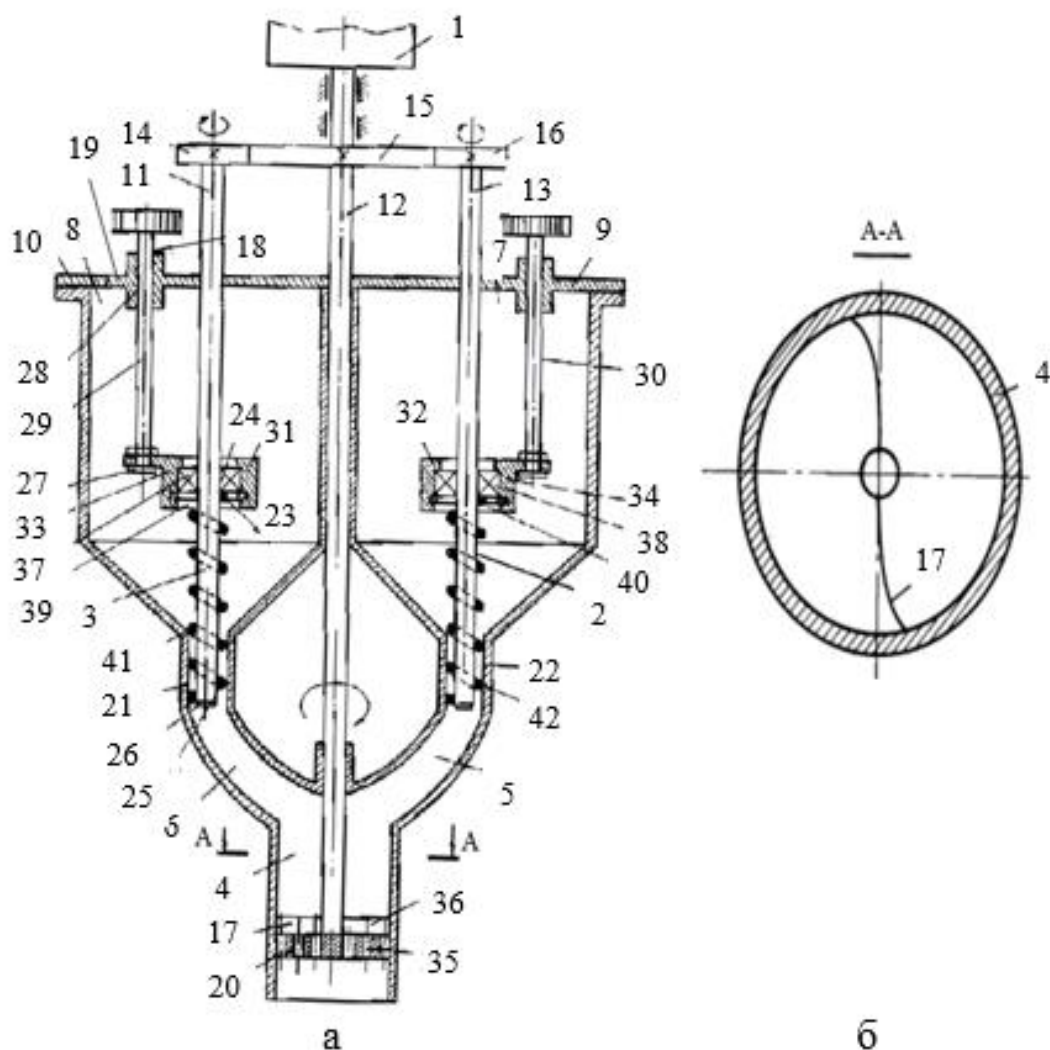


Рисунок 1.10 – Дозатор сыпучих материалов по патенту № 2 011 411: а – общий вид; б – поперечный разрез А-А; 1– электропривод; 2, 3 – винтовые направляющие; 4, 5, 6 – система лотков; 7 и 8 – загрузочные бункеры; 9 и 10 – шнековые транспортно-распределительные механизмы; 11, 12, 13 – валы; 14, 15, 16 – зубчатые колеса; 17 – криволинейная лопатка; 18 – отверстие резьбовое; 19 – заглушка; 20 – диск; 21 и 22 – отверстия; 23 и 24 – сопряжение внутреннего кольца подшипника и вала; 25 и 26 – сопряжение вала и пружины; 27 и 28 – устройства сопряжения; 29 и 30 – посадочные поверхности подшипников; 31 и 32 – фиксаторы винтовые; 33 и 34 – крышки; 35 – отверстия осевые сквозные; 36 – лопатки; 37 и 38 – подшипники; 39 и 40 – устройства для регулировки шага навивки пружин; 41 и 42 – пружины[77]



а



б

Рисунок 1.11 – Общий вид дозирующих устройств: а – дозирующее устройство для приготовления простых и модифицированных сухих компонентов ДП2-3К; б – дозирующее устройство Compasstech с винтовыми транспортерами (шнеками) ВИТ

Основной отличительной особенностью дозирующего устройства ДП2-3К является внедрение системы автоматизации производства доз при помощи управляемого частотным преобразователем электродвигателя, приводящего в движение шнековый питатель с измененным шагом спирали. В конструкции устройства для качественного измерения дозы предусмотрены высокоточные тензометрические датчики, а за счет установленной пневматической камеры реализуется безпылевая подача в смеситель дозируемого материала. При небольших габаритных размерах и энергозатратах, дозирующее устройство имеет высокую производительность. Основными недостатками данного устройства являются достаточно сложный процесс регулировки и обслуживания [69].

В конструкцию дозирующего устройства Compasstech с винтовыми транспортерами (шнеками) внедрен контроллер для управления алгоритмом работы подающего шнека или шнеков и разработана программа для осуществления технологического процесса с возможностью многокомпонентного дозирования. Конструкцией устройства предусмотрена возможность использования шнековых транспортеров с разными техническими параметрами, установлен электропривод на дисковый выгрузной затвор, а взвешивающее устройство оборудовано

тензометрическими датчиками контроля массы. Все это положительно сказывается на точности навески выпускаемой продукции и высокой производительности оборудования. Основным недостатком данного устройства является достаточно сложная конструкция дозатора [70].

Одними из лидеров на Российском рынке по производству дозирующих устройств являются отечественные компании «Московские Дозирующие системы» г. Москва, занимающаяся с 2008 года разработкой и производством дозирующих устройств для сухих и жидких компонентов, представившие на рынок линейку автоматических весовых дозаторов ДЗМ (рисунок 1.12, а), и холдинг «Русская Трапеза», представивший на рынок дозирующее устройство модели РТ-УМ - 36 (рисунок 1.12, б). Устройство ДЗМ-50 предназначено для автоматического отмеривания доз с погрешностью до 50 грамм, доз от 5 до 50 килограмм, с последующей упаковкой в мягкую тару или мешки.



а



б

Рисунок 1.12 – Общий вид дозирующих устройств: а – Автоматическое весовое дозирующее устройство ДЗМ-50, производства компании «Московские Дозирующие системы»; б – дозирующее устройство модели РТ-УМ-36 холдинга «Русская Трапеза»

Оно функционирует в достаточно широком диапазоне, с полной передачей информации о процессе дозирования через компьютерную сеть. Устройство имеет возможность работы в многокомпонентном режиме дозирования, а также внедрения в действующую производственную линию.

Точность дозирования осуществляется обработкой сигналов от тензометрических датчиков с отображением информации на дисплее в реальных единицах массы. Могут использоваться в группе с бункером или ленточным конвейером. Основным недостатком данного устройства является невозможность дозирования навесок до пяти килограмм [66].

Шнековый дозатор РТ-УМ-36 сконструирован для рабочего процесса в непрерывном режиме при условии постоянной автоматической подачи сыпучей продукции в загрузочный бункер. Управление устройством построено на базе программируемого логистического контроллера, который постоянно контролирует отмеряемую дозу сыпучего продукта, подаваемую при помощи шнекового питателя. Данное устройство способно дозировать порошкообразную, сильно пылящую пищевую и непищевую продукцию. Основным недостатком данного устройства является невозможность многокомпонентного дозирования [67].

Достаточно неплохо зарекомендовала себя Украинская компания-производитель «U-pack-tech», разработавшая линию в сочетании с фасовочной машиной, шнековым дозатором АФ-35-Ш и транспортным оборудованием ЗТШ-1 (рисунок 1.13, а), а также российская компания Z-pack, решающая сложные задачи по проектированию и изготовлению дозирующего оборудования любой сложности, последняя представленная новинка которой – дозатор шнековый Н-1 с напольным бункером (рисунок 1.13, б).



а



б

Рисунок 1.13 – Общий вид дозаторов: а – Фасовочная машина со шнековым дозатором АФ-35-Ш и транспортер ЗТШ-1; б – дозатор шнековый Н-1 с напольным бункером

Особенность работы фасовочной машины с шнековым дозатором АФ-35-Ш и весового шнекового дозатора Н-1 практически идентична и заключается в том, что пылящий продукт (сахарная пудра, крахмал и т.д.) транспортируется из загрузочного бункера в емкость фасовочно-упаковочного автомата посредством металлического рукава, внутри которого расположен шнек, вращаемый электроприводом. Данное конструктивное решение исключает пылеобразование продукции. Интегрированный микропроцессорный блок управления осуществляет полный контроль работы установки, получает информацию об уровне компонента, находящегося в бункере фасовочного автомата, обеспечивает контроль непрерывного цикла дозирования и упаковки, контролирует работу электропривода, обрабатывает поступающую информацию с датчиков веса и прочих контактных групп. Вращение рабочих органов осуществляется за счет электропривода, масса дозы зависит от количества оборотов шнека, согласно заданному значению на частотном преобразователе.

Незначительная разница между выше представленными образцами заключается в объемах бункера, длине рабочего органа, производительности, потреблении электроэнергии, регулировочном процессе и габаритах установок.

Основными недостатками данных устройств являются достаточно сложные конструкции дозаторов и большая энергоемкость [74; 75].

Особое место на рынке уделяется оборудованию с возможностью многокомпонентного дозирования. Данная продукция на рынке представлена серией TWB торговой марки TrueWeigh™ производства Англии (рисунок 1.14, а), итальянской компанией DEGA с модельным рядом весовых дозаторов GDM (рисунок 1.14, б), российской компанией «Альтапром» с дозаторами модели УДМ (рисунок 1.14, в), а также китайской компанией SHINI с дозирующими устройствами SCM (рисунок 1.14, г).



а



б



в



г

Рисунок 1.14 – общий вид дозирующих устройств: а – смеситель-дозатор для сыпучих сухих ингредиентов TWB 07-4; б – весовой дозирующее устройство GDM-250; в – весовой дозирующее устройство УДМ 300; г – шнековое дозирующее устройство SHINI SCM-16

Дозаторы-смесители TWB компании TrueWeigh отличаются высокой точностью с погрешностью $\pm 0,5\%$ от заданного значения, а также гарантируют надежную работу и дозирование сухих сыпучих компонентов различных фракций и плотности. Управление устройством построено на базе программируемого логистического контроллера, который постоянно координирует и контролирует поток подаваемой продукции, а также изменение плотности материала в каждом питателе. Разные виды продукции дозируются одновременно за счет специальных шнеков, а объединяет компоненты каскадный статический смеситель. С помощью кодировщика и карты управления приводом возможно управлять скоростью движения линией и соответственно регулировать массу продукта. Основными недостатками данного устройства являются достаточно сложная конструкция дозатора, не ремонтпригодность, высокая стоимость обслуживания и запасных частей [73].

Отличительная особенность дозирующего устройства GDM-250 итальянской компании DEGA основывается на гравиметрическом анализе — метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении массы вещества. Устройства данного типа применяются для дозирования порошковообразной и гранулированной продукции.

Универсальность конструкции позволяет по-разному дозировать и смешивать от двух до шести компонентов, при помощи нескольких дозирующих шнеков. Для обеспечения высокой точности дозирования каждая порция подаваемого материала взвешивается. Устройство автоматически сопоставляет величину фактического и заданного веса и после этого материал подается в бункер смесителя. Программное обеспечение и усиленная конструкция допускают возможность монтажа на оборудование с постоянной и контролируемой вибрацией. Основными недостатками данного устройства являются достаточно сложная конструкция дозатора, высокая стоимость оборудования и запасных частей [71].

Дозирующее весовое устройство УДМ - 300 компании «Альтапром» предназначено для точного дозирования сухих компонентов и смесей с массой дозы от 500 грамм и более. В основном данное оборудование используется при изготовлении строительных материалов. Устройство может работать в полуавтоматическом режиме под контролем оператора, так и в автоматическом режиме при установке режима бесконечного цикла. Аппарат универсален, удобен и прост в программировании, за счет оснащения несколькими электроприводами имеет высокие показатели точности и надежности. Основными недостатками данного устройства являются достаточно сложный процесс регулировки и обслуживания, большая энергоёмкость [63].

Китайский производитель шнековых дозирующих устройств серии SCM SHINI обеспечил высокую производительность и точность выпускаемого оборудования, предназначенного для объемного автоматического дозирования сыпучих компонентов. Оборудование укомплектовывается электроприводами, обеспечивающими широкий диапазон частот вращения, а также мотор-редукторами с передаточным отношением 38:1 с возможностью установки четырех шнеков разных диаметров (12; 16; 20; 30 мм). Дозирующие устройства модели SCM гарантируют высокую производительность. Основными недостатками данного устройства являются достаточно сложная конструкции, высокая стоимость оборудования [72].

Также на российском рынке пользуются большой популярностью и спросом объемные шнековые дозирующие устройства для сухих компонентов серии ШДМД (рисунок 1.15, а), производства инженерно-производственного центра «АффиксПро», объемный безосевой шнековый дозатор для сыпучих компонентов ДМУ-95 (рисунок 1.15, б) производства ООО "ПТФ "Техпром" и дозирующее устройство ММД 1.5х4 производства ООО «Доза-Агро».

Объемные шнековые дозаторы с бункером для сухих реагентов серии ШДМД показали себя как достаточно простые и надежные устройства. Для исключения налипания продукции корпус изготовлен из высококачественного полипропилена.

В конструкции предусмотрены два независимых мотор-редуктора для шнека и ворошителя, валы которых имеют подшипниковое основание с обеих сторон, с заменяемым сальниковым уплотнением, что повышает его долговечность и высокую надежность. В конструкцию устройства входит бесконтактный датчик наличия компонента в бункере. Основным недостатком данного устройства является невозможность многокомпонентного дозирования, недостаточная точность дозирования [65].



а



б

Рисунок 1.15 – Общий вид дозирующих устройств: а – дозирующие устройства для сухих компонентов серии ШДМД; в – объемный безосевой шнековый дозатор для сыпучих компонентов ДМУ-95

Основным отличием дозирующего устройства для сыпучих компонентов ДМУ-95 компании ООО "ПТФ "Техпром" от аналогов является наличие безосевого шнека, что повышает производительность оборудования и устраняет налипание компонента на шнек. Устройство обладает системой управления с частотным регулированием скорости вращения шнека в широком диапазоне. Данные устройства широко применяются для дозирования порошкообразных материалов с насыпной плотностью до 2000 кг/м^3 . Основным недостатком данного устройства является невозможность многокомпонентного дозирования, недостаточная точность дозирования [68]. Отличительной особенностью дозирующего устройства ММД 1.5x4 (рисунок 1.16) российского производителя ООО «Доза-Агро» является возможность многокомпонентного дозирования, а

также наличие системы управления с программным обеспечением, позволяющим контролировать работу шнековых дозаторов, в том числе в режиме досыпания. В конструкцию изделия входит весоизмерительное устройство, оборудованное тензодатчиками с высоким классом точности измерения массы. Данное устройство имеет компактные размеры, рабочие детали которого изготовлены из коррозионностойкой стали. От зависания продукции в бункерах-питателях предусмотрено устройство сводообрушения. Имеется возможность дистанционной установки массы навески, поочерёдной компонентной загрузки и автоматического контроля возникновения аварийной ситуации, с последующей остановкой работы модуля при ее наличии. Основным недостатком данного устройства является большая энергоёмкость и недостаточная точность дозирования [64].



Рисунок 1.16 – Общий вид дозирующего устройства ММД 1.5х4 российского производителя ООО «Доза-Агро»

Дополнительно были проанализированы источники научно-технической и патентной литературы [2; 8; 13; 24; 33; 36; 37; 38; 42; 109; 112], осуществлено сравнительное исследование новых и усовершенствованных старых конструкций дозаторов, оценивались точность и производительность оборудования, уровень автоматизации процесса, способы подачи материала. После этого были определены

преимущественные характеристики, достоинства и недостатки, технические требования к современным дозирующим устройствам.

Детальный анализ импортных и отечественных дозирующих устройств, производственных линий для дозирования сыпучих сухих компонентов, многочисленных технологических процессов позволяет сделать вывод, что решение вопроса точности дозирования сыпучих материалов является актуальным. Из выше представленных исследуемых конструкций дозаторов сыпучих компонентов любая имеет определенные недостатки и преимущества. При этом необходимые условия к вновь внедряемым разрабатываемым дозирующим устройствам должны быть мотивированы, рациональны и исходить непосредственно из конкретных условий производства.

На основании проведенного анализа дозаторов выявлены их основные недостатки: относительно невысокая точность, большая энергоемкость, небольшие производительность и диапазон регулировки, сложность и дороговизна. Одним из главных недостатков представленного на рынке дозирующего оборудования является его узконаправленность, необходимость в подборе настроечных параметров при дозировании материалов с разными физико-механическими свойствами. Поэтому исследования по разработке точного, не сложного в обслуживании и надежного в работе дозирующего устройства для сыпучих компонентов является актуальным [94].

1.4 Краткий обзор научных работ по процессу дозирования

Несмотря на достаточно хорошую изученность работы шнековых дозирующих устройств и линий для сыпучих компонентов, исследования в данной области остаются актуальными и на текущий момент. Над изучением процессов повышения точности дозирования, пропускной способности, энергоэффективности работы

оборудования, а также оптимального подбора значений технологических параметров трудилось огромное количество исследователей, таких как: С.А. Антошук, А.В. Артемова, В.М. Барановский, С.Ю. Булатов, О.П. Бурмистенков, И.Е. Бычков, С.В. Владимиров, М.Е. Выгузов, С.Г. Гутова, В.А. Демченко, О.О. Дереза, Т.Б. Жиргалова, В.А. Керженцев, Т.И. Китанина, В.В. Коновалов, М.А. Лапиков, С.М. Михальченко, С.А. Петров, А.И. Рудаков, А.Г. Сергеев, Д.В. Синеков, О.А. Тареева; Е.П. Терёхин, И.В. Юдаев и многие другие [2; 4; 7; 10; 17; 18; 21; 24; 32; 34; 35; 39; 45; 48; 50; 54; 60; 90; 97; 101; 102; 103; 107; 108; 114].

Р.Л. Зенков уделил особое внимание свойствам и классификации насыпных грузов, истечению и принципам движения сыпучих компонентов, а также противодействию слеживаемости, смерзаемости, сводообразованию. Провел классификацию и анализ работы питателей для мелкозернистых сыпучих материалов, который показал, что на точность влияет стабильность объемной массы, а на постоянство объемной массы зависит от физико-механических свойств компонента, которые и определяют его сыпучие свойства. Основное направление работы заключалось в усовершенствовании технологических процессов дозирования продукции, подтверждение технических параметров и математических расчетов [41; 42].

Г.А. Рогинский обратил внимание на решение задач, связанных с дозированием сыпучих компонентов на промышленных предприятиях. В его трудах классифицируются устройства сводообразующие и стабилизирующие истечение, уделено внимание борьбе со сводообразованием, представлены автоматические весовые дозирующие устройства и их питатели, приводится информация о физико-механических свойствах сыпучих материалов и рассмотрены различные схемы технологического процесса дозирования. Для совершенствования работы дозирующих устройств предлагается поток дозируемого компонента разделить на две части: на нерегулируемый, составляющий 90% и регулируемый, где остальной частью гарантируется добор необходимого значения. А учет изменений физико-механических свойств дозируемой продукции в ходе технологического процесса

может корректироваться с помощью электронно-вычислительных машин и математической модели процесса [96].

Значительное количество современных ученых осуществляют исследования, направленные на повышение точности, производительности и эффективности оборудования. С.М. Ведищев, изучивший влияние конструктивных параметров шнекового дозирующего устройства на энергозатраты и мощность, сформулировал аналитические выражения для выявления энергозатрат по преодолению сопротивлений трения транспортирующего шнека о желоб, преодоление спуска и подъема компонента в желобе, внутреннего трения в перемещаемого компонента, трения о винт и упорные подшипники [20]. С.В. Вторый в своих исследованиях по работе шнековых дозирующих устройств также показал влияние коэффициента трения компонента о кожух и винтовую поверхность на энергетические показатели [23].

В. А. Керженцев и Н. В. Перова пришли к выводу, что ключевые факторы работоспособности шнековых дозирующих устройств обуславливаются динамикой движения компонента по кожуху и поверхности шнека. При этом они отмечают, что производительность шнека предопределяется множеством характеристик и вычисляется соотношением [45]:

$$Q = 47,124 \cdot (D^2 - d^2) * \gamma * \psi * n * h * k_{\mu\alpha m} \text{ т/ч}, \quad (1.1)$$

где D – наружный диаметр шнека, м; d – диаметр вала шнека, м; h – шаг витков, м; n – частота вращения, об/мин; γ – плотность перемещаемого материала, т/м³;

ψ – коэффициент заполнения; Q – производительность, т/ч; $k_{\mu\alpha m}$ – коэффициент пропорциональности $< 1,0$, зависящий от вида транспортируемого материала.

Затраты мощности на перемещение компонента авторы предлагают вычислять по соотношению [45]:

$$P = K_1(P_1 + P_2 + P_3)/\eta_0, \quad (1.6)$$

где K_1 – коэффициент затрат мощности на внутреннее трение материала; P_1 – мощность, затрачиваемая на перемещение материала в шнеке, кВт; P_2 – мощность, затрачиваемая на трение материала о стенку кожуха, кВт; P_3 – мощность, затрачиваемая на трение о поверхность винта, кВт.

Минусом предлагаемого выражения является тот факт, что величина составляющих P_1 , P_2 , P_3 вычисляется приближенно и конкретизируется при лабораторных исследованиях [45].

Для повышения качества продукции животноводства, снижения затрат авторами В.А. Сысуевым, А.В. Алешкиным, П.А. Савиных представлено обоснование разработки и внедрения технических средств, используемых в раздаче кормов и кормоприготовлении, показано, что на рабочие показатели таких машин оказывают влияние их конструктивно-технологические параметры [106]. К подобным выводам приходят также многие другие исследователи [3; 6; 16; 17; 18; 43; 46; 47; 52; 99; 113]. К аналогичным выводам приходят авторы, занимающиеся процессом транспортирования навоза шнеками, отмечая влияние на показатели его работы как свойств транспортируемого материала и параметров самого шнекового транспортера [104].

Для бесперебойной и равномерной подачи ингредиентов при изменении угла наклона относительно плоскости шнека авторами И.В. Юдаевым, А.Н. Глобиным, Н.В. Плотниковой осуществлялись исследования по моделированию процессов в шнековом дозирующем устройстве, где показано, что равномерность потока материала по поверхности шнека обратно пропорциональна массе порции [114], В.В. Коновалов, изучая процесс движения материала в шнеке, пришел к выводу, что равномерности потока можно добиться за счет снижения частоты вращения вала, а также оптимального подбора параметров рабочего органа дозирующего устройства [51; 53].

Во время осуществления экспериментальных исследований по точности дозирования сыпучих компонентов и эффективности работы технологического оборудования В.Н. Нечаевым, С.Ю. Булатовым, А.Г., Сергеевым, П.А., Савиных установлено, что при помощи моделей регрессии возможно вычислить преимущественное сочетание факторов, обеспечивающих высокую точность дозирования [12], а на производительность значительное воздействие оказывает диаметр шнека, частота вращения и плотность дозируемой продукции [13;14]. При

экспериментальном исследовании по оптимизации конструктивных параметров дозирующего устройства Е.А. Никитиным установлена значимость конструктивно-технологических параметров шнека и отмечено, что степень заполненности накопительного бункера не оказывает влияние на точность дозирования шнекового дозатора [61]. А.В. Гукасян для расчета шнеков предлагает применять законы гидравлики, основываясь на уравнениях неразрывности и Навье-Стокса. С помощью сопоставления 3D-моделей шнеков он показал, что конструктивные параметры шнека и его канала влияют на массогабаритные и энергетические параметры, а также условия течения материала [31].

В то же время стоит обратить внимание на то, что процесс дозирования далеко не всегда носит предсказуемый характер и нередко имеет зависимость от случайных обстоятельств. Исследования в данном направлении вели П.Н. Давиденко, В.В. Пеленко, А.Г. Крысин, Г.Д. Зильберштейн, С.И. Поляков [33; 89; 92]. Систематические ошибки в дозировании могут быть снижены за счет разработки программы корректировки дозируемой массы с учетом измерения пропускной способности дозатора в данный момент времени [33]. С.И. Поляков показал, что снизить погрешность дозирования можно за счет использования алгоритма, основанного на применении теории вероятности и позволяющего получить упреждение на последующие n циклов дозирования [92].

Огромное количество ученых обратили своё внимание на изучение конструкционных характеристик, технических параметров шнеков, к примеру Р. Chongchitpaisan, S. Sudsawat провели анализ шнековых конвейеров для сухих сыпучих компонентов и пришли к выводу, что в промышленных масштабах, на предприятиях по переработке и производству продукции целесообразно использовать шнековые дозирующие устройства, ввиду их надёжности, простоты использования и обслуживания, невысокой стоимости, возможности интеграции в действующие технологические линии и универсальности дозирования компонентов с разными физико-механическими свойствами [115].

D. Minglani, A. Sharma, H. Pandey, R. Dayal, J. B. Joshi and S. Subramaniam провели исследования скорости движения гранулированных компонентов в шнековых питателях и конвейерных линиях. Проанализирована работа шнековых конвейеров открытого и закрытого типа. Установлено, что для транспортирования связных (фракция менее 2 мм., влажность более 2%) и тяжелых компонентов рационален конвейер открытого типа, который обладает малой скоростью транспортирования и низкой производительностью [117]. В тоже время, R. Wagner установил, что в шнековых конвейерах закрытого типа скорость перемещения компонентов существенно выше и соответственно они обладают большей пропускной способностью [122].

R. Nevko, M. Хевко, R. Rohatynskyi, O. Lyashuk and O. Trokhaniak сосредоточились на показателях повреждения ингредиентов при транспортировке рабочими механизмами дозирующих устройств и питателей и определили наиболее оптимальную частоту, при которой вращающийся шнек оказывает минимальные повреждения транспортируемого компоненту ($550 \dots 650$ мин⁻¹) [116].

Во время своих исследований T.O. Olanrewaju, P. E. Onyeonula and I. M. Jeremiah установили наиболее оптимальный угол наклона шнека во время передвижения гранулированных компонентов влажностью 13 % [118].

Применив методологию нечеткой логики, O. Ozbek по расходу электроэнергии и по параметрам пропускной способности, установил оптимальную частоту вращения шнека и его конструкционные параметры, а именно: $n = 450$ мин⁻¹, угол наклона шнека 15°, шаг шнека 100 мм [119].

Z. Yang, S. Xiaoxia, M. Wenjun провели анализ поведения сыпучих компонентов с помощью численного моделирования, основой которого является метод DEM, построили модель осевого перемещения в вертикальном шнеке частицы, эффективность которой доказали экспериментально [123].

Внедрение современных технологии обработки данных и ЭВМ в процесс исследований помогло разработать новые методы и экспериментальные приемы. M. Pezo, A. Terzic, L. Pezo, A. P. Jovanovic, B. Loncar, A. Terzic, L. Andric and P.

Koјіс при применении возможностей искусственного интеллекта, что позволило им разработать модель передвижения элементов в пяти видах горизонтальных шнеков разной длины [120].

L. Sun с помощью электронных вычислений и преобразования полученных данных установил, что на пропускную способность оказывает влияние угол осевого наклона лопасти шнека и определил, что он должен составлять 15° , соответственно быть на 5% больше, чем угол без осевого наклона лопасти винта [121].

А.В. Катымыов, В.А. Любартович провели работу по описанию протекания процессов дозирования и передвижения вязкой и сыпучей продукции в дозирующих устройствах. В результате работы установлено влияние конструкции и свойств компонента на процесс и разработан метод автоматизированного проектирования для разных технологических процессов при разработке дозирующих устройств [44].

Из проведенного анализа научных работ можно сделать вывод, что на работу дозаторов оказывают влияние физико-механические свойства дозируемого материала и конструктивно-технологические параметры дозатора. Причем, для каждой конструкции дозатора данные параметры носят частный характер. Многие исследователи рекомендуют дозирование осуществлять с помощью шнековых дозаторов ввиду их неоспоримых преимуществ: надёжности, простоты использования и обслуживания, невысокой стоимости, возможности интеграции в действующие технологические линии, универсальности дозирования компонентов с разными физико-механическими свойствами.

1.5 Выводы по разделу

После осуществленного анализа научных исследований, патентных изобретений, схем дозирующих устройств для сухих сыпучих компонентов

шнекового типа технологических и конструкторских решений необходимо сделать вывод о том, что разработка и поиск наиболее рациональной конструкции, а также создание надежных, точных и энергоэффективных дозирующих устройств с минимальным набором рабочих агрегатов, узлов и обеспечивающих большую производительность и качественный выпуск конечного продукта при минимальных затратах, а также отвечающих технологическим требованиям современного производства, не прекращаются и являются актуальными [94].

На основании проведенного анализа выявлено, что благодаря таким преимуществам как простота конструкции и обслуживания, надежность, сравнительно небольшая стоимость, способность интеграции в комплекс технологических линий при приготовлении комбикормов целесообразно использование дозаторов со шнековым транспортно-распределительным механизмом. С целью повышения точности дозирования компонентов комбикорма с разными физико-механическими свойствами предложена конструкция дозатора с двумя шнеками, приводимыми в действие от двух электроприводов. При этом с целью повышения производительности дозатора основной шнек выполнен с большими габаритами, а шнек досыпки обладает меньшими размерами.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Описание схемы и алгоритма дозирования

При создании двухшнекового дозатора компонентов комбикорма использовались итоги исследований результатов интеллектуальной собственности, научных работ в области дозирующего оборудования и технологических процессов дозирования. Большое значение уделялось результатам наблюдений за работой разработанной системы, с учетом особенностей ее конструкции, в условиях производства. Дозирующее устройство для сухих сыпучих компонентов включает в себя накопительный бункер 4 с механизмом разгрузки 7, установленный на тензодатчики 5 закрепленные на раму 6. Загрузка продукта в бункер-дозатор 4 осуществляется из бункера-накопителя 2 шнеком 3, приводимым в движение посредством электродвигателя 1. Количество бункеров-накопителей и шнеков может быть разным в зависимости от количества компонентов смеси согласно рецептуре выпускаемой продукции. Управление системами и контроль работы дозирующего устройства, а также ввод технологических параметров осуществляется с сенсорной панели управления при использовании специально разработанной программы. Принцип действия заключается в следующем, на сенсорном дисплее электрического шкафа с программируемым контроллером вводятся необходимые технологические параметры такие, как уставка: частоты дозаторов (Гц), досыпки дозаторов (Гц), упреждения досыпки (кг); задержка между этапами засыпки (с), установка включения скорости досыпки (%), таймаут (защита) этапов засыпки (с), доля компонентов (%), либо масса компонентов (кг). Далее приводятся в действие механизмы дозирующего устройства, производится контроль и управление технологическим процессом согласно заданной программы. При помощи шнека 3 из

бункера-накопителя 2 производится транспортирование дозируемого компонента и его доставка в накопительный бункер 4. По достижению заданного значения массы от тензодатчиков 5 поступает команда и происходит выключение электропривода шнека 1. Далее, включается в работу механизм разгрузки 7 и расчетная порция компонента попадает в смеситель, где происходит перемешивание с другими ингредиентами, до получения однородной массы, согласно заданного рецепта выпускаемой продукции.

При создании методики системы дозирования сыпучих компонентов использовались рекомендации к проведению экспериментов [93; 100].

Функционирование модуля дозирования можно изобразить в качестве схемы (рисунок 2.1). Критериями модуля дозирования сыпучих компонентов служат пропускная способность и точность дозирования. Основной задачей является достижение высокой точности дозирования при максимальной пропускной способности. Пропускная способность в основном зависит от физико-механических свойств x_M дозируемого компонента и конструктивных параметров x_{KP} шнеков, а на точность дозирования оказывают влияние устанавливаемые технологические параметры x_{TP} процесса.

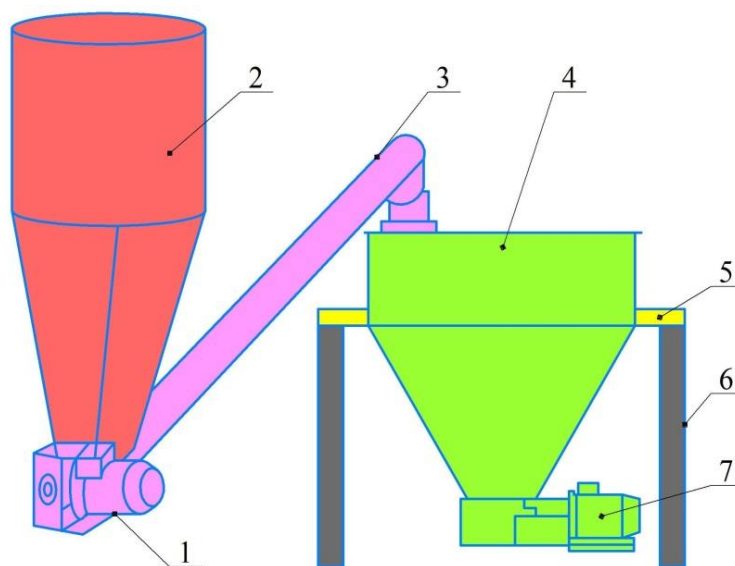


Рисунок 2.1 – Схема системы дозирования сухих сыпучих компонентов:
1 – электродвигатель шнека; 2 – бункер-накопитель; 3 – шнек; 4 – накопительный бункер; 5 – весоизмерительные тензодатчики; 6 – рама; 7 – механизм разгрузки

В состав комбикорма добавляют ингредиенты. На пропускную способность дозирующего оборудования оказывают воздействие физико-механические свойства вводимого компонента такие как: влажность x_{M1} , насыпная плотность x_{M2} , гранулометрический состав x_{M3} , угол естественного откоса x_{M4} , слеживаемость x_{M5} , адгезия x_{M6} , коэффициенты внутреннего трения и трения частиц о поверхность x_{M7} и сыпучесть x_{M8} (рисунок 2.2) [59; 61]. Физико-механические свойства дозируемых ингредиентов x_M представляют собой независимые факторы [91; 111]. Для того, чтобы добиться высокой точности и большой пропускной способности при дозировании, требуется менять конструкционные параметры x_{KP} загрузочных шнеков. Наиболее значимыми представляются такие как: диаметр шнека x_{KP1} , шаг витка x_{KP2} , высота витка x_{KP3} , внутренний диаметр кожуха шнека x_{KP4} , угол подъема винтовой линии x_{KP5} . При несовершенстве выбранного шнека по критерию пропускной способности требуется поменять его параметры, произвести подбор альтернативного шнека. Если шнек с заданными параметрами соответствует выбранному компоненту и отвечает установленным параметрам пропускной способности, то требуется рассмотреть его по второму показателю – точности дозирования. В случае отрицательных результатах в точности дозирования требуется внести корректировки в технологические параметры x_{TP} функционирования шнека. Точность дозирования при данных обстоятельствах может быть отрегулирована путем изменения таких параметров, как: основной частотой вращения шнека x_{TP1} , частотой вращения шнека при досыпке материала x_{TP2} , упреждением досыпки материала x_{TP3} , задержкой между этапами засыпки x_{TP4} , включением скорости досыпки x_{TP5} , таймаутом этапов засыпки x_{TP6} . Самое значительное влияние на пропускную способность всей системы оказывает частота вращения шнека x_{TP1} . Для уменьшения погрешности дозирования к процессу завершения подачи компонента шнеком программа управления уменьшает частоту вращения x_{TP1} до величины x_{TP2} . Время перехода с основной частоты на частоту досыпки устанавливается значением x_{TP5} . Оно отражает долю навески, вычисленную от общей массы порции в процентном соотношении и с помощью

этого программа осуществляет переход на другую частоту вращения шнека. В процессе доставки компонента шнеком часть его находится в падении с высоты бункера дозатора и не производит воздействия на взвешивающий механизм. Для регулирования данной величины компонента установлено значение X_{TP3} – упреждение досыпки материала, измеряемое в кг. В период времени, когда установленная масса компонента достигнет значения X_{TP3} кг, осуществится выключение шнека. Если согласно технологическому процессу необходимо многокомпонентное дозирование, то в линию дозирования дополнительно интегрируют требуемое количество бункеров-накопителей и шнеков. При использовании устанавливаемого значения X_{TP4} программируется отрезок времени для переключения между шнеками. С целью обеспечения устойчивой массы навески требуется определенный период времени, который устанавливается значением X_{TP6} . При условии корректного выбора алгоритма технологических значений X_{TP} , предустановленных для шнека и дозируемого компонента производится процесс дозирования.

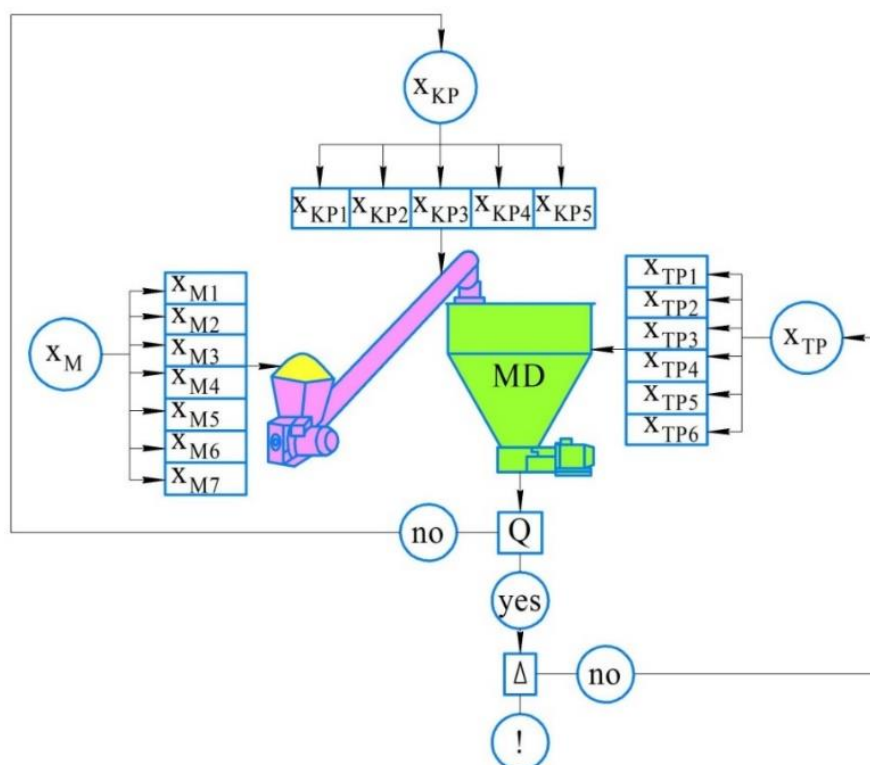


Рисунок 2.2 – Схема процесса подбора параметров системы дозирования сухих компонентов комбикорма

На основании вышеизложенного для разработанной системы дозирования сухих компонентов алгоритм технологических операций представляется в следующем виде: формирование состава выпускаемого продукта, контроль физико-механических свойств компонентов, подбор шнека в соответствии с требуемой пропускной способностью дозатора и технологическими условиями, ввод заданных технологических величин, обеспечивающих заданную точность дозирования.

2.2 Описание процесса дозирования

Основные конструкционные элементы устройства представлены на рисунке 2.3 и включают: корпус 1, шнек 2 основной насыпки с электроприводом 3, приемный бункер 4 для загрузки компонента, выгрузной патрубок 5, шнек 6 точной досыпки, расположенный в корпусе 7 и приводимый от электропривода 8, загрузочный бункер 9.

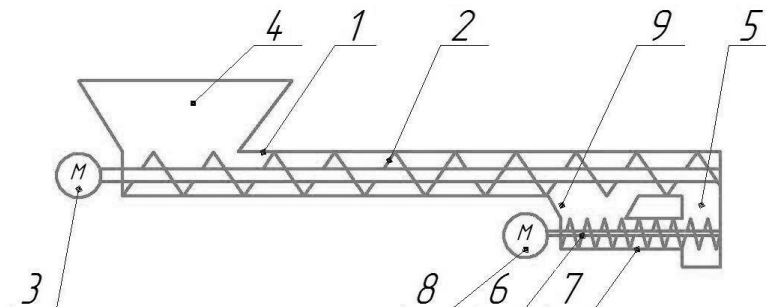


Рисунок 2.3 – Шнековый дозатор сухих сыпучих компонентов по патенту № 2813794: 1 – корпус; 2 – основной шнек; 3 – электропривод; 4 – приемный бункер; 5 – выгрузной патрубок; 6 – шнек точной досыпки; 7 – корпус шнека точной досыпки; 8 – электропривод точной досыпки; 9 – загрузочный бункер

Дозирующее устройство функционирует следующим образом. В бункер 4 загружается сыпучий компонент. На электрическом коммутационном шкафе, со встроенным сенсорным дисплеем и контроллером, вводятся необходимые

технологические параметры, и далее проводится управление и контроль технологического процесса. При подаче напряжения на асинхронный электропривод 3, посредством редуктора, передается вращательное движение на шнек 2, происходит захват элементов компонента и осуществляется его транспортировка через корпус 1 к выгрузному патрубку 5. Далее, компонент попадает в тару, расположенную на приемной площадке, которая установлена на весоизмерительных тензодатчиках, где происходит взвешивание компонента. По окончании основной загрузки компонента (85 - 95 % от требуемого, установленного значения) система управления отключает асинхронный электропривод 3 шнека 2 основной насыпки, и включает электропривод 8 шнека 6 точной досыпки. Компонент под действием витков из бункера 9 попадает в тару, расположенную на приемной площадке. Системой управления проводится постоянный мониторинг поступающих данных от тензодатчиков и при достижении заданной массы компонента, на этапах основной насыпки и досыпки осуществляется подача сигналов на отключение электродвигателей.

При рассмотрении процесса дозирования выделены следующие особенности работы:

- шнековый дозатор приводится в действие с частотой вращения n и вырабатывает номинальную производительность Q ;
- сыпучий компонент передвигается в корпусе дозирующего устройства до проема (выгрузки), где осуществляется полное удаление транспортируемого компонента из его корпуса;
- далее компонент осыпается с высоты h_i под влиянием силы тяжести на горизонтальную плоскость приемной площадки, где формирует конус из сыпучего компонента с углом естественного откоса φ (рисунок 2.5 а);
- при избыточной концентрации на поверхности массы m сыпучего компонента активируется датчик, и скорость вращения шнека дозирующего устройства уменьшается до n_d . Таким образом, переключением устройства в процесс досыпки гарантируется производительность дозатора Q_d ;

- период работы дозирующего устройства в процессе досыпки t_d устанавливается программно и после этого частота вращения уменьшается до нуля (шнек устройства прекращает движение).

График работы шнекового дозирующего устройства [9] изображен на рисунке 2.4.

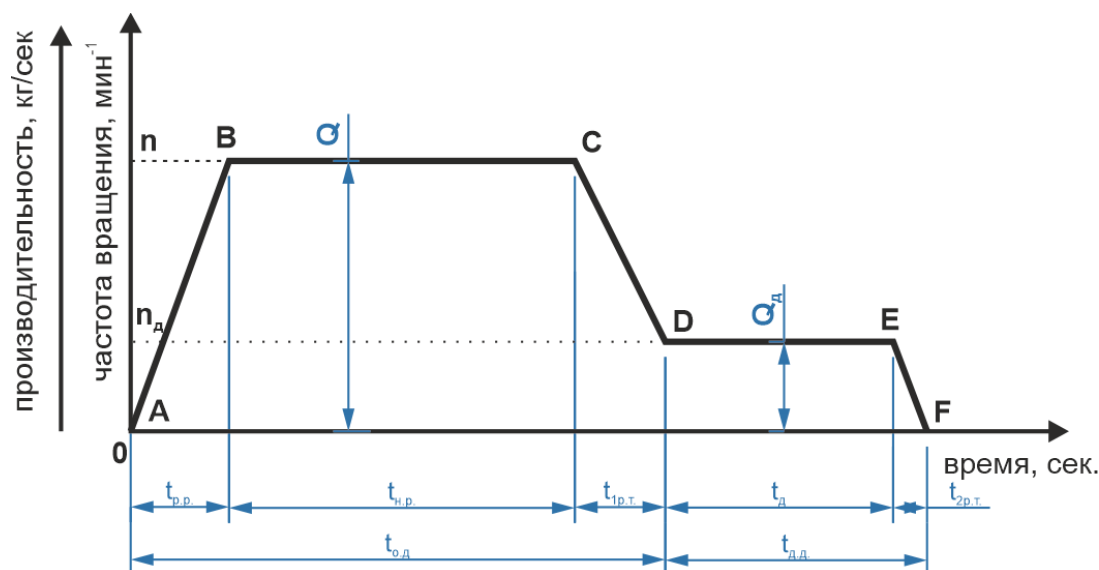


Рисунок 2.4 – График работы шнекового дозирующего устройства, где:
 $t_{р.р.}$ – период режима разгона; $t_{н.р.}$ – период работы в номинальном режиме работы; $t_{1р.т.}$, $t_{2р.т.}$ – период режима торможения; t_d – период досыпки

Как видно из графика работы дозатора, основная часть дозируемого материала подается при максимально возможной частоте вращения шнека. В работе [53] показано, что в данном режиме возможно наличие пульсационного потока дозируемого материала, что не может обеспечить постоянную и равномерную подачу дозируемого компонента. К концу дозирования частота вращения шнека снижается до частоты вращения n_d . Это сделано с целью снижения погрешности дозирования, одновременно с этим пульсации потока также снижаются. Рассмотрев график, можно сделать вывод, что остановка вала шнека осуществляется не мгновенно, а постепенно, что может привести к увеличению фактической массы навески относительно заданной. Таким образом, необходимо обоснование режимов работы дозирующего устройства и выявление влияния его

параметров на точность дозирования. Вместе с тем необходимо отметить, что при снижении частоты вращения шнека до минимальной, вплоть до его остановки наблюдается снижение пульсаций, и на участке торможения ЕФ поток дозируемого материала становится сплошным и непрерывным.

2.3 Принятые допущения и ограничения

При проведении теоретических расчетов по обоснованию влияния параметров шнекового дозатора на фактическую массу навески принимались следующие допущения:

1. Сыпучий компонент, перемещающийся по шнековому дозатору и находящийся в состоянии свободного падения, представляет собой сплошной поток.
2. Обвал слоя компонента в межвитковом пространстве при прекращении (замедлении) движения шнека не принимается к рассмотрению.
3. В качестве исходного этапа падения компонента из дозирующего устройства берем точку центра масс слоя материала u_c в дозаторе (рисунок 2.5, б), а в качестве последнего этапа падения координату вершины конуса, сформированного из сыпучего компонента.
4. Падающий слой сыпучего компонента представляет из себя симметричный, равномерный материал в течении всего падения. Его допустимо изобразить в виде определенного элементарного количества, обладающего минимальной высотой (толщиной), площадью основания пропорциональной площади выгрузки;
5. Момент срабатывания датчика минимален и допустимо его к учету не принимать.
6. Угловое смещение сегмента $S_{\text{сег}}$ при вращении шнека в расчет не берем.

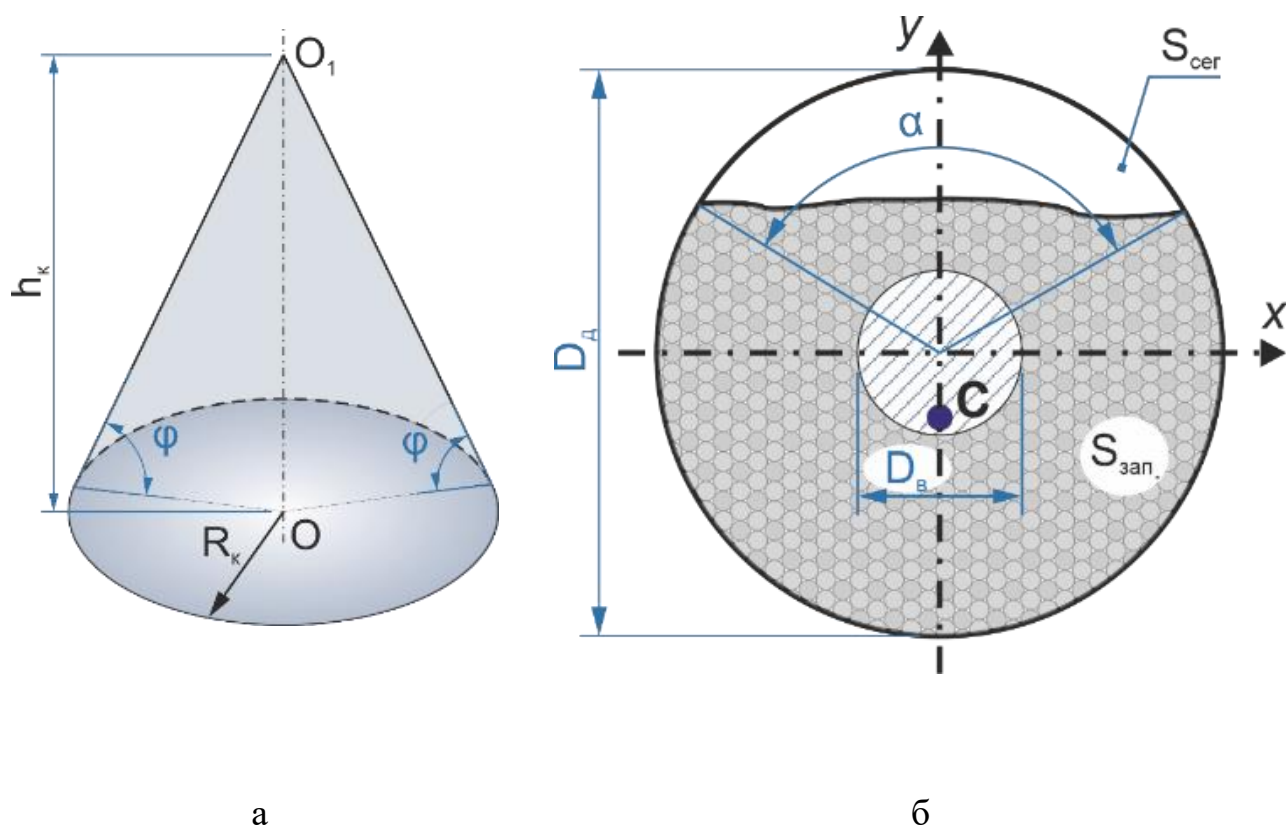


Рисунок 2.5 – Расчетные схемы: а – схема к определению объема конуса; б – центр тяжести компонента, расположенного в межвитковом пространстве шнека

Массу сыпучего компонента, перемещаемую дозирующим устройством в процессе его функционирования (рисунок 2.4), необходимо представить, как сумму из следующих слагаемых:

$$M = M_{o.d.} + M_{d.d.} = M_{p.p.} + M_{n.p.} + M_{1p.t.} + M_d + M_{2p.t.}, \quad (2.1)$$

где $M_{o.d.}$ – основная масса дозирования сыпучего компонента; $M_{d.d.}$ – масса дополнительного дозирования сыпучего компонента; $M_{p.p.}$ – масса сыпучего компонента, выдаваемого при повышении частоты вращения шнека дозирующего устройства от 0 мин⁻¹ до n ; $M_{n.p.}$ – масса сыпучего компонента, выдаваемого при номинальной частоте вращения шнека дозирующего устройства n ; M_n – масса сыпучего компонента, пребывающего в воздухе после включения датчика;

$M_{1р.т.}, M_{2р.т.}$ – масса сыпучего компонента, дозируемого во время торможения шнека дозирующего устройства с частотой вращения от n до n_d и от n_d до 0 мин⁻¹; M_d – масса сыпучего компонента, выдаваемого в процессе досыпки.

Но при этом, исходя из особенностей работы механизма дозирующего устройства и контрольно-измерительной аппаратуры, текущий процесс рекомендуется исследовать иным образом (с позиции приемной площадки). Тогда получим:

$$M = M_{о.д.} + M_{д.д.} = M_o + [M_{п.} + M_{1р.т.} + M_d + M_{2р.т.}], \quad (2.2)$$

где M_o – масса сыпучего компонента, располагающаяся на площадке во время включения датчика; $M_{п.}$ – масса сыпучего компонента, пребывающая в состоянии свободного падения в период перехода шнека в процесс торможения (в границах текущей высоты падения i -й части компонента h_i).

Массу сыпучего компонента $M_{о.д.}$ и $M_{д.д.}$ также возможно представить в долях от необходимой массы дозирования M :

$$M_{о.д.} = a \cdot M, \quad (2.3)$$

$$M_{д.д.} = (1 - a) \cdot M, \quad (2.4)$$

где a – процент(доля) от необходимой массы дозирования.

Для получения необходимой массы $M_{д.д.}$ все значения выражения должны строго отвечать установленным критериям. С этой целью вычислим все значения выражения (2.2).

2.4 Расчет массы сыпучего материала, дозируемого при торможении шнека дозатора

Производительность шнекового дозирующего устройства вычисляется по формуле [9]:

$$Q = T \cdot S \cdot \psi \cdot \rho \cdot n \cdot k, \quad (2.5)$$

где T – шаг витков шнека; S – площадь поперечного сечения дозирующего устройства; ψ – процент заполнения сыпучим компонентом поперечного сечения шнекового дозирующего устройства; ρ – насыпная плотность сыпучего компонента; n – частота вращения шнека; k – поправочный коэффициент на угол наклона шнека, для горизонтально расположенного шнека $k = 1,0$.

Массу, выдаваемую дозирующим устройством в условиях досыпки, возможно вычислить по выражению [9]:

$$M_d = Q_d t_d = T \cdot S \cdot \psi \cdot \rho \cdot n_d \cdot k \cdot t_d. \quad (2.6)$$

Массу, выдаваемую шнеком в условиях торможения, $M_{p.т.}$ возможно представить в виде [9]:

$$M_{p.т.} = TS\psi\rho k \int_0^{t_{p.т.}} n(t) dt, \quad (2.7)$$

где, $n(t)$ – закон изменения частоты вращения (торможения) шнека, который в первой интерполяции опишем в формате выражения $y=ax+b$ [9]:

$$n(t) = \frac{n_k - n_0}{\Delta t_{p.т.}} t + n_0, \quad (2.8)$$

где, n_0, n_k – начальная и конечная частоты вращения; t – текущее время; $\Delta t_{p.т.}$ – время торможения.

В таком случае выражение (2.7) с учетом (2.8) отразится в форме:

$$M_{p.т.} = TS\psi\rho k \int_0^t \left[\frac{-n_0 + n_k}{\Delta t_{p.т.}} t + n_0 \right] dt. \quad (2.9)$$

После интегрирования (2.9) получим уравнение в виде:

$$M_{1p.т.} = TS\psi\rho k \left(\frac{n_k - n_0}{2\Delta t_{1p.т.}} t_k^2 + n_0 t_k \right). \quad (2.9a)$$

Уравнение (2.9a) дает возможность вычислить массу компонента, которая будет перемещена шнеком в момент снижения частоты вращения и его торможения с n_0 до n_k . Оно действительно для области $t_{1p.т.}$, показанной на рисунке 2.3. Для области $t_{2p.т.}$ $n_k = 0$. В данном случае выражение (2.9a) получит вид:

$$M_{2p.т.} = TS\psi\rho k \left(\frac{-n_0}{2\Delta t_{2p.т.}} t^2 + n_0 t_k \right). \quad (2.9б)$$

Согласно выражению (2.9, б) построена поверхность, отображающая результат воздействия шнека на массу, которая будет перемещена шнеком в момент его торможения с частотой вращения n_0 до 0 мин^{-1} (рисунок 2.6, а). Частоту вращения шнека изменяли при помощи частотного преобразователя. Проанализирован максимально допустимый диапазон частоты вращения шнека. Минимальное $n = 18,7 \text{ мин}^{-1}$ ограничено 10 Гц, максимальное значение $n = 94,8 \text{ мин}^{-1}$ соответствует 50 Гц. При величинах, менее 10 Гц вращение шнека не происходит. Взаимосвязанность частоты вращения шнека и частоты тока определена экспериментально и изображена на рисунке 2.6, б [9]. Значение максимальной величины подачи материала на графике в $3,5 \text{ кг/мин}$ ограничили для шнека с наружным диаметром (по касательной спирали) 53 мм и высотой пера спирали 11 мм, внутренним диаметром кожуха шнека 60 мм, шагом витков 240 мм.

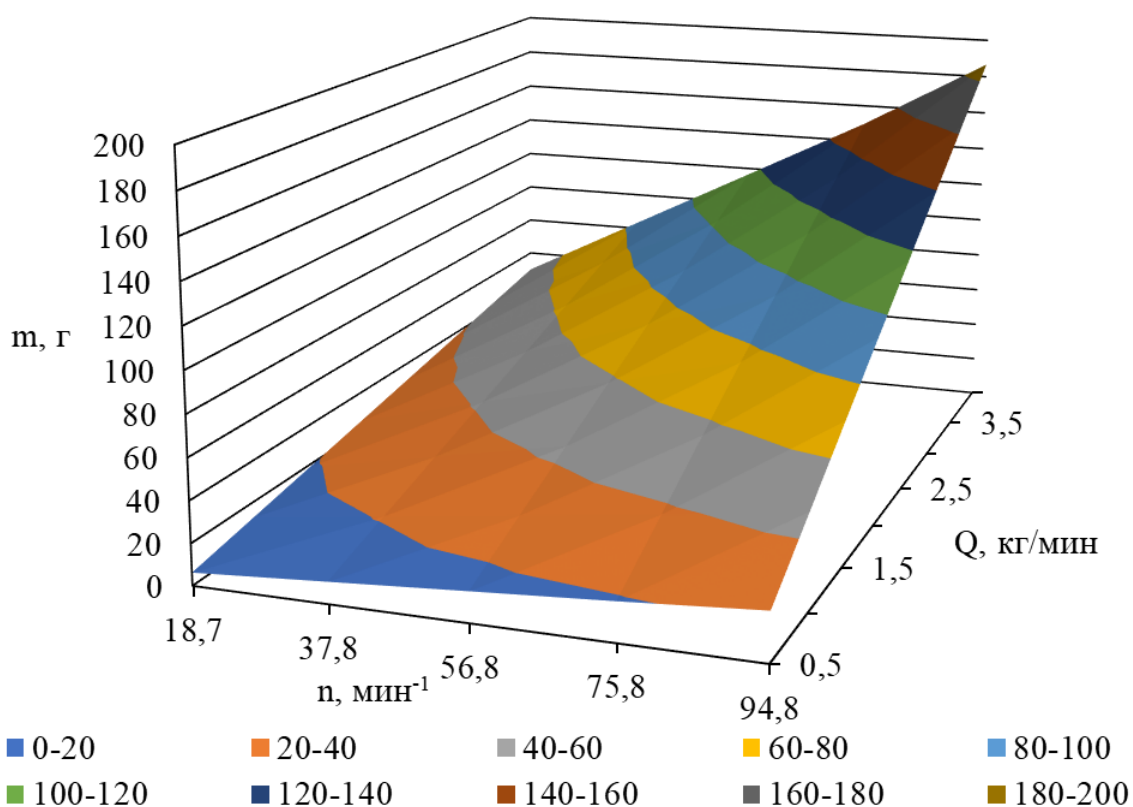


Рисунок 2.6 а – Воздействие частоты вращения шнека и подачи компонента на массу, транспортируемую шнеком в режиме торможения [9]

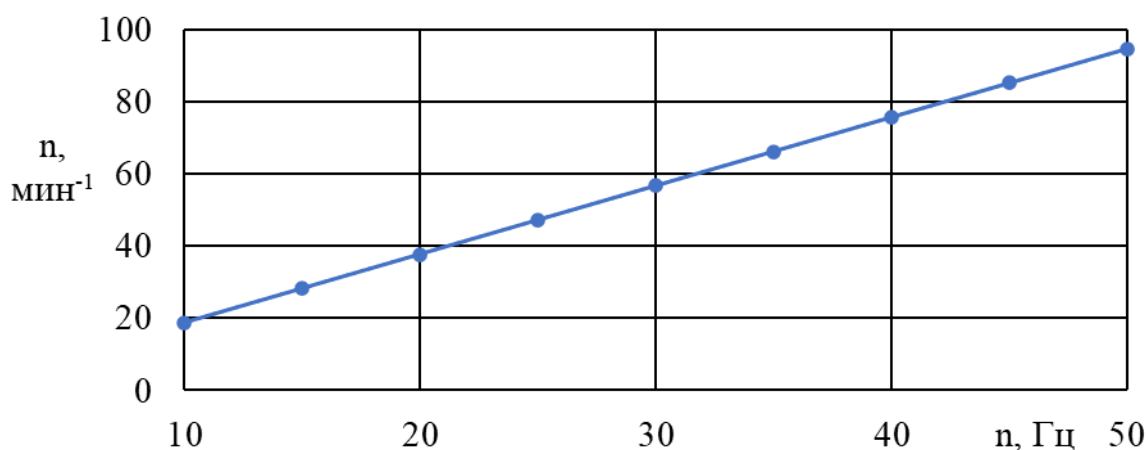


Рисунок 2.6 б – Влияние частоты тока на частоту вращения шнека дозатора

В исследуемом интервале частоты вращения шнека при ее возрастании в 5 раз (с 18,7 до 94,8 мин^{-1}) количество компонента, транспортируемого шнеком, увеличивается в 3,7 раза. Минимальная величина подачи для исследуемого шнека составляет 0,8 кг/мин.

Таким образом, наименьшая масса, транспортируемая шнеком в процессе торможения, равна 10 г. При максимальной частоте вращения $n=94,8 \text{ мин}^{-1}$ и подаче $Q = 0,8 \text{ кг/мин}$ $m = 37 \text{ г}$ [9].

2.5 Определение массы сыпучего компонента, пребывающего в условиях свободного падения

С учетом непрерывности течения частиц сыпучего компонента, попадающего на горизонтальную площадку насыпью во время реагирования датчика и начала режима затормаживания шнека, в воздухе окажется часть сыпучего компонента, не оказывающая воздействия на датчик веса и тем самым увеличивающая ошибку дозирования. Сформированный столб материала, находящегося в падении, будет иметь высоту h_n . Исходя из этого, масса,

пребывающая в условиях свободного падения определена как функция от производительности шнека:

$$M_{\pi} = Q t_{\pi}. \quad (2.10)$$

Расчетная модель для установления высоты падения и вывода уравнения движения частиц сыпучего компонента изображена на рисунке 2.7.

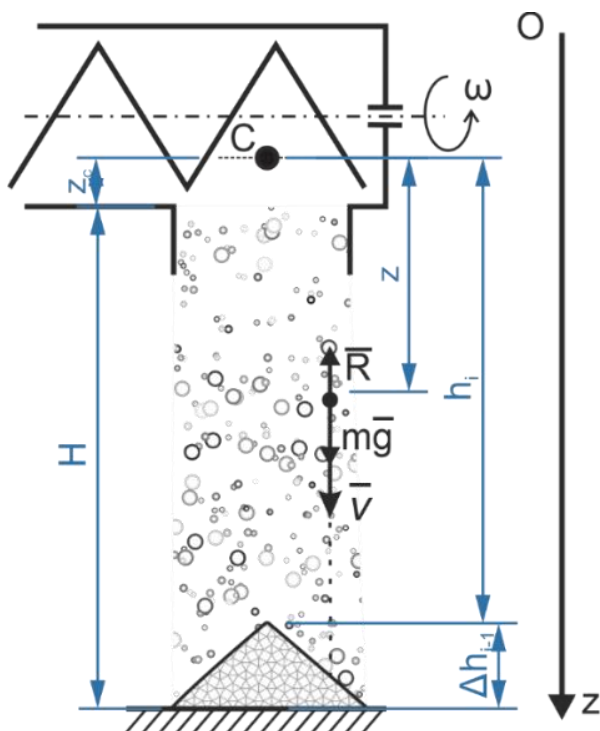


Рисунок 2.7 – Расчетная модель к определению момента полета элемента сыпучего компонента

2.5.1 Определение высоты падения

Фактическая высота падения варьирует с увеличением высоты конуса сыпучего компонента. Зависимость имеет вид:

$$h_i = H + \hat{z}_c - \Delta h_{i-1}, \quad (2.11)$$

где H – высота от выгрузного проема дозирующего устройства (нижней точки конструкции) до горизонтальной плоскости приемной площадки / установочная

высота; $\hat{z}_c$ – протяженность от точки центра масс перемещающегося слоя компонента в поперечном сечении шнека дозирующего устройства до его нижней точки конструкции (Рисунок 2.7); Δh_{i-1} – фактическая высота конуса сыпучего компонента, образованная $i-1$ элементами сыпучего компонента;
 h_i – текущая высота падения i -й части компонента.

2.5.2 Определение центра массы слоя материала в шнеке дозатора

Поскольку изображенная на рисунке 2.5 б конфигурация симметрична относительно оси y , то определять координату центра масс по оси x не актуально. Она будет равна $x_c = 0$.

Координата центра масс по оси y при таких условиях запишется как:

$$y_c = \frac{S_d z_d - S_{сег} z_{сег} - S_b z_b}{S_d - S_{сег} - S_b} \quad (2.12)$$

Показатели, требуемые для расчета координаты центра масс приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Показатели для расчета центра масс слоя компонента в корпусе дозирующего устройства

	Корпус дозатора	Сегмент	Вал шнека
Координата центра масс фигуры по оси y	0	$\frac{4 \sin^3 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{3(\alpha - \sin \alpha)} R_d$	0
Площадь фигуры S	πR_d^2	$0,5 R_d^2 (\alpha - \sin \alpha)$	πR_b^2

Допускаем, что:

$$R_b = k R_d \quad (2.13)$$

где k – коэффициент пропорциональности диаметра вала к диаметру шнека дозирующего устройства.

Вставим показатели таблицы 2.1 в выражение (2.12). Получим:

$$\begin{aligned}
y_c &= \frac{S_d y_d - S_{\text{сег}} y_{\text{сег}} - S_b y_b}{S_d - S_{\text{сег}} - S_b} = \\
&= - \frac{\frac{1}{2} R_d^2 (\alpha - \sin \alpha) \frac{4 R_d \sin^3 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{3(\alpha - \sin \alpha)}}{\pi R_d^2 - \frac{1}{2} R_d^2 (\alpha - \sin \alpha) - k^2 R_d^2 \pi} = \\
&= - \frac{\left(4 R_d \sin^3 \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right)}{3 \sin \alpha + [(6 - 6k^2)\pi - 3\alpha]}.
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Таким образом получаем уравнение с неизвестной величиной угла α .

2.5.3 Определение центрального угла сегмента

Для определения угла α напишем выражение для вычисления части заполнения компонентом поперечного сечения шнека дозирующего устройства и, упростив его, в результате получим:

$$\psi = 1 - \frac{S_b + S_{\text{сег}}}{S_d} = 1 - \frac{\pi k^2 + 0,5 (\alpha - \sin \alpha)}{\pi}. \tag{2.15}$$

На основании вышеизложенного получаем систему уравнений, решение каковой дает возможность рассчитать положение центра масс слоя компонента в зависимости от его геометрических параметров и части заполнения поперечного сечения дозатора:

$$\begin{cases} y_c = - \frac{\left(4 R \sin^3 \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right)}{3 \sin \alpha + [(6 - 6k^2)\pi - 3\alpha]}, \\ \psi = 1 - \frac{\pi k^2 + 0,5 (\alpha - \sin \alpha)}{\pi}. \end{cases} \tag{2.16}$$

В таком случае протяженность от точки центра масс перемещающегося слоя компонента в поперечном сечении шнека дозатора до нижней точки

корпуса дозирующего устройства (рисунок 2.7) возможно найти следующим образом:

$$\hat{z}_c = R_d - |y_c|. \quad (2.17)$$

2.5.4 Определение высоты конуса насыпного компонента, пребывающего в наличии во время активации датчика

Для расчета высоты падения элементов зернового компонента определим высоту конуса сыпучего компонента (бурта), сформировавшегося прежде, чем активировался датчик. Для чего определим объем сформировавшегося конуса из сыпучего компонента.

Условие активации датчика выглядит как:

$$M_o \geq \sum_{i=1}^i m_i \pm \Delta, \quad (2.18)$$

где Δ – точность измерений датчика, кг.

Таким образом выражение для расчета объема сформировавшегося конуса из сыпучего компонента будет выглядеть:

$$V_o \geq \frac{M_o}{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^i m_i \pm \Delta}{\rho}, \text{ либо } \frac{\sum_{i=1}^i m_i + \Delta}{\rho} \geq V_o \geq \frac{\sum_{i=1}^i m_i - \Delta}{\rho}.$$

Широко известная формула для определения объема конуса представляет собой:

$$V = \frac{1}{3} \pi R^2 h \quad (2.19)$$

где h – высота конуса; R – радиус конуса.

Запишем ее через угол при основании конуса φ :

$$V = \frac{1}{3} \pi h^3 \tan^2 \varphi, \quad (2.20)$$

В таком случае высота конуса из расположенного на поверхности площадки сыпучего компонента будет определена как:

$$h = \Delta h_{i-1} \leq \sqrt[3]{3 \frac{\sum_{i=1}^i m_i \pm \Delta}{\pi \rho \tan^2 \varphi}}, \quad (2.21)$$

2.5.5 Расчет массы сыпучего компонента

Объем сыпучего компонента, пребывающий в состоянии свободного падения во время активации датчика и не оказывающий воздействие на взвешивающий механизм, имеет зависимость от высоты падения и скорости подачи.

Построим уравнение падения элемента для показанной на иллюстрации 2.6 расчетной модели:

$$m\bar{a} = \bar{R} + m\bar{g}, \quad (2.22)$$

где $\bar{R} = \gamma v$ – сила аэродинамического сопротивления; γ – коэффициент парусности.

Коэффициент парусности определяется по общеизвестной формуле [54]:

$$\gamma = \frac{mg}{v_{\text{вит}}}, \quad (2.23)$$

где $v_{\text{вит}}$ – скорость витания элементов сыпучего компонента, м/с.

Отобразим уравнение (2.22) на ось ординат согласно иллюстрации 4:

$$-ma = R - mg, \text{ или } \dot{v} + \frac{\gamma}{m}v = g. \quad (2.24)$$

Выполним группировку:

$$\int \frac{dv}{g - \frac{\gamma}{m}v} = \int dt, \quad (2.25)$$

Проинтегрируем по времени:

$$-\frac{m}{\gamma} \ln(\gamma v - gm) = t + C_1, \quad (2.26)$$

Сформулируем постоянную интегрирования C_1 при следующих начальных критериях: $t_0 = 0$ сек, $v_0 = 0$ м/с:

$$-\frac{m}{\gamma} \ln(-gm) = C_1 \quad (2.27)$$

В результате после усовершенствования получим:

$$-\frac{m}{\gamma} \left(\ln \left(1 - \frac{\gamma}{gm} v \right) \right) = t, \quad (2.28)$$

Выразим из выражения (2.28) скорость v :

$$v = \frac{gm}{\gamma} \left(1 - e^{-\frac{\gamma}{m}t} \right). \quad (2.29)$$

Проинтегрируем выражение (2.29) и выведем выражение для расчета высоты падения элемента (компонента):

$$z = \frac{gm}{\gamma} \left(\frac{m}{\gamma} e^{-\frac{\gamma}{m}t} + t \right) + C_2, \quad (2.30)$$

Определим постоянную интегрирования C_2 в начальный момент падения элемента (начальные условия): $t_0 = 0$ сек, $z_0 = 0$ м:

$$C_2 = -g \frac{m^2}{\gamma^2}. \quad (2.31)$$

Сопоставим выражение (2.31) для константы C_2 в формулу (2.30). В результате получим выражение:

$$z = g \frac{m^2}{\gamma^2} \left(e^{-\frac{\gamma}{m}t} - 1 \right) + g \frac{m}{\gamma} t. \quad (2.32)$$

Время падения $t_{\text{п.расч.}}$ элементов компонента возможно найти при численном решении уравнения (2.32), а именно, по итогу реализации циклического алгоритма с шагом $\Delta t = 0.01$ сек в MatCad Prime.

$$t_{\text{п.расч.}} := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..10000 \\ \quad \Delta \leftarrow 0.01 \text{ s} \\ \quad t_i \leftarrow \Delta \cdot i \\ \quad y \leftarrow g \cdot \frac{m_i^2}{k^2} \left(e^{-\frac{k}{m_i} \cdot t_i} - 1 \right) + g \cdot \frac{m_i}{k} \cdot t_i \\ \quad \text{if } y \geq H_K \\ \quad \quad \text{break} \\ t_i \end{array} \right\| = 1.35 \text{ s}$$

Рисунок 2.8 – Пример численного поиска времени падения в MatCad Prime 6.0

Таким образом, масса компонента $M_{\text{п}}$, расположенного в воздухе, может быть рассчитана по формуле:

$$M_{\text{п}} = Q t_{\text{п.расч.}} \quad (2.33)$$

По выражению (2.33) построена поверхность, отображающая зависимость количества сыпучего компонента, пребывающего в свободном падении от времени падения и подачи. Зависимость массы компонента, пребывающего в свободном падении, как от времени падения, так и от подачи. Подача материала Q состоит в прямо пропорциональной зависимости. В ходе рассмотрения графика видно, что с возрастанием одного из факторов степень влияния второго на критерий оценки увеличивается.

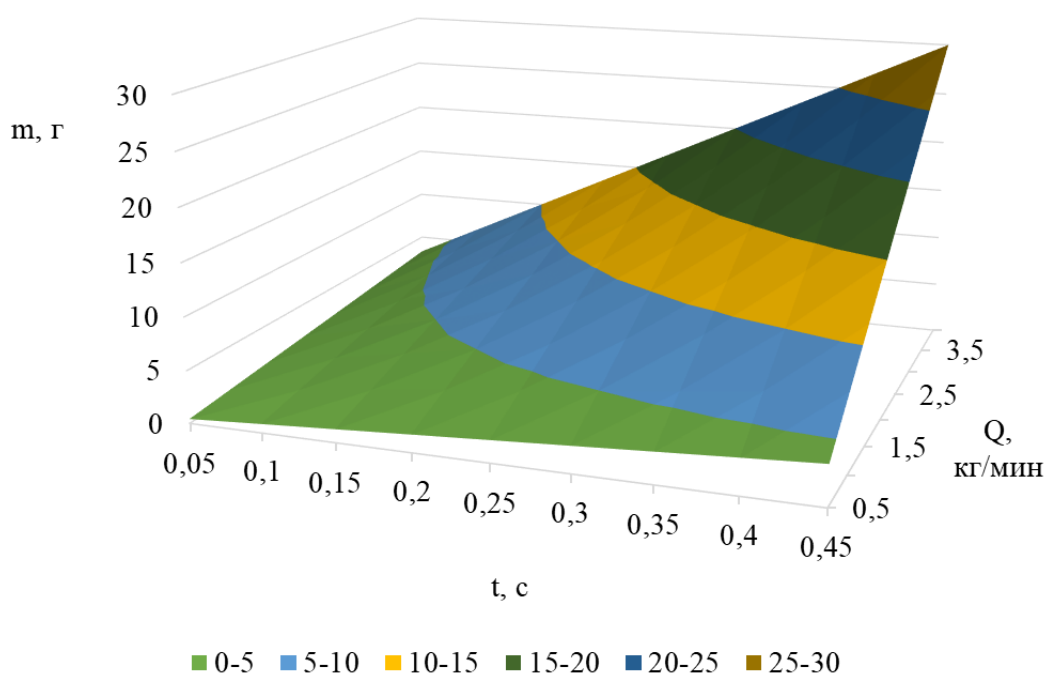


Рисунок 2.9 – Зависимость количества сыпучего компонента пребывающего в свободном падении от времени падения и подачи

Проведем анализ влияния подачи и высоты падения на величину компонента, пребывающего в свободном падении. С этой целью подставим уравнение (2.23) для установления коэффициента сопротивления воздуха в выражение (2.32), осуществим перестроение и сформируем уравнение для определения высоты падения подаваемого компонента:

$$z = \frac{v_{\text{вит}}^2}{g} \left(e^{-\frac{g}{v_{\text{вит}}} t_{\text{п.расч.}}} - 1 \right) + v_{\text{вит}} t_{\text{п.расч.}} \quad (2.34)$$

Уравнение (2.34) устанавливает связь между высотой и временем падения компонента.

В результате совместного решения выражений (2.33) и (2.34) получены графики, характеризующие изменение количества соли, пребывающей в свободном падении, в зависимости от ее подачи и высоты падения (рисунок 2.10). Рассмотрен случай дозирования соли, как одного из наиболее тяжелых и сложно дозируемых материалов. Скорость витания соли принимали из справочника равной $\vartheta_{\text{вит}}=9,8$ м/с [98].

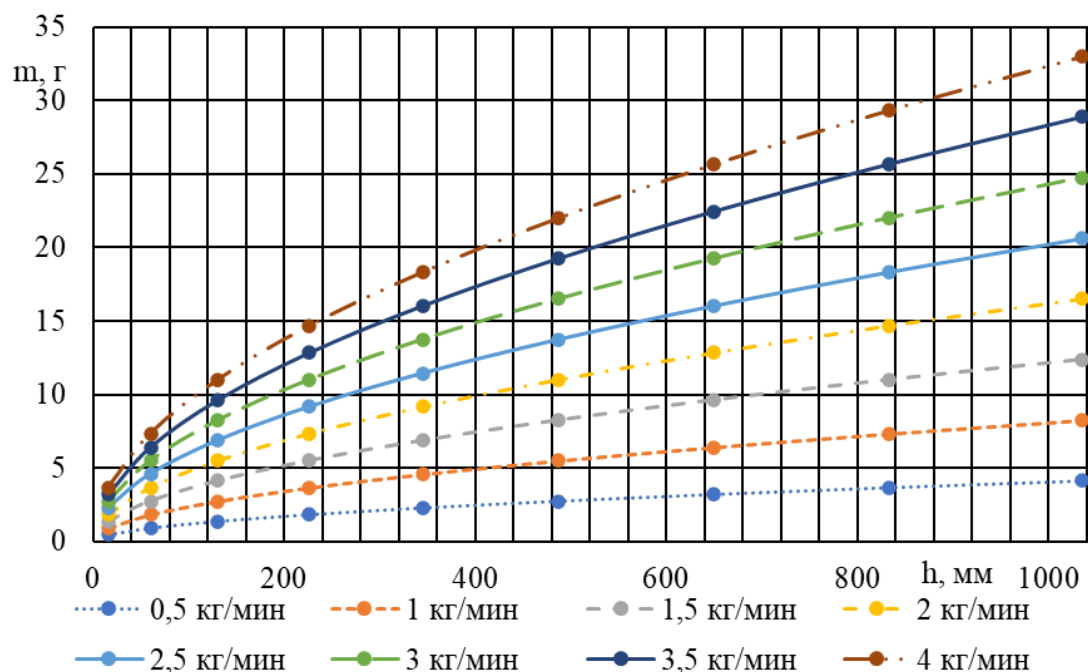


Рисунок 2.10 – Влияние подачи и высоты падения компонента на массу в свободном падении

При анализе графиков видно: чем выше высота падения, тем больше количество компонента, пребывающего в падении, по экспоненциальной зависимости. График предоставляет возможность определить массу компонента, который пребывает в свободном падении, при заданных параметрах высоты падения и подачи.

Таким образом, мы получаем информацию и возможность для внесения корректировок в программу управления с учетом данной массы. К примеру, при высоте бункера механизма взвешивания 1 м в программу требуется вводить корректировку 33 г при подаче 4 кг/ч, 29 г – при подаче 3,5 кг/ч и т.д.

При рассмотрении графиков, изображенных на рисунках 2.9 и 2.10, можно прийти к заключению, что наиболее точное дозирование проводится при минимальной высоте столба падения и подачи компонента.

Рецептура комбикормов состоит из различных компонентов, скорость витания которых различается.

Проанализируем воздействие скорости витания элементов, характеризующее вид материала, и высоту падения на количество компонента, пребывающего в состоянии свободного падения, при постоянной величине подачи компонента $Q = 0,8$ кг/ч (рисунок 2.11). По построенному графику возможно установить разность в массе материалов при одинаковом значении высоты столба падения. К примеру, имея высоту столба падения 200 мм масса материала со скоростью витания 1 м/с достигает 4,4 г, а материал с $v_{\text{вит}} = 9$ м/с составляет 2,7 г. При повышении высоты столба падения до 400 мм массы возрастают до величин 8,3 и 4,4 г соответственно.

Таким образом, вышеупомянутый график предоставляет возможность вычислить погрешность в дозировании материалов с различными физико-механическими свойствами при одинаковых условиях.

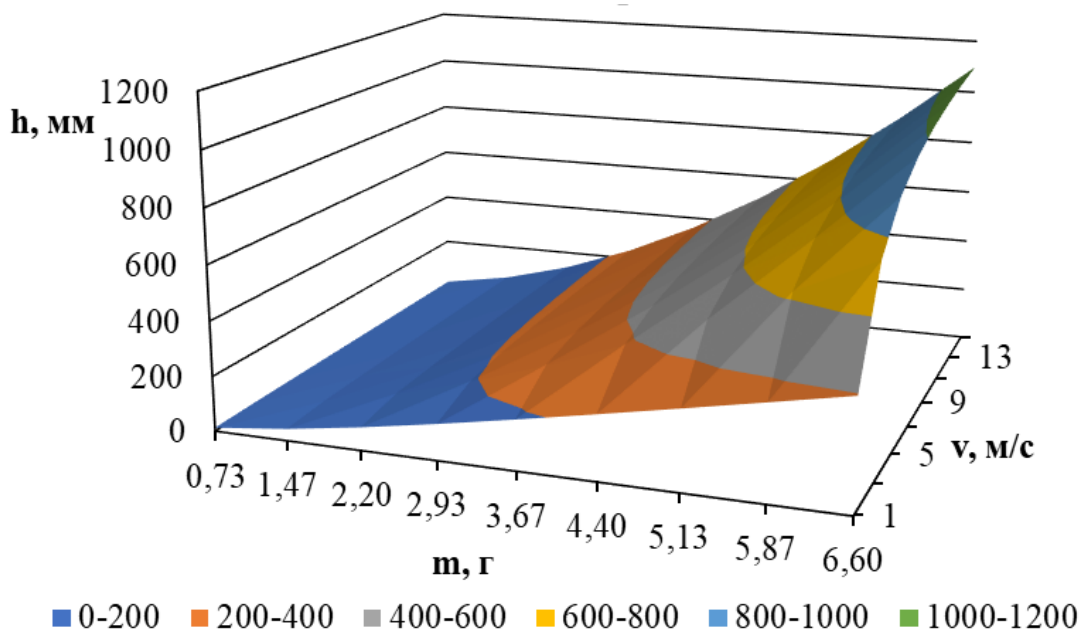


Рисунок 2.11 – Зависимость высоты столба падения от скорости витания компонента и массы компонента, пребывающего в свободном падении при $Q = 0,8$ кг/мин

Чтобы определить общую массу дозируемого материала, определяющую погрешность дозирования, следует использовать графики, изображенные на рисунках 2.6 а и 2.11. К примеру, скорость витания мела и соли отличается в восемь раз, а плотность имеет различия в два раза. При частоте вращения вала шнека $18,7 \text{ мин}^{-1}$ и высоте накопительного бункера 1 метр масса мела в падении составит 13,2, а соли – 6,6 г. При неизменных условиях шнеком в момент его торможении дополнительно переместится 3,2 г мела и 6,3 г соли.

Таким образом, суммарно после активации датчика будет дополнительно добавлено 16,4 г мела и 12,9 г соли.

2.6 Выводы по разделу

При определении режимов и параметров шнекового дозатора сыпучих материалов необходимо выделить следующие особенности работы.

1. По достижению установленной массы дозы и подачи сигнала на прекращение работы остановка вала шнека в случае привода асинхронным электродвигателем осуществляется не мгновенно, а постепенно, что приводит к увеличению фактической массы навески относительно заданной.

2. Получены теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении, определяющие погрешность дозирования.

3. Определено, что масса компонента, транспортируемого шнеком в режиме торможения, прямо пропорциональна частоте вращения шнека и его подаче.

4. Рассчитана минимальная теоретическая величина массы, определяющая погрешность дозирования при использовании шнека ДШ-60, которая составляет 16,4 г – для мела и 12,9 г – для соли.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа проведения экспериментальных исследований рабочего процесса дозирующего устройства разработана в соответствии с поставленными задачами и сформирована из следующих последовательных этапов оценки:

1. Работы установки на точность дозирования сухого компонента комбикорма при работе устройства с асинхронным и шаговым электроприводом.
2. Влияния асинхронного и шагового электроприводов на точность дозирования сухих сыпучих компонентов в режиме дозирования двумя шнеками.

3.2 Лабораторные установки

Лабораторная установка собрана и установлена в научно-производственной лаборатории «Системы гигиенизации и переработки зерна (кормовых смесей) производства гранулированных кормов» на базе Нижегородского государственного инженерно-экономического университета.

В предложенном дозирующем устройстве, согласно патенту на изобретение № 2813794 «Шнековый дозатор сухих сыпучих компонентов» [88], шнеки расположены друг над другом и имеют общий корпус, что удешевляет стоимость установки и уменьшает габариты конструкции. Для проведения экспериментальных исследований лабораторные дозирующие устройства (шнеки) были изготовлены отдельно друг от друга, что упрощало проведение эксперимента во время наблюдения за изменениями исследуемых параметров, получения и фиксации, а также дальнейшей оценке необходимых результатов.

На первом этапе экспериментальных исследований лабораторная установка (рисунок 3.1) представляла из себя раму с встроенными в нее тензодатчиками на которые опирается приемная площадка, две отдельно стоящие металлические конструкции с загрузочными бункерами, в которых располагаются шнеки, имеющие различия по конструкционным параметрам, соединенные посредством редукторов с электроприводами. Система управления дозатором смонтирована в электрическом коммутационном шкафу со встроенным сенсорным монитором. На основании проведенного нами глубокого анализа программ и систем управления дозирующими устройствами было выявлено, что все программы узкоспециализированы, часть из них не учитывает существенные параметры, определяющие погрешность дозирования [11]. Поэтому для оперативного управления дозированием и повышения показателей точности дозирования нами разработана специальная программа, при разработке которой учитывалась особенность конструкции дозатора: наличие двух рабочих органов (шнеков). Программа написана для ПЛК TM241C24R, языком программирования является Structured Text (ST), а средой – EcoStruxure Machine Expert. На программу получено свидетельство о государственной регистрации № 2023661766 Российская Федерация. Технологические показатели и состав компонентов вносились в программу с помощью сенсорного монитора компании Schneider (рисунок 3.2). Подробное описание программы представлено в работе [11].

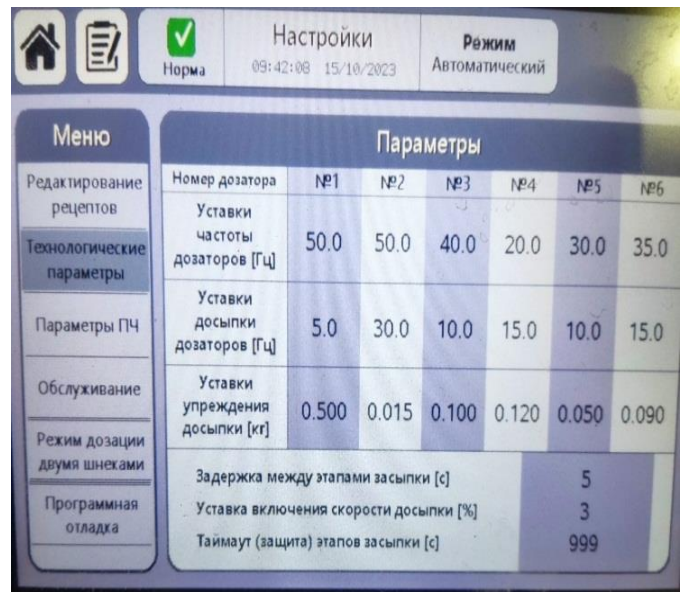


Рисунок 3.1 – Общий вид установки

Шнек ДШ-60 имел следующие конструкционные параметры - наружный диаметр шнека (по касательной спирали) 53 мм, высота пера спирали 11 мм, шаг витков 24 мм, внутренний диаметр кожуха шнека 60 мм. Шнек ДШ-120 - наружный диаметр шнека (по касательной спирали) 116 мм, высота пера спирали 38 мм, шаг витков 115 мм, внутренний диаметр кожуха шнека 120 мм (рисунок 3.3).



а



б

Рисунок 3.2 – Модуль управления рабочими органами установки: а – шкаф электрический коммутационный; б – встроенный сенсорный монитор для ввода технологических данных компании Schneider



а



б

Рисунок 3.3 – Общий вид загрузочных бункеров со встроенными шнеками: а – шнек ДШ-120; б – шнек ДШ-60

При исследовании влияния на точность дозирования шагового

электродвигателя в качестве привода лабораторная установка (рисунок 3.4, а) представляла собой установленный на раме корпус со смонтированным в его верхней части бункером для загрузки компонента и выходным отверстием, расположенным снизу.

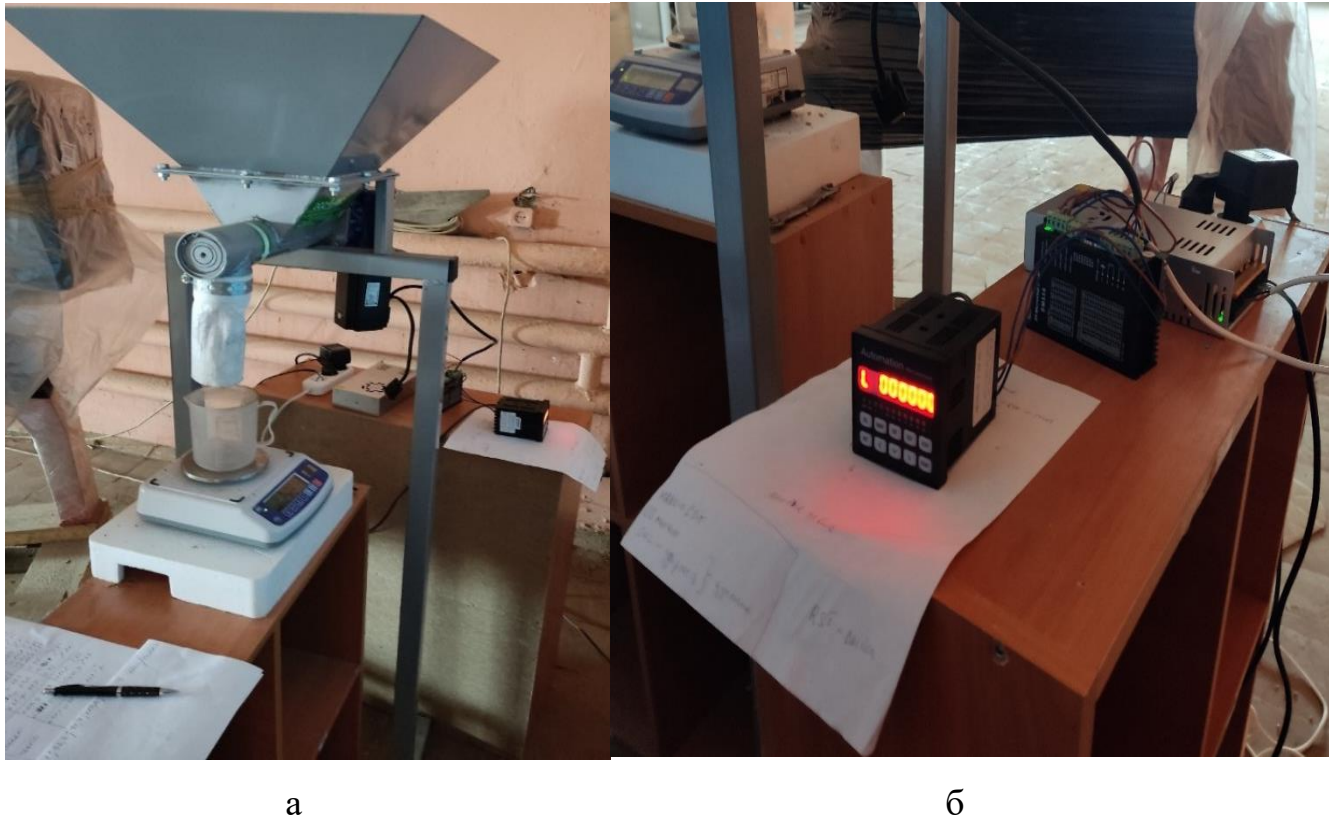


Рисунок 3.4 – Дозирующее устройство с шаговым электродвигателем: а – общий вид лабораторной установки; б – контроллер и источник питания

Внутри корпуса располагался шнек ДШ-60, соединенный посредством червячного редуктора с шаговым электроприводом модели 86CME85 Leadshine, который осуществлял вращение шнека. Шнек имел следующие конструкционные параметры: наружный диаметр шнека (по касательной спирали) 53 мм, высота пера спирали 11 мм, шаг витков 24 мм, внутренний диаметр кожуха шнека 60 мм (рисунок 3.5). Управление электроприводом осуществлялось с помощью контроллера КН-01 и источника питания 220/48 В (рисунок 3.4, б). Под выходным отверстием устройства располагался стол с лабораторными весами модели ВК-300 (рисунок 3.4, а).



Рисунок 3.5 – Общий вид исследуемого шнека

На третьем этапе исследований был изготовлен лабораторный образец экспериментального устройства для дозирования сухой сыпучей продукции, состоящий из двух отдельно стоящих модулей со сходной конструкцией. Модуль №1 обеспечивает дозирование основной массы навески, а досыпку оставшейся части установленной массы осуществляет модуль №2, который представляет из себя металлическую станину с жестко закрепленным на ней корпусом, сверху которого установлен бункер для загрузки компонента, а в нижней части располагается выходное отверстие. Внутри корпуса располагается шнек, соединенный посредством червячного редуктора с электроприводом. Система управления, представляет собой электрический коммутационный шкаф со встроенным сенсорным монитором. Взвешивающее устройство представляет собой раму, со встроенными в нее тензодатчиками, на которые опирается приемная площадка с мерной емкостью (рисунок 3.6). Технические данные устройств представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические данные модулей двухшнекового дозатора

№ Модуля	Внутренний диаметр кожуха шнека, мм	Наружный диаметр шнека (по касательной спирали), мм	Высота пера спирали, мм	Шаг витков, мм	Тип электродвигателя	Мощность /напряжение электродвигателя, W/t/U	Обороты двигателя, об/мин
Модуль №2 ДШ-60	60	53	11	24	Асинхронный АИР 71А2 У1 Шаговый Leadshine 86СМЕ85 NEMA34	0.75 кВт/380V 0.75 кВт/220 V	2760 3000
Модуль №1 ДШ-120	120	116	38	115	Асинхронный	2.2 кВт/380 V	1420



а



б

Рисунок 3.6 – Общий вид лабораторного образца двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма: а – модули дозирования сухих сыпучих компонентов; б – независимая рама с измерительными тензодатчиками

Во время проведения лабораторных исследований изучалась работа устройства в режиме дозирования двумя шнеками и влияние электроприводов модуля № 2 на точность дозирования. В первом случае на модуле №2 дозирование

осуществлялось от асинхронного электропривода, во втором случае привод заменяли на шаговый и повторно определяли необходимые показатели.

3.3 Приборы и оборудование

Определение погрешности массы дозы компонента проводили на лабораторных весах серии ВК-300.01. Измерение температуры и показателей окружающего воздуха при проведении экспериментов осуществлялись с использованием универсального измерительного прибора testo 440. Определение влажности дозируемого компонента проводился влагомером фауна-М. Внешний вид применяемых при лабораторных экспериментах устройств представлен на рисунке 3.7.



а



б



в

Рисунок 3.7 – Общий вид применяемых при лабораторных экспериментах устройств: а – фауна-М; б – универсальный измерительный прибор testo 440; в – лабораторные весы ВК-300.01

3.4 Методика определения погрешности дозирования устройства с асинхронным электроприводом

Рассматривалось воздействие массы навески, а также начальной и конечной частот вращения шнека на точность дозирования при равных прочих условиях. Цель – вычислить минимально возможную массу порции, которую возможно взвесить установленным шнеком.

Лабораторные эксперименты проводились в следующей последовательности: сыпучий компонент засыпался вручную в приемный бункер. На оснащённом сенсорным планшетом шкафе управления компании Schneider вводились необходимые технологические значения: уставка частоты шнека (Гц), уставка досыпки шнеком (Гц), уставка упреждения досыпки (кг), задержка между этапами засыпки (с). После чего, подавалась команда на включение дозирования и программа приступала к последовательному выполнению технологической операции согласно установленных параметров. На электропривод подавалось напряжение и посредством редуктора вращательное движение передавалось на шнек, с помощью которого компонент транспортировался к выгрузному патрубку. Для измерения массы навески компонент попадал в контрольную ёмкость, находящуюся на приемной площадке, которая оборудована весоизмерительными тензодатчиками. При достижении установленной величины массы компонента подавался сигнал с тензодатчиков приемной площадки и с электропривода снималось напряжение, процесс работы дозирующего устройства останавливался. Информация о массе контрольной навески компонента выводилась на монитор и в последствии фиксировалась в журнале. Далее процесс повторялся.

Оценка точности дозирования осуществлялась для одного компонента – измельченного зерна. Масса навески менялась от 0,050 и далее 0,1; 0,2; 0,3 кг, с поочередным изменением частоты вращения шнека от 12 до 24 Гц с градацией в 1 Гц, при неизменных значениях уставки досыпки шнеком (Гц), уставки упреждения

досыпки (кг), задержки между этапами засыпки (сек.) Параметры технологических значений, установленные в программе при экспериментальном исследовании, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технологические параметры

№ опыта	Уставки частоты вращения шнека, Гц	Уставки досыпки шнеком, Гц	Уставки упреждения досыпки, кг	Задержка между этапами засыпки, с.
1-13	12-24	5	0,03	5

По результатам экспериментальных исследований были определены показатели работы дозатора и построены графики.

3.5 Методика определения погрешности дозирования устройства с шаговым электроприводом

Исследование реализовывали в следующей последовательности. На лабораторные весы устанавливалась мерная емкость и весы обнулялись. На контроллере программировались необходимые вводные данные и запускался технологический процесс на модуле 2. На шаговый электропривод подавалось напряжение и посредством редуктора вращательное движение передавалось на шнек, с помощью которого компонент транспортировался к выгрузному патрубку. Из выгрузного патрубка дозируемый компонент попадал в контрольную емкость, установленную на весах. После отключения электропривода осуществлялась фиксация массы навески и производились необходимые расчеты. Далее установочные данные в программе контроллера изменялись и опыт повторялся.

Результаты сопоставляли с предварительно полученными, когда в виде электропривода использовался асинхронный электродвигатель, приводивший во вращение шнек ДШ-60 [14].

В связи с полученными результатами экспериментальных исследований рабочего процесса дозатора с асинхронным электродвигателем установлено, что при задаваемых значениях исследуемых параметров невозможно добиться допустимой погрешности дозирования компонентов с различными физико-механическими свойствами. Было принято решение последующие эксперименты осуществлять с ячменем ввиду того, что среди исследуемых компонентов он имеет средние показатели плотности и скорости витания, а также не является труднодозировуемым компонентом. Во время проведения исследований средняя температура окружающего воздуха составляла $+ 20^{\circ}\text{C}$, влажность ячменя – 11%. Масса навески варьировала в границах от 20 до 250 г. Анализ точности дозирования выполнялся при различной скорости шагов (v). Устанавливались две граничных величины $v = 1000$ и 3000 шаг/с, при которых масса перемещаемого сыпучего компонента исследуемым шнеком была аналогичной массе перемещаемого компонента этим же шнеком, приводимым асинхронным электродвигателем. Кроме того, проводился анализ воздействия на точность дозирования массы навески. Масса взвешиваемой навески устанавливалась числом шагов. Эксперименты проводились в 10 этапов, количество шагов N последовательно изменялось от 10000 до 100000 с периодичностью 10000 шагов.

3.6 Методика испытания устройства в режиме дозирования двумя шнеками

Экспериментальные лабораторные исследования выполнялись следующим образом: сыпучие материалы ручным способом поочередно загружались в приемный бункер. С помощью сенсорного планшета электрического шкафа

компании Schneider устанавливались следующие целевые технологические параметры уставки: частоты шнека (Гц), досыпки шнеком (Гц), упреждения досыпки (кг), переключения на второй шнек (%); общая масса дозы (кг), задержка между этапами засыпки (с). Параметры, характеризующие условия осуществления лабораторного эксперимента, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Установочные данные

Уставка переключения на второй шнек в % от массы навески при дозировании зерна	70	75	80	85	90	95	-	-	-	-
Уставка переключения на второй шнек в % от массы навески при дозировании мела	70	75	80	85	90	95	99	-	-	-
Уставка переключения на второй шнек в % от массы навески при дозировании соли	50	51	52	53	54	55	60	64	65	66
Уставка досыпки дозаторов (модуль №1 / №2, Гц)	5,0 / 30,0									
Уставка частоты шнека (модуль №1 / №2, Гц)	50 / 50									
Уставка упреждения досыпки (модуль №1 / №2, кг)	0,500 / 0,015									
Общая масса навески, г	1000									
Задержка между этапами засыпки, с	5									

Эксперименты проводились в режиме дозирования двумя шнеками. В соответствии с предустановленными данными программа осуществляла управление технологическим процессом дозирования. По условиям алгоритмов программы поочередно поступала команда на включение электроприводов шнеков модуля №1, затем модуля №2. Во время подачи команды запускался привод шнека модуля №1, по достижению определенной массы, установленной в процентном соотношении от общей массы навески, привод модуля №1 выключался и включался привод шнека модуля № 2, который производил досыпание

необходимой порции компонента. По окончании выполнения программы происходила остановка технологического процесса. Информация о массе полученной порции выводилась на монитор и записывалась в журнал наблюдений. В последствии уставка включения привода второго шнека (%) изменялась и технологический процесс возобновлялся. Уставка переключения на второй модуль определялась предварительно, работа производилась от минимально возможных до максимально возможных величин. Исходные установки были приняты по итогам предварительных исследований. Чем больше данный параметр, тем меньше по времени был задействован модуль №2 и соответственно выше пропускной потенциал дозатора. После чего, на модуль №2 вместо асинхронного электропривода устанавливался шаговый, и программа экспериментальных лабораторных исследований повторялась.

При осуществлении экспериментальных лабораторных исследований последовательно программировались необходимые установочные данные, реализующие порядок и последовательность работы дозирующих устройств. Оценка погрешности дозирования осуществлялась тремя компонентами с разными физико-механическими свойствами: зерно, мел, соль. Масса навески для всех компонентов взята из предшествующих исследований и составляла 1000 г, как минимально возможная масса, которую возможно отмерить на исследуемом дозирующем устройстве [10;12].

Экспериментальные лабораторные исследования процесса дозирования двумя шнеками состояли из трех этапов. На первом этапе осуществлялось дозирование зерна с поочередным применением асинхронного и шагового электропривода при уставке переключения на второй шнек от 70 % и выше. На втором этапе осуществлялось дозирование соли с поочередным применением асинхронного и шагового электропривода при уставке переключения на второй шнек от 50 % и выше. На третьем этапе осуществлялось дозирование мела с поочередным применением асинхронного и шагового электропривода при уставке переключения на второй шнек от 70 % и выше.

3.7 Методика производственной проверки работоспособности двухшнекового дозатора компонентов комбикорма

Производственные исследования двухшнекового дозатора компонентов комбикорма проводились в составе линии, установленной в цехе по приготовлению рассыпных комбикормов племенного завода ООО ПЗ «Большемурашкинский», расположенном в пос. Советский Большемурашкинского района Нижегородской области в период с 22 по 28 июля 2024 г.

Исследования выполнялись для подтверждения достоверности теоретических расчетов и полученных данных во время экспериментальных лабораторных исследований. Цель производственных исследований – повышение точности дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма с дальнейшей интеграцией предлагаемого устройства в технологический процесс производства, для приготовления сбалансированного полнорационного корма с необходимым количеством витаминов, микро и макроэлементов.

Основная задача цеха – приготовление сбалансированного комбикорма согласно заданной рецептуре для кормления сельскохозяйственных животных, в основном крупнорогатого скота разных возрастных категорий, включая молодняк. Цех общей площадью 360 м² состоит из трех производственных помещений: склада сырьевых компонентов площадью 40 м², помещения приготовления комбикорма 285 м² с размещенным в нем оборудованием и пунктом управления и отгрузочной зоной (рисунок 3.8), склада для хранения готовой продукции 35 м².

Установленная в цехе технологическая линия (рисунок 3.9) состоит из нории для загрузки сухих сыпучих компонентов 1, трех бункеров 2 для макрокомпонентов, шнековых транспортеров 3, взвешивающего механизма 4, бункера дробилки 5, дробилки 6, смесителя 7, отгрузочного бункера 8. В состав этой линии нами был

установлен двухшнековый дозатор для дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма с асинхронным электроприводом (шнек основной насыпки) 9, с шаговым электроприводом (шнек досыпки) 10 и взвешивающим устройством (рисунок 3.10), предназначенных для дозирования необходимых микрокомпонентов согласно заданного рациона (таблица 3.4).



Рисунок 3.8 – Общий вид цеха для приготовления комбикорма

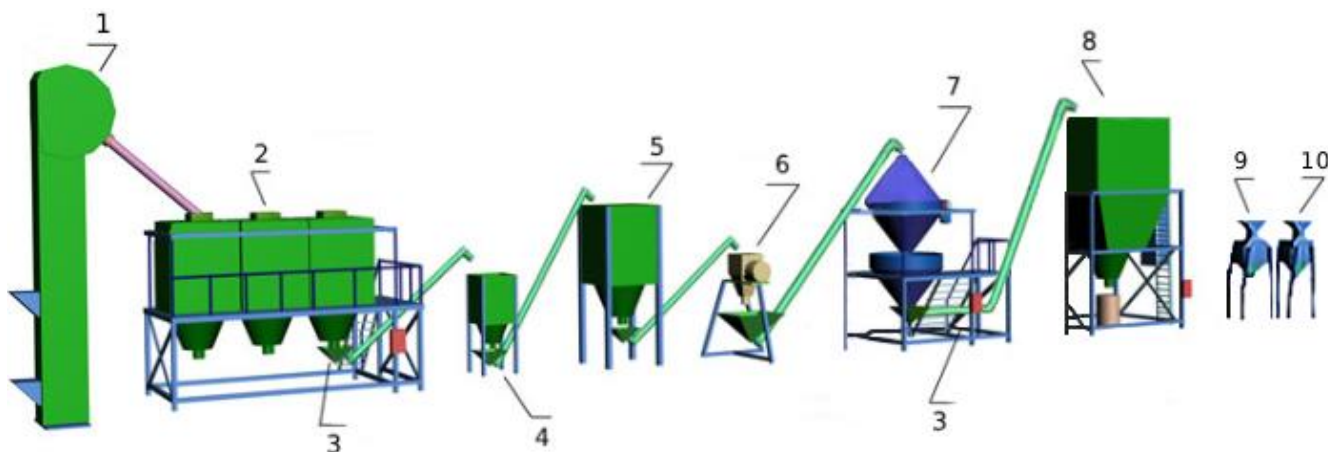


Рисунок 3.9 – Технологическая линия по дозированию макро и микрокомпонентов комбикорма на племенном заводе ООО ПЗ «Большемурашкинский»

Принцип работы технологической линии заключается в следующем: с загрузочной площадки норией 1 макрокомпоненты (пшеница, кукуруза, шрот) поочередно загружаются в приемный бункер 2, на пульте управления вводится

необходимое количество макрокомпонентов согласно рациону, после чего программа рассчитывает необходимое процентное соотношение компонентов в комбикорме. С помощью шнековых транспортеров 3 компонента поочередно подаются на взвешивающий механизм 4, далее попадают в бункер дробилки, а в последствии в дробилку 5 для измельчения. После чего компонент попадает в смеситель 7 и далее в отгрузочный бункер 8.



Рисунок 3.10 – Двухшнековый дозатор сухих сыпучих компонентов комбикорма

Параллельно данному технологическому процессу, в приемные бункера двухшнекового дозатора 9, 10 компонентов комбикорма, согласно рецепту, поочередно загружаются микрокомпоненты и на панели управления устанавливается необходимая масса ввода компонента. Посредством шнека основной насыпки 9, приводимого асинхронным электроприводом, подается компонент общей массой 85-95%, от заданной согласно рациону. Компонент попадает в тару, установленную на приемную весовую площадку, оборудованную тензодатчиками. После набора необходимой массы шнеком 9, включается шнек досыпки, приводимый шаговым электроприводом 10, и досыпает недостающую массу с заданной точностью. По завершению набора установленной массы с тензодатчиков приемной весовой площадки приходит сигнал, и процесс

останавливается. На отгрузочную площадку заезжает трактор с прицепом – миксером (рисунок 3.11), в верхний приемный люк которого из отгрузочного бункера 8 (рисунок 3.9) засыпается требуемая масса макрокомпонента согласно рецепту. В боковой люк прицепа-миксера оператором из тары загружается микрокомпонент, полученный с приемной весовой площадки исследуемого двухшнекового дозатора. Далее, трактор доставляет прицеп-миксер с комбикормом определенной группе животных согласно графику кормления и установленного рациона.



Рисунок 3.11 – Отгрузочная площадка

Для приготовления высокопитательного полноценного корма в хозяйстве широко используются зерно бобовых и злаковых – источники микро и макроэлементов, белки растительного и животного происхождения, жиры, белково-витаминные и минеральные добавки, а также требуемые по необходимости ветеринарные препараты [19].

Оценка результатов работы двухшнекового дозатора компонентов комбикорма осуществлялась при дозировании микроэлементов в соответствии с приготавливаемым комбикормом согласно утвержденным в хозяйстве рационам и численности загонів.

Числовые величины макро и микрокомпонентов рационов приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Состав и масса компонентов в соответствии с рационом загона

Группа	Наименование культуры	Низкопродуктивный загон, 15 -19 л.	Среднепродуктивный загон, 20 -23 л.	Высокопродуктивный загон, 24 и выше л.	Телята от 19 недель до 5-ти месяцев
		Масса навески на одно животное, кг			
Макрокомпоненты	Экструдированная пшеница		3,0	3,0	
	Сенаж №1, №2	8,0	4,49	5,0	14,0
	Солома				1,0
	Сено				1,0
	Силос кукуруза	8,0	4,0	5,0	5,0
	Шрот подсолнечника	2,0	2,0	2,50	
	Зеленая масса люцерны	17,50	13,0	15,50	6,0
	Дробина	7,0	6,0	6,0	
	Концентрат	5,0	7,0	10,0	1,0
	Вода	3,0	4,0	4,2	
Микрокомпоненты	Гидрокарбонат натрия	0,15	0,15	0,25	
	Мел	0,18	0,18	0,18	
	Руменфит		0,15	0,10	
	Имунно фертил	0,10	0,10	0,20	0,07
	Кауфит 60			0,90	
	Магнифат			0,20	

Производственная проверка работоспособности выполнялась следующим образом: согласно технологическому процессу и графику прибытия трактора с прицепом-миксером микрокомпоненты загружались поочередно в двухшнековый дозатор для компонентов комбикорма ручным способом. На сенсорном дисплее планшета электрического шкафа компании Schneider вводились необходимые технологические параметры уставок : частоты шнека (Гц), досыпки шнеком (Гц), упреждения досыпки (кг), переключения на второй шнек (%); общая масса дозы

(кг), задержка между этапами засыпки (с). Параметры, характеризующие условия осуществления производственных испытаний, приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Установочные данные

Уставка переключения на второй шнек в %	99
Уставка досыпки дозаторов (модуль №1 / №2, Гц)	5,0 / 30,0
Уставка частоты шнека (модуль №1 / №2, Гц)	50 / 50
Уставка упреждения досыпки (модуль №1 / №2, кг)	0.500 / 0,015
Задержка между этапами засыпки, с	5
Общая масса навески микрокомпонента согласно рецепту, г	1050 г, 5000 г, 9000 г, 10000 г

В соответствии с вводимыми данными программа осуществляла управление технологическим процессом дозирования в режиме дозирования двумя шнеками. По условиям алгоритмов программы поочередно поступала команда на включение асинхронного электропривода шнека и осуществлялось дозирование основной массы микрокомпонента, по достижению установленной задачи электропривод отключался, дозирование прекращалось. После чего, поступала команда на включение шагового электропривода и шнеком модуля производилась досыпка недостающей массы микрокомпонента. По окончании набора необходимой массы навески и выполнения программы происходила остановка шагового электропривода и технологический процесс останавливался. Информация о массе полученной порции выводилась на монитор и записывалась в журнал наблюдений. Далее навеска пересыпалась в тару, соответствующую номеру загона, отправлялась в зону отгрузки или на склад готовой продукции для ожидания своей очереди отправки на тракторе с прицепом-миксером в соответствующий загон согласно расписанию кормления животных. Далее, согласно очередности, заменялся микрокомпонент, и технологический процесс возобновлялся.

Оценка работоспособности дозатора осуществлялась при дозировании четырех компонентов с разными физико-механическими свойствами: руменфит, магнифат, мел, иммуно фертил. Масса навесок микрокомпонентов для кормления сельскохозяйственных животных устанавливалась согласно разработанных рецептов, зависела от продуктивности животных и их численности в загоне. На данном

предприятия в загонах для дойных коров в среднем содержится до 50 голов, в загонах для молодняка находится до 15 голов. Ввиду того, что единственной минимальной навеской в хозяйстве является микрокомпонент «иммуно фертил», предназначенный для телят от девятнадцати недель до пяти месяцев, было принято решение дополнительно провести производственную проверку на других компонентах, согласно рецептам для низкопродуктивных, среднепродуктивных, высокопродуктивных дойных коров. Данные приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Масса навесок микрокомпонентов согласно рецептам

Загон	Численность голов в загоне	Микрокомпонент	Масса навески, г
Телята от 19 недель до 5-ти месяцев	15	Иммуно фертил	700
Дойные коровы	50	Руменфит	5000
Дойные коровы	50	Мел	9000
Дойные коровы	50	Иммуно фертил	10000
Дойные коровы	50	Магнифат	10000

Производственные исследования по дозированию микрокомпонентов состояли из четырех этапов для дойных коров разной продуктивности и пятого этапа для молодняка. На первом этапе осуществлялось дозирование руменфит, на втором этапе – дозирование магнифата, на третьем этапе – дозирование мела для дойных коров. На четвертом и пятом этапе – дозирование иммуно фертила для дойных коров и молодняка. Измерения выполнялись для каждого микрокомпонента согласно методике, описанной в [26; 27; 28]. По окончании проведения всех производственных исследований осуществлялся расчет среднего показателя массы навески и определение величины погрешности по сравнению с задаваемой массой согласно рецепту (рисунок 3.12).

Код	Наименование	Внесение инстр.	Дата внесения инстр.	Общий вес	Общий вес СВ в рецепте	Компания	Оператор	Примеч.	Актив.
10	телята 6-12н	390	17/07/2024 06:38	18.00	6.25				
11	19-недель до 5н	395	26/07/2024 06:26	28.02	10.52				
12	19-3	405	26/07/2024 06:26	28.58	9.84				
13	к. верш 3	195	02/07/2024 06:45	44.34	16.10				

оценка	Компоненты	Вес / Коровы	Вес / Коровы (%)	Сух. вещ. (%)	Вес СВ / Коровы	Стоимость
	Мел	0.18	0.00	95.00	0.17	
	Гидрокарбонат нат.	0.25	0.00	87.00	0.22	
	руменфит	0.10	0.00	88.00	0.09	
	иммуно фертил	0.20	0.00	92.00	0.18	
	магнесфат	0.29	0.00	0.92	0.00	
	кальцит 60	0.90	0.00	91.00	0.82	
	шрот полсолн	2.50	0.00	91.00	2.28	
	концентрат	10.00	0.00	88.10	8.81	
	экструдированный	3.00	0.00	92.60	2.78	
	сенож №1-2	5.00	0.00	35.43	1.77	
	силос кукурузы	5.00	0.00	33.77	1.69	
	ЗЕЛ МАССА люц	14.00	0.00	19.40	1.16	
	Дробилка	6.00	0.00	87.00	0.87	
	вода	4.00	0.00	0.10	0.00	

Рисунок 3.12 – Утвержденные производственные рецепты

Для оценки точности дозирования двухшнекового дозатора компонентов комбикорма применялись методики, указанные в разделе 3.6.

3.8 Методика определения погрешности дозирования

Для оценки точности дозирования двухшнекового дозатора компонентов комбикорма применялись методики, представленные в ГОСТ 8.610 - 2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методы испытаний и ГОСТ 8.523-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Методика поверки, предусматривающие проведение 30 кратных замеров для навесок массой свыше 1 кг и 60 замеров для навесок массой до 1 кг [26; 27; 28; 29]. По окончании проведения всех экспериментов производился расчет средней массы каждой полученной навески:

$$m_{\text{ср}} = \frac{\sum m_i}{N}, \quad (3.1)$$

где $m_{\text{ср}}$ – средняя масса полученной навески в каждом эксперименте, г;

m_i – масса i -ой навески в опыте, г;

N – количество повторностей.

Погрешность дозирования при недосыпке (+) и пересыпке (-) компонента с учетом средней массы рассчитывали по общеизвестным выражениям [10]:

$$\delta_- = \frac{m_{\text{cp}} - m_{\text{min}}}{m_{\text{cp}}} \times 100\% \text{ и } \delta_+ = \frac{m_{\text{cp}} - m_{\text{max}}}{m_{\text{cp}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

где: δ_- , δ_+ – погрешность дозирования при пересыпке и недосыпке компонента соответственно; m_{max} , m_{min} – максимальная и минимальная массы навесок компонента из одной повторности, г.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА

4.1 Результаты исследований рабочего процесса дозатора с асинхронным электродвигателем

Лабораторные исследования проводились на дозирующем устройстве, описание и изображение которого приведено в разделе 3.2, наименование дополнительного оборудования и приборов, а также его изображение размещено в разделе 3.3, экспериментальные исследования осуществлялись согласно методике, указанной в разделе 3.4.

Согласно разработанной программе исследований на первом этапе были проведены однофакторные эксперименты, целью которых являлось определение минимальной частоты вращения шнека и массы навески, получаемой при дозировании устройства с асинхронным электродвигателем при использовании шнека ДШ-60.

Изучение полученных результатов (Приложение В) наглядно демонстрирует влияние массы навески на точность дозирования сыпучих компонентов (рисунок 4.1). Начальная частота вращения вала оказывает особо значительное воздействие на навеску массой до 100 г. Последующее повышение массы навески постепенно сокращает влияние частоты вращения вала и уже при достижении массы навески $m=300$ г частота вращения шнека фактически не оказывает влияния на точность дозирования. Вместе с тем, при дозировании навески массой 200 г в диапазоне от 14 до 19 Гц наблюдается более умеренная характеристика. За границами установленного диапазона просматриваются резкие колебания и понижение точности дозирования. На участке частоты вращения шнека n от 13,5 до 14 Гц и установленной массе навески 50 г отмечается допустимая точность дозирования,

но с постепенным повышением массы навески до 100 г данный участок расширяется от 15,5 до 19 Гц. По итогам проведенных лабораторных исследований, принимая в учет умеренность полученных кривых и возможность корректировки их отклонения вдоль оси ординат, путем изменения уставки упреждения досыпки в программе управления дозатором, можно порекомендовать массу навески, составляющую не ниже 100 г [107].

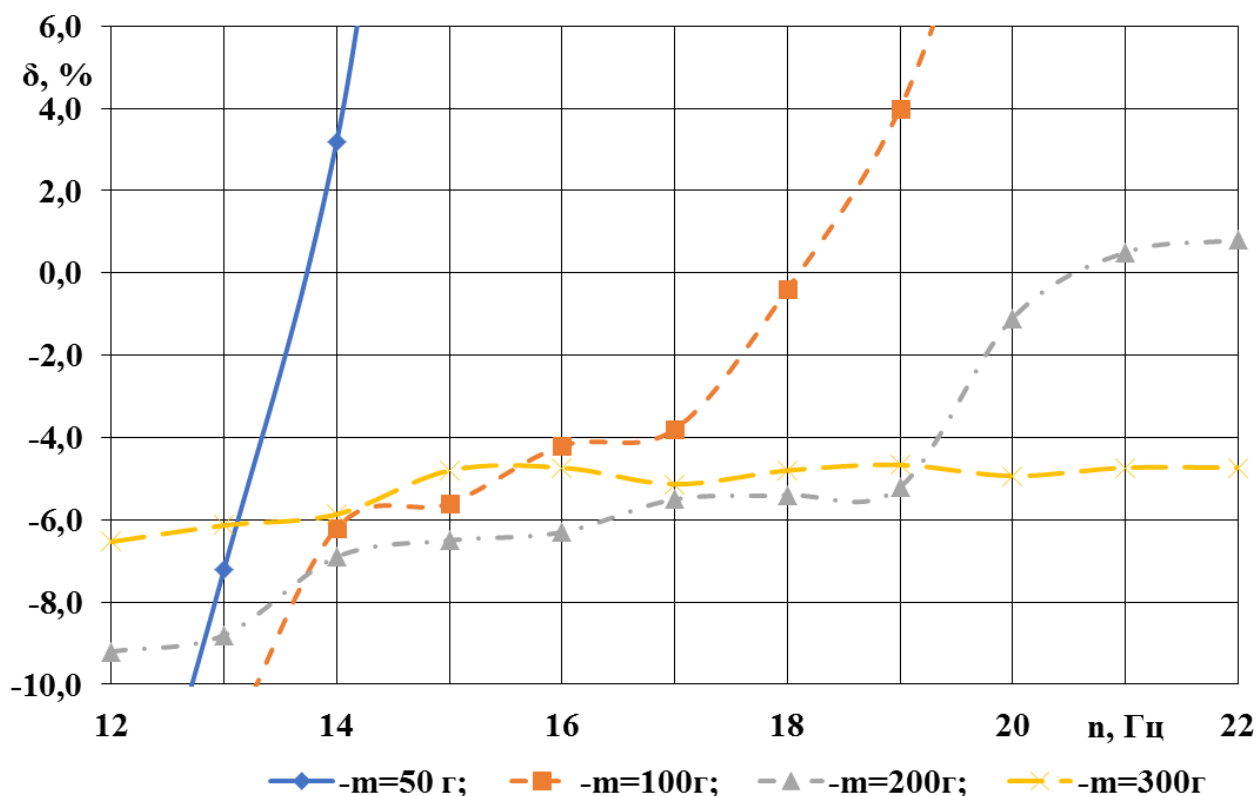


Рисунок 4.1– Влияние массы навески и частоты вращения шнека на точность дозирования измельченного зерна

Серьезным недостатком асинхронного электропривода в конкретном случае является стремительное снижение крутящего момента и невозможность вращения шнека под нагрузкой при низких частотах тока. Таким образом, частота досыпки шнека в конкретном примере сокращает диапазон работы и обязывает корректировать работу дозирующего устройства с асинхронным электроприводом за счет внесения поправок в другие параметры. В связи с этим, осуществление дальнейших лабораторных исследований рекомендуется проводить при частоте досыпки выше 5 Гц.

На втором этапе исследования определялось влияние совокупности факторов:

n_1 – уставки частоты дозаторов, Гц

m – уставки упреждения досыпки, кг

t – уставки включения скорости досыпки, %

n_2 – уставки частоты дозаторов в % от n_1 , Гц

M_r – масса, которую мы должны получить (задается по рецептуре).

Для этого был реализован план Бокса-Бенкина для 5 факторов (Приложение Г)

Интервалы варьирования частоты вращения изменялись от 30 до максимальных 50 Гц. Другие программируемые параметры на разных этапах имели следующие величины: уставка досыпки последовательно изменялась и составляла 30, 80 и 130 г, уставка включения скорости досыпки в 10, 50 и 90 %, а уставка частоты дозаторов устанавливалась 40, 70 и 100 Гц от n_1 , при задаваемых массах навески 150, 350 и 550 г. Данные факторы были применены с учетом предыдущих исследований, ввиду более точной, устойчивой и стабильной работы шнека во время процесса дозирования на частоте n_2 . Эксперименты проводились при дозировании зерна ячменя. В последствии проводили исследование на других компонентах, таких, как соль и мел.

Модель регрессии в закодированном виде при степени достоверности 95,0% имеет вид:

$$y = 3,736 + 11,744 \cdot x_1 - 16,113 \cdot x_2 + 11,106 \cdot x_3 + 14,619 \cdot x_4 - 12,531 \cdot x_5 - 8,85 \cdot x_1 \cdot x_5 + 13,375 \cdot x_2 \cdot x_5 + 8,073 \cdot x_3^2 - 8,575 \cdot x_3 \cdot x_4 - 12,1 \cdot x_3 \cdot x_5 + 9,289 \cdot x_4^2 + 8,805 \cdot x_5^2 \quad (4.1)$$

Релевантность полученной регрессионной модели обосновывается достаточно высоким значением коэффициента детерминации величина которого составила $R^2 = 93,4212\%$. Важными в конкретном примере являются 12 эффектов, поскольку они имеют Р-значения менее 0,05. При анализе графика Парето определено, что наиболее значимым является фактор x_2 : при повышении величины параметра уставки упреждения досыпки m погрешность дозирования снижается.

Оценка статистики Дурбина-Уотсона ($DW=2,47$) определила, что показатель последовательной автокорреляции в остатках находится на точке значимости 5,0%. Таким образом, можно сделать заключение, что полученная модель определена как адекватная и отвечающая требованиям для описания исследуемого процесса (Приложение Д).

Модель регрессии в раскодированном выражении имеет вид:

$$\begin{aligned} \delta = & -29,35 + 2,72 \cdot n_1 - 0,79 \cdot m + 0,80 \cdot t - 0,60 \cdot n_2 - 0,07 \cdot M_Z - \\ & - 0,004 \cdot n_1 \cdot M_Z + + 0,001 \cdot m \cdot M_Z + 0,005 \cdot t^2 - 0,007 \cdot t \cdot n_2 - \\ & - 0,002 \cdot t \cdot M_Z + 0,01 \cdot n_2^2 + 0,0002 \cdot M_Z^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

С применением ресурсов программы Statgraphics установлены наиболее соответствующие соотношения исследуемых факторов, при которых погрешность дозирования устремляется к 0 (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Оптимальные комбинации факторов при дозировании зерна ячменя

Наименование	Комбинации исследуемых факторов		
	№ 1	№ 2	№ 3
n_1	39,9	31,4	30,3
m	83,5	34,8	31,8
t	49,0	44,6	11,9
n_2	66,1	59,2	40,9
M_r	359,8	384,5	202,8

На последующих этапах лабораторных исследований оценивали точность дозирования соли и мела с применением вышеперечисленных комбинаций. В начале установили влияние заданной массы навески M_Z при применении комбинации №1 факторов. По полученным результатам установлено, что дозирование соли реализуется по закономерности, схожей с кривой дозирования зерна, где погрешность дозирования располагается в допустимом диапазоне 5%. Во время дозирования мела, с использованием заданной комбинации факторов,

осуществить взвешивание с допустимой точностью оказалось невозможно даже с увеличением массы порции до 1000 г (рисунок 4.2) (Приложение Е). Также установлено, что при увеличении массы навески отмечается снижение погрешности дозирования.

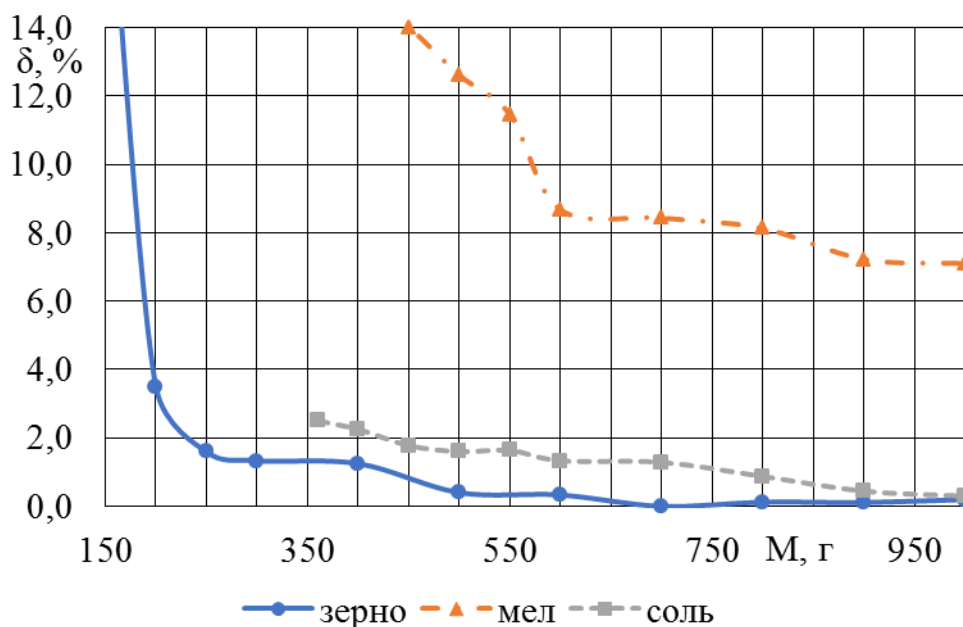


Рисунок 4.2 – Влияние массы навески на точность дозирования при $n_1 = 39,9$ Гц, $t = 49,0\%$; $n_2 = 66,1\%$ от n_1 (26,4 Гц), $m = 83,5$ г

Ввиду того, что осуществить дозирование мела при заданных параметрах до 1000 г не представляется возможным, принято решение об изменении величины уставки упреждения досыпки m . В ходе экспериментальных опытов выявлено, что при снижении m до значения 30 г во время дозирования мела допустимая погрешность находится в приемлемом диапазоне. По этой причине осуществлены дополнительные исследования при дозировании соли и мела в зависимости от заданной массы навески M_z при $m = 30$ г. По итогам экспериментальных исследований (Приложение Ж) добиться допустимой погрешности дозирования компонентов с различными физико-механическими свойствами при установленных величинах исследуемых параметров невозможно (рисунок 4.3). По этой причине принято решение от комбинации факторов №1 отказаться.

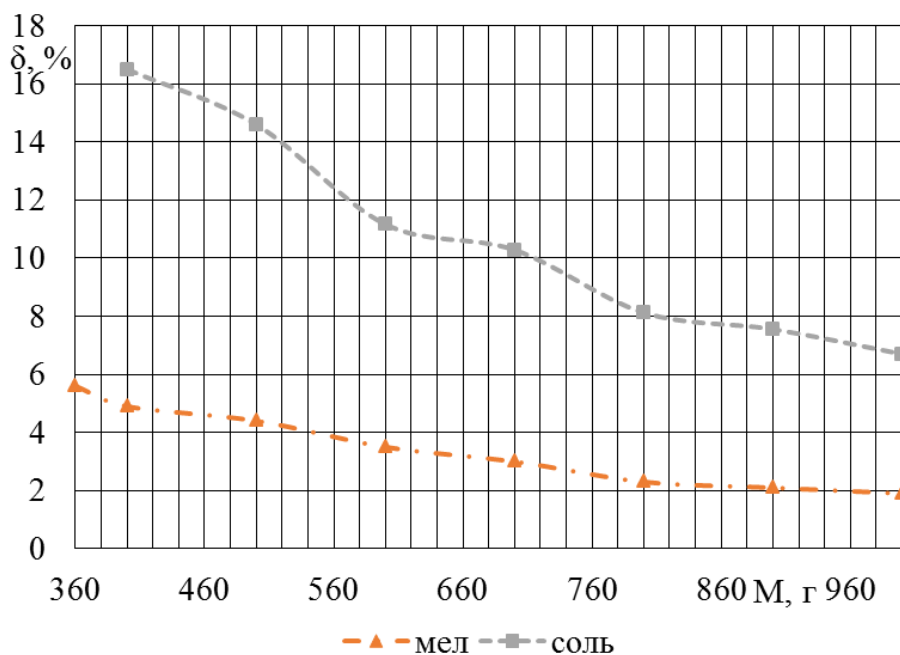


Рисунок 4.3 – Влияние массы навески на точность дозирования при $n_1 = 39,9$ Гц, $t = 49,0\%$; $n_2 = 66,1\%$ от n_1 (26,4 Гц), $m = 30$ г.

Поскольку погрешность дозирования снижается при увеличении массы навески M_Z , принято решение определить воздействие на критерий оптимизации уставки упреждения досыпки m при фиксированных величинах остальных факторов для последующих комбинаций. Установлено, что невозможно достичь допустимой точности дозирования для всех компонентов (рисунок 4.4) при комбинации факторов №2 (Приложение 3).

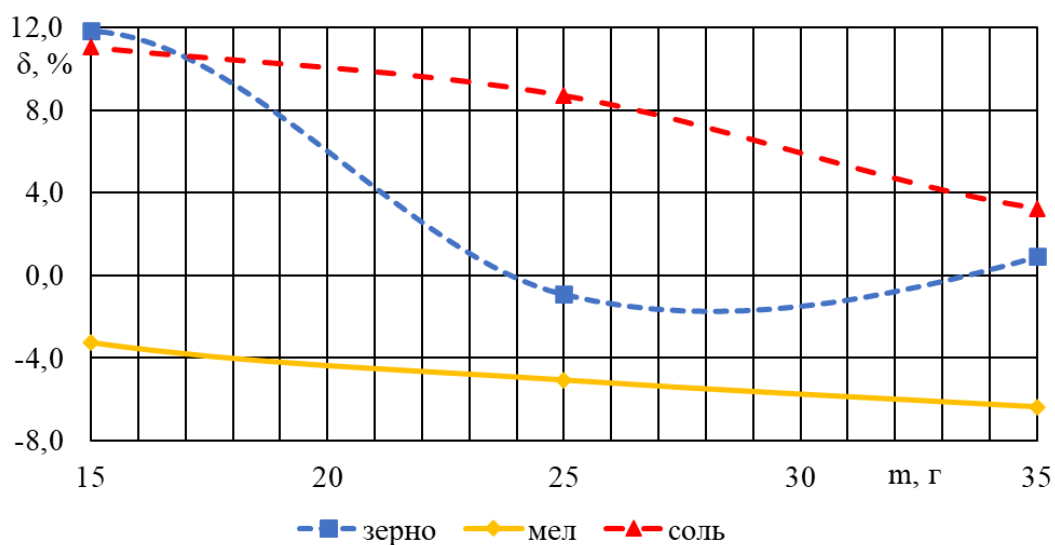


Рисунок 4.4 – Влияние уставки упреждения досыпки m на точность дозирования при $n_1 = 31,4$ Гц, $t = 44,6587\%$; $n_2 = 59,2\%$ от n_1 (18,6 Гц), $M_Z = 384,5$ г

Допустимая погрешность дозирования для всех исследуемых компонентов достигается при $m = 13...16$ г при комбинации факторов №3 (рисунок 4.5) (Приложение И). В то же время при проведении теоретических расчетов минимальная величина массы, определяющая погрешность дозирования при использовании шнека ДШ-60, составляла 16,4 г – для мела и 12,9 г – для соли. Точность совпадения теоретических и экспериментальных исследований составляет 98,98 %.

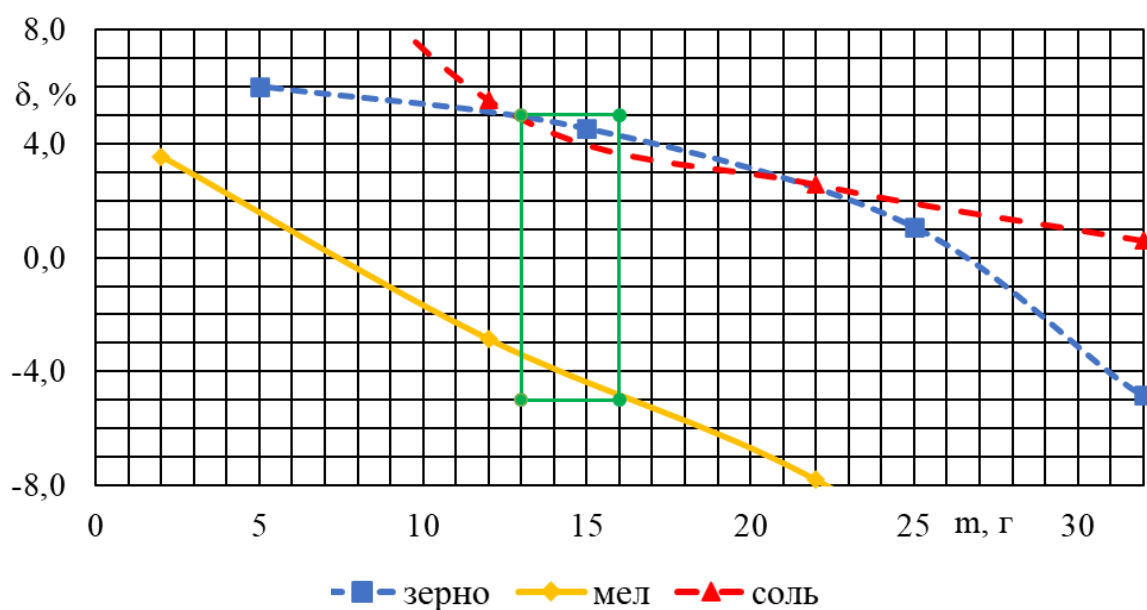


Рисунок 4.5 – Влияние установки упреждения досыпки m на точность дозирования при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), $M_Z = 202,8$ г

Проведенные экспериментальные лабораторные исследования предоставили возможность установить оптимальную комбинацию факторов, при которой погрешность дозирования при взвешивании зерна, соли и мела не превышает допустимое значение: $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), $M_Z = 202,8$ г. При текущих значениях исследуемых параметров возможно осуществлять дозирование компонентов массой навески свыше 200 г с допустимой погрешностью. Вместе с тем можно осуществлять дозирование и других компонентов с допустимой погрешностью при найденных настроечных параметрах, но с насыпной плотностью схожей с исследованными культурами, а именно от 0,6 до 1,2 г/см³[15].

Полученные данные во время проведения экспериментальных лабораторных исследований подтверждают соответствие с ранее проведенными теоретическими расчетами, изложенными во втором разделе.

4.2 Результаты исследований рабочего процесса дозатора с шаговым электродвигателем

Результаты лабораторных исследований представлены в формате графических рисунков (рисунок 4.6...4.9). На первом этапе устанавливалась зависимость массы навески от количества шагов электропривода. Рассматривались две граничных величины скорости шагов: 1000 и 3000 ед./мин. При установленной скорости шагов равной 1000 ед./мин и дальнейшем последовательном увеличении количества шагов с 10000 до 100000, средняя масса навески варьирует от 24,4 до 242,98 г соответственно (Приложение К). При установленной скорости шагов 3000 ед./мин средняя масса навески варьировала в границах от 19,44 до 241,84 г соответственно увеличению количества шагов (Приложение Л).

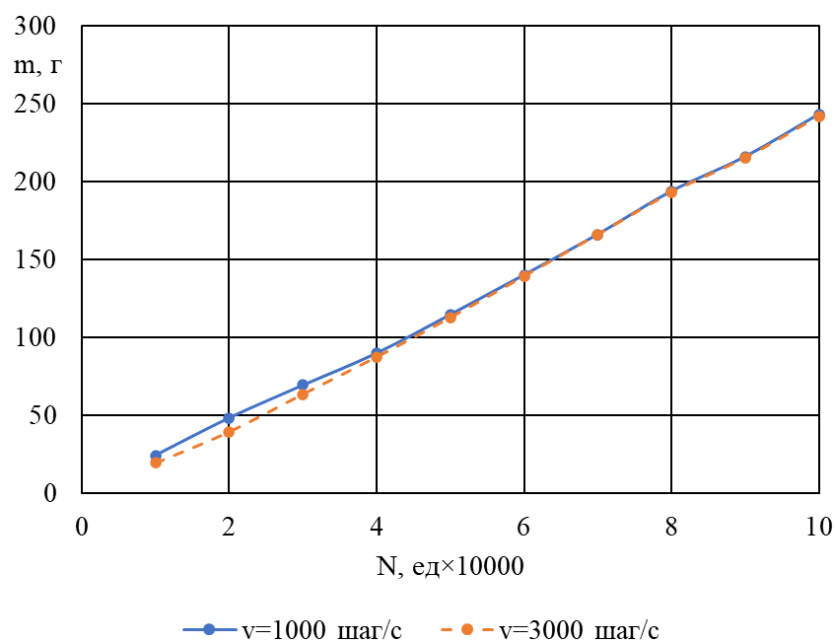


Рисунок 4.6 – Влияние количества шагов на среднюю массу дозируемого компонента

Разница в массе навесок, взвешенных при $v=1000$ и 3000 шаг/с уменьшается при увеличении количества шагов. Необходимо сделать вывод, что скорость шагов на среднюю массу навески влияния практически не оказывает.

Таким образом, для повышения пропускной способности устройства целесообразно проводить дозирование сыпучей продукции на более высокой скорости.

При этом основополагающим критерием для дозирующих устройств пропускная способность не является, в первую очередь необходимо ориентироваться на точность дозирования. На графических рисунках 4.7 и 4.8 отражены результаты лабораторных экспериментов, показывающие влияние количества шагов электродвигателя на массу навески по повторностям. На графических рисунках массы навесок указаны точками, а среднее значение масс навесок указана линией, рассчитанной по формуле (3.1). Из графических рисунков видно, что преимущественно плотный порядок имеют навески, произведенные при дозировании со скоростью шагов 3000 шаг/с.

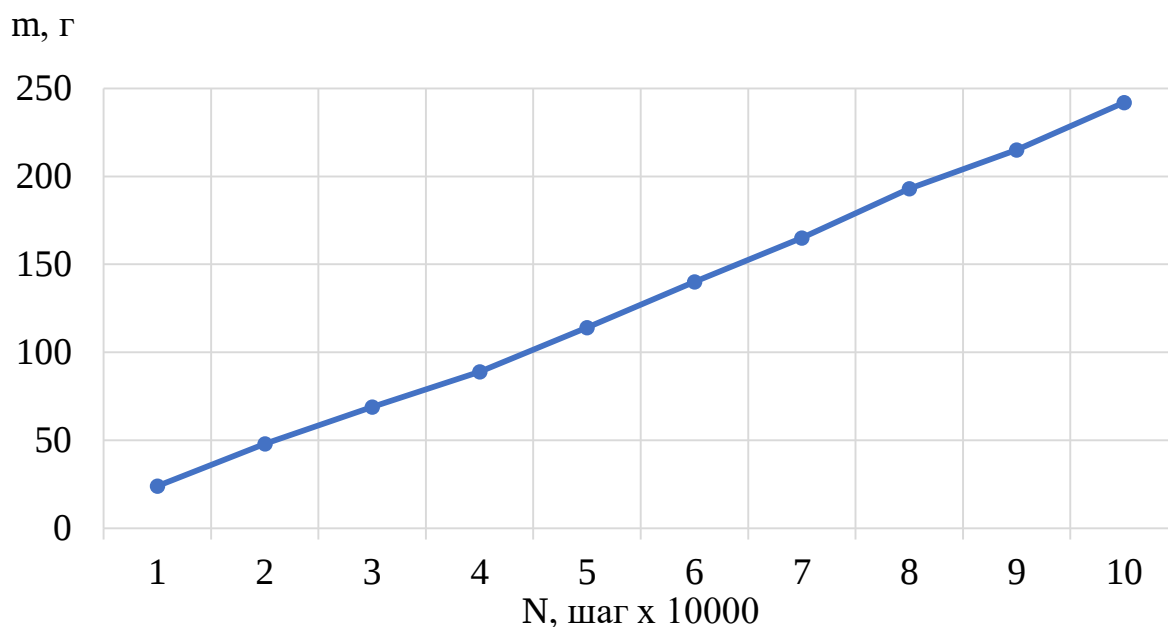


Рисунок 4.7 – Влияние количества шагов на массу дозируемого материала в шестидесятикратной повторности при скорости шагов $v = 1000$ шаг/с

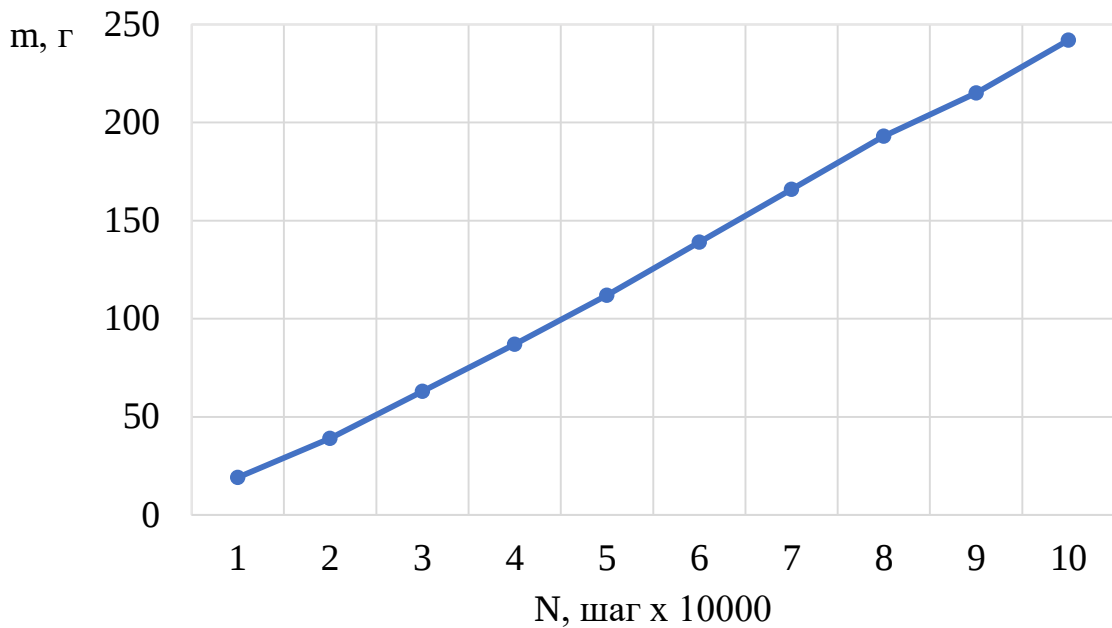


Рисунок 4.8 – Влияние количества шагов на массу дозируемого материала в шестидесятикратной повторности при скорости шагов $v = 3000$ шаг/с

Наиболее объективное положение по точности дозирования показана на графическом рисунке 4.9. Относительные смещения в дозировании указаны точками, смещенными относительно 0 (представляющие собой среднее значение навески на каждом этапе опыта). Точки, находящиеся выше 0, означают недосыпку компонента по отношению к заданной массе, а точки, находящиеся ниже 0 – указывают на пересыпку. Из графического рисунка наглядно видно, что с увеличением числа шагов электропривода с 10000 до 30000 погрешность дозирования снижается в среднем с 16 до 12 %, причем скорость шагов влияния не оказывает и при высокой скорости шагов точность дозирования немного выше. Допустимые ГОСТом величины погрешности дозирования просматриваются с повышением средней массы навески от 89,84 г и насчитывают менее 5%. При понижении массы навески менее 89 г точность дозирования существенно уменьшается и не удовлетворяет требованиям ГОСТ.

Таким образом, при применении шагового электродвигателя в виде привода шнекового дозирующего устройства ДШ-60 минимальная предельно допустимая масса навески, при которой погрешность дозирования зерна будет удовлетворять

допустимым ГОСТом нормам, составляет 89 г, что соответствует 40000 шагам электропривода [10].

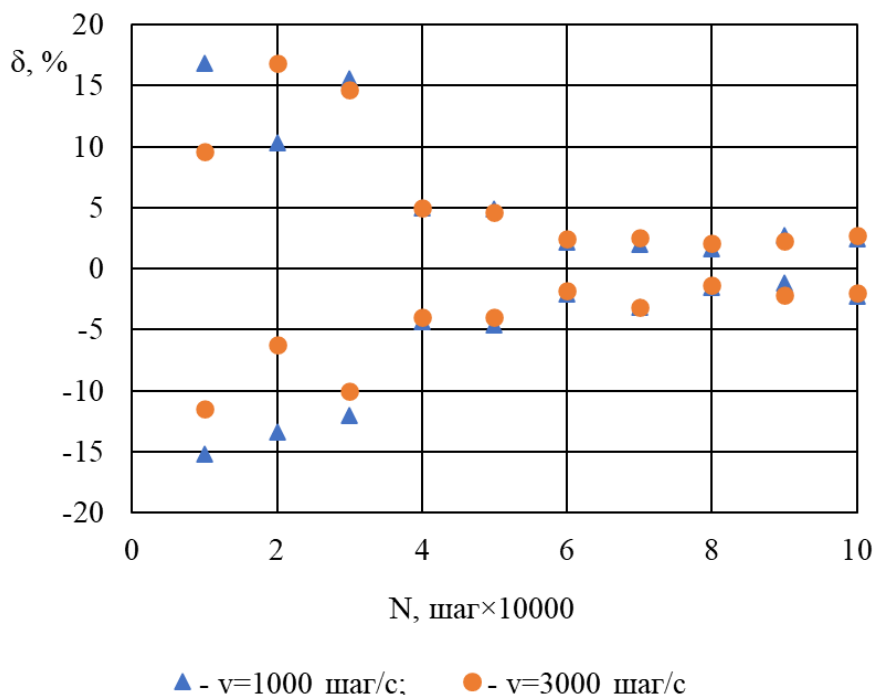


Рисунок 4.9 – Изменение погрешности дозирования

4.3 Результаты исследований в режиме дозирования двумя шнеками

Основываясь на исследованиях процесса дозирования компонентов комбикорма шнеком ДШ-100 [12] и полученных ранее данных экспериментальных исследований разработаны графические изображения, объясняющие воздействие уставки включения второго шнека на погрешность дозирования зерна (рисунок 4.10) (Приложение М), соли (рисунок 4.11) (Приложение Н) и мела (рисунок 4.12) (Приложение О), где в качестве электропривода шнека попеременно применялись шаговый и асинхронный электродвигатели.

Как видно из графических изображений, с повышением величины уставки включения второго шнека, погрешность дозирования соли и зерна существенно увеличивается при применении асинхронного электропривода (рисунки 4.10 и

4.11). Однако, в режиме дозирования вторым шнеком зерна с уставкой, равной 70% и массой навески 1000 г, погрешность составляет всего лишь 0,1%, при этом с последующим повышением уставки до 95 % пропорционально повышается погрешность и составляет 7,6 % на 1000 г. Во время использования асинхронного электродвигателя в режиме дозирования вторым шнеком соли, при уставке 50 % и с установленной массой порции равной 1000 г погрешность не превышала 0,9 %.

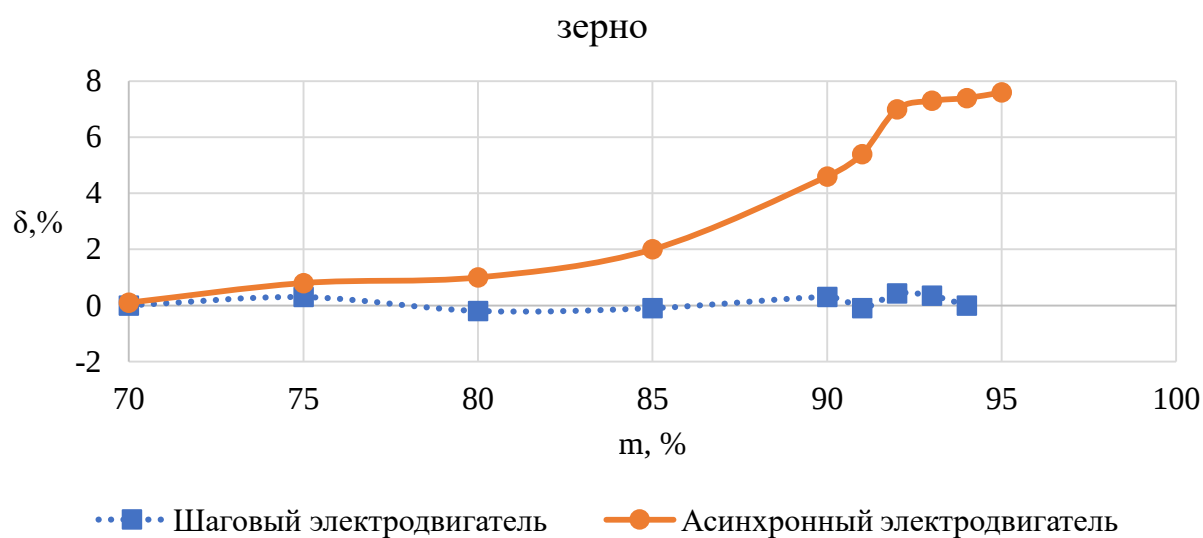


Рисунок 4.10 – Изменение погрешности дозирования зерна в корреляционной зависимости от уставки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

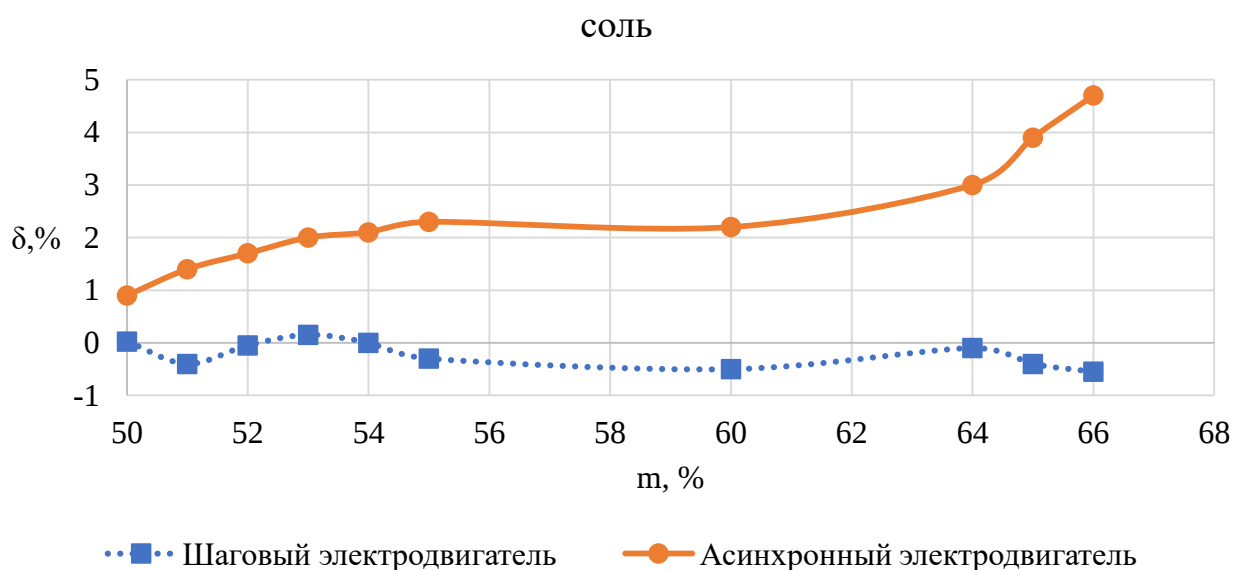


Рисунок 4.11 – Изменение погрешности дозирования соли в зависимости от уставки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

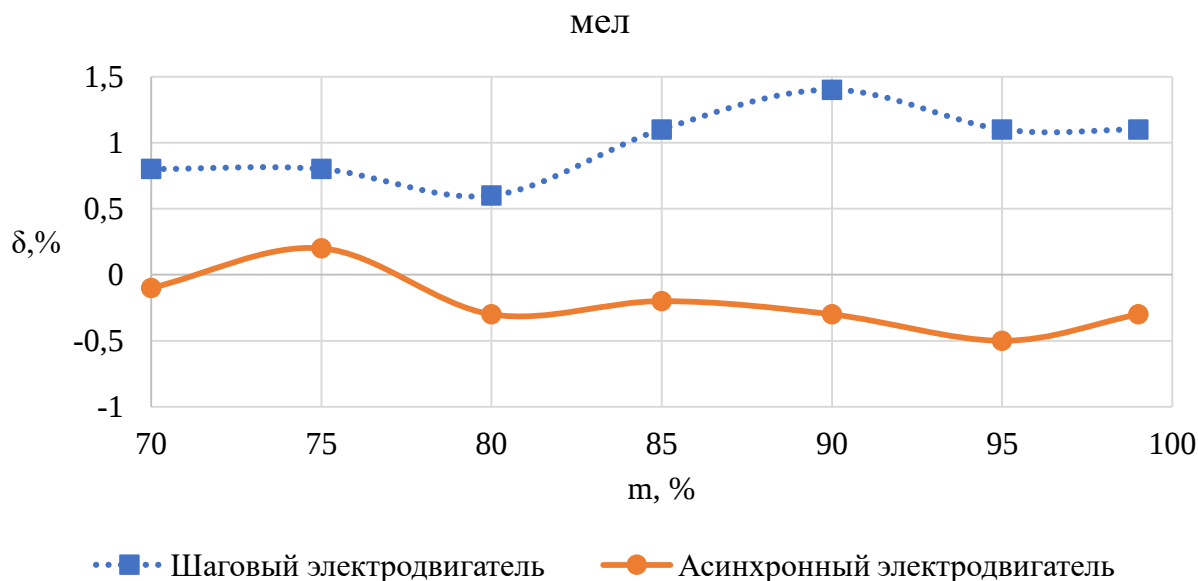


Рисунок 4.12 – Изменение погрешности дозирования мела в зависимости от уставки включения второго шнека в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

С дальнейшим повышением уставки до 66 % просматривалось понижение точности дозирования и погрешность составила 4,7 %, при неизменной массе навески 1000 г. При дозировании мела исследуемый параметр практически не оказывает воздействие на погрешность и находился в диапазоне 0,5% (рисунок 4.12).

Одновременно с этим, во время применения в качестве привода шагового электродвигателя, уставка включения второго шнека не оказывала особого влияния на погрешность дозирования. В установленных пределах от 70 до 95 % погрешность дозирования зерна составляла менее 0,42 %, мела – не более 1,4% в максимальных значениях. Поочередное изменение уставки в пределах от 50 до 66 % существенного влияния на массу навески при дозировании соли также не оказало, погрешность составила 0,55 % на 1000 г. Подробное рассмотрение показывает, что при дозировании мела шаговым электродвигателем среднестатистическая погрешность оказалась больше и составила 0,84 %, при этом у асинхронного электропривода погрешность была меньше и составила 0,36 % [107].

Требуется обратить внимание на положение кривой погрешности

относительно оси абсцисс при дозировании с применением шагового электродвигателя: во время дозирования соли и зерна она располагается около нулевого значения, а при дозировании мела повышается до величины 1,4 %. Это обусловлено физико-механическими свойствами дозируемых компонентов [91; 99]. При этом имеется возможность корректировки за счет изменения значения уставки упреждения досыпки.

Таким образом, анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что приемлемая погрешность дозирования при задействовании асинхронного электропривода допустима при применении уставки включения второго шнека m не выше, чем 94% от массы навески, равной 1000 г при дозировании зерна, 99% – мела и 66 % – соли. Если рассмотреть перевод процентного соотношения в весовое (в граммы), переключение на второй шнек будет происходить при досыпке остатка во время дозирования: зерна – 100 г, мела – 10 г, соли – 340 г. Из этого следует, что при навеске большей массы, корректировка может проводиться по граммам, а не по процентному соотношению, это повлечет за собой ускорение процесса дозирования, а следовательно, повышение производительности. Использование шагового электродвигателя в качестве привода обеспечивает заметное снижение погрешности дозирования по отношению к асинхронному электроприводу во время дозирования более тяжелых компонентов в случае неизменности прочих параметров работы дозирующего устройства [95].

С целью подтверждения выдвинутого утверждения проведены исследования по оценке производительности шнекового дозатора при найденных рациональных значениях исследуемых параметров. Оценка производительности проведена при дозировании целого зерна для трех навесок массами 1, 5 и 10 кг (Приложение П). В результате проведенных исследований не удалось добиться работы шнека ДШ-120 в необходимом режиме при дозировании навесок массой 1 кг. Поэтому было принято решение сравнить исследуемый двухшнековый дозатор со шнеком ДШ-100, входящим в серийно выпускаемый модуль дозирования ММД 1,5×4. При определении производительности шнека ДШ-100 вводились значения параметров

его работы, при которых погрешность дозирования не превышала нормативов ГОСТ и представленные в работе [14]. Результаты исследований представлены на рисунке 4.13.

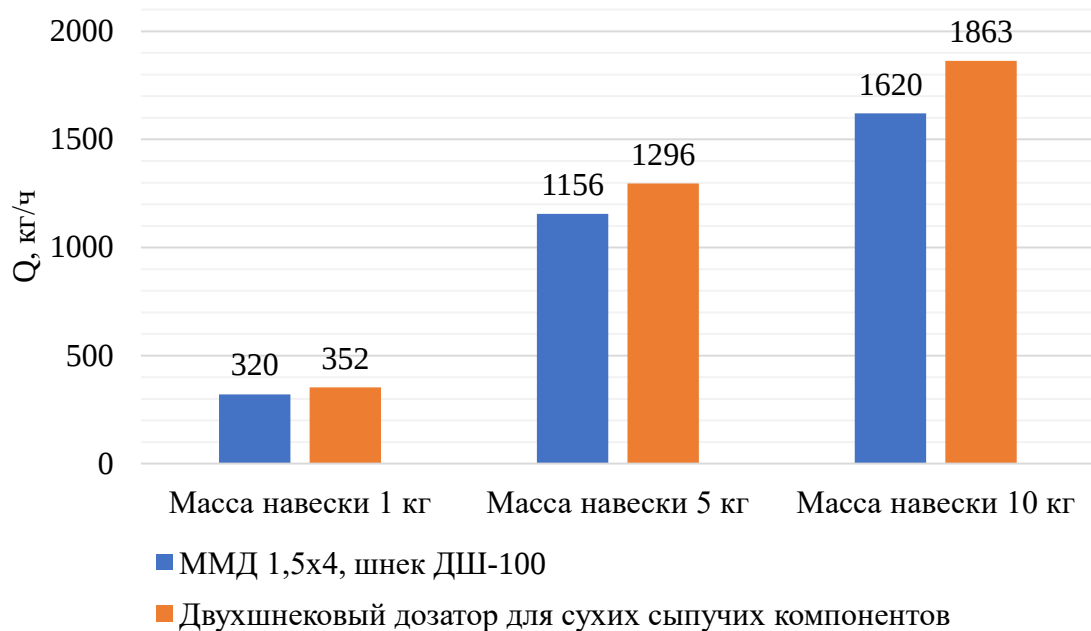


Рисунок 4.13 – Изменение производительности в зависимости от массы навески

Анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что с увеличением массы навески производительность повышается в прямо пропорциональной зависимости. Необходимо отметить, что производительность двухшнекового дозатора на 10-15% выше, чем у шнека ДШ-100.

4.4 Результаты производственных испытаний в режиме дозирования двумя шнеками

Основываясь на полученных ранее данных производственных испытаний представлены графические изображения, показывающие погрешность дозирования руменфита (рисунок 4.14), магнифата (рисунок 4.15), мела (рисунок 4.16) и иммунофертила (рисунок 4.17; 4.18), при применении двухшнекового дозатора

компонентов комбикорма, оборудованного двумя шнеками: шнек основной насыпки – приводимый асинхронным электроприводом, шнек досыпки приводимый шаговым электроприводом.

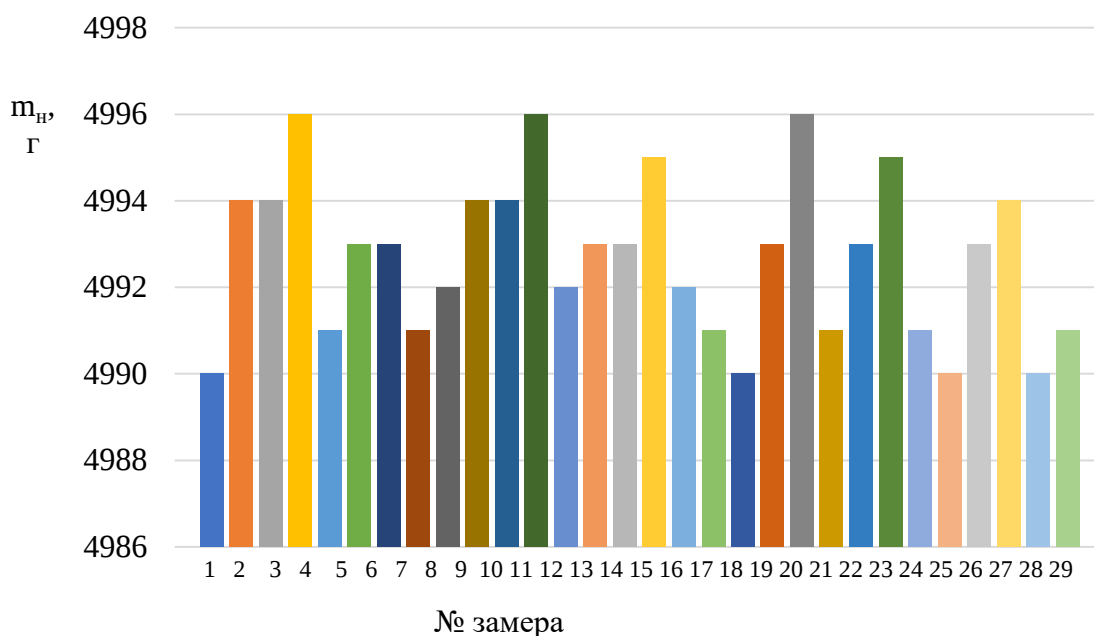


Рисунок 4.14 – Изменение погрешности дозирования руменфита массой навески 5000 г в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

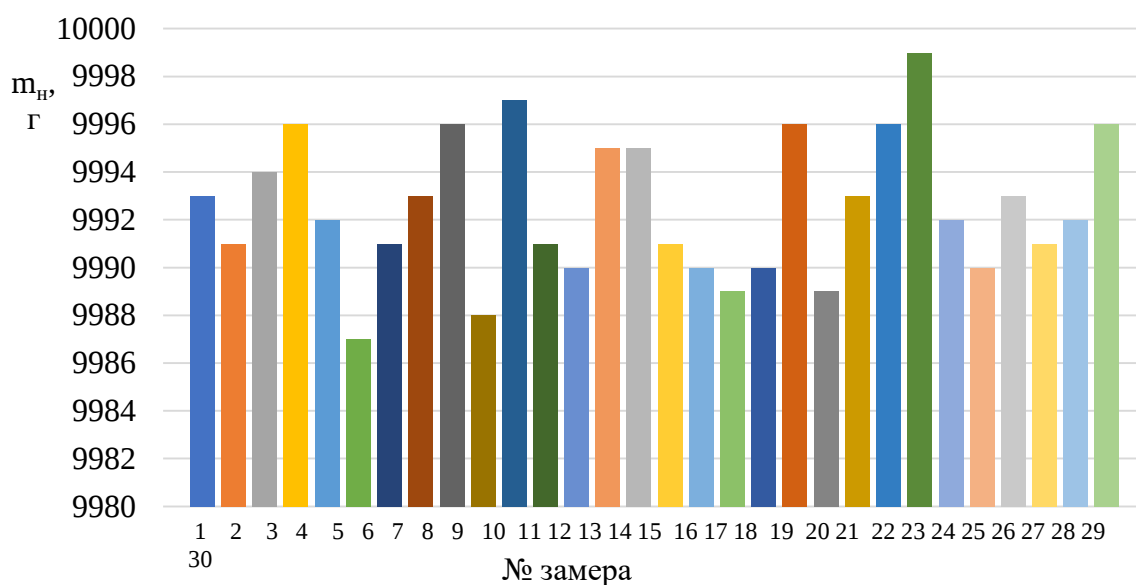


Рисунок 4.15 – Изменение погрешности дозирования магнифата массой навески 10000 г в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

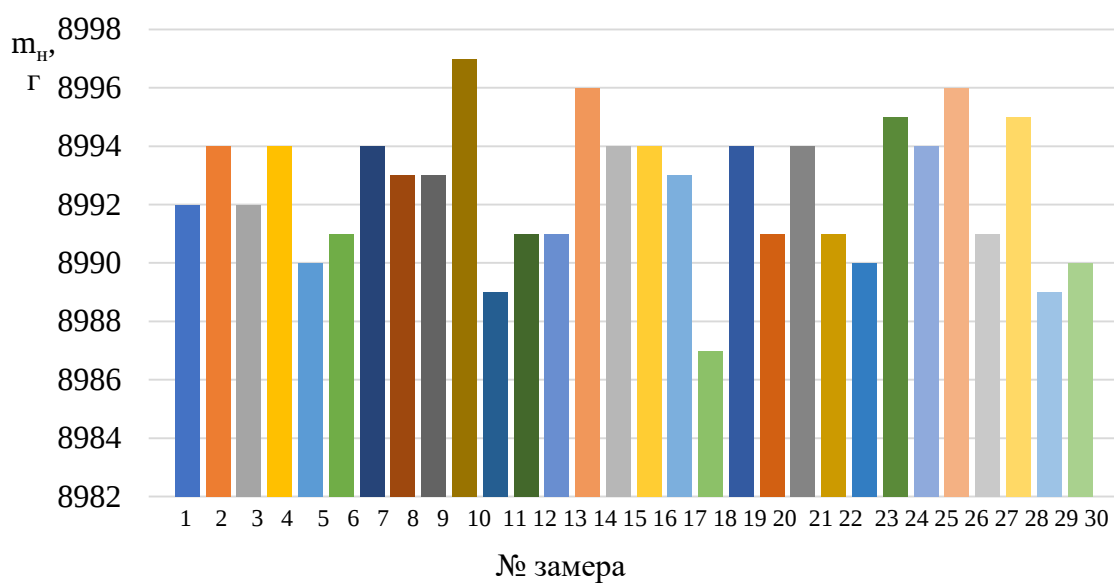


Рисунок 4.16 – Изменение погрешности дозирования мела массой навески 10000 г в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

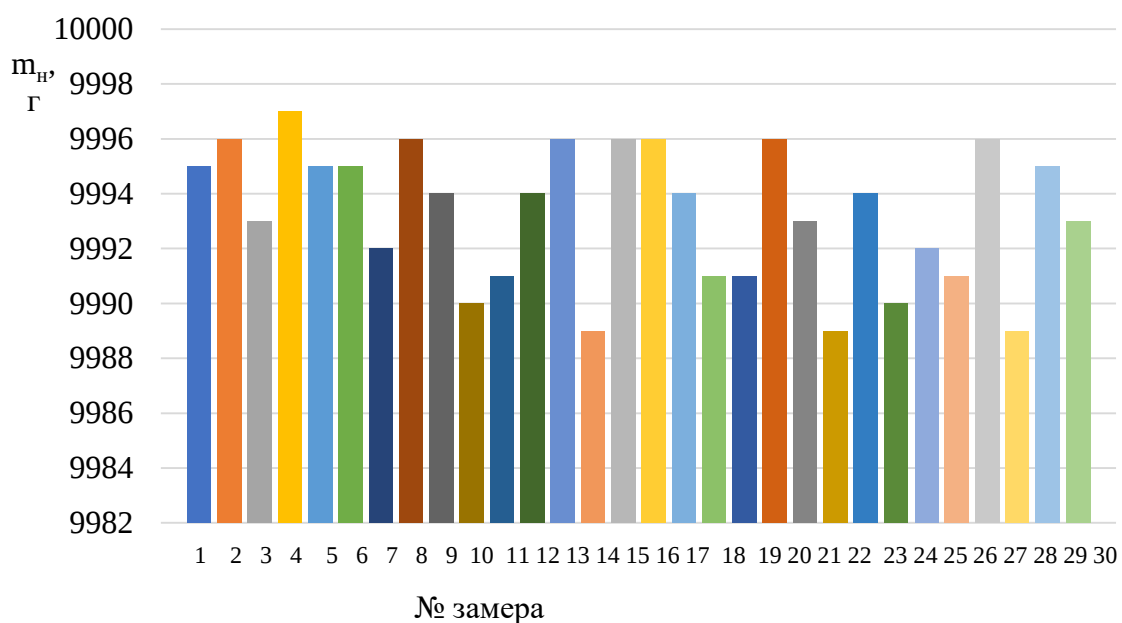


Рисунок 4.17 – Изменение погрешности дозирования Иммуно Фертила массой навески 10000 г в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

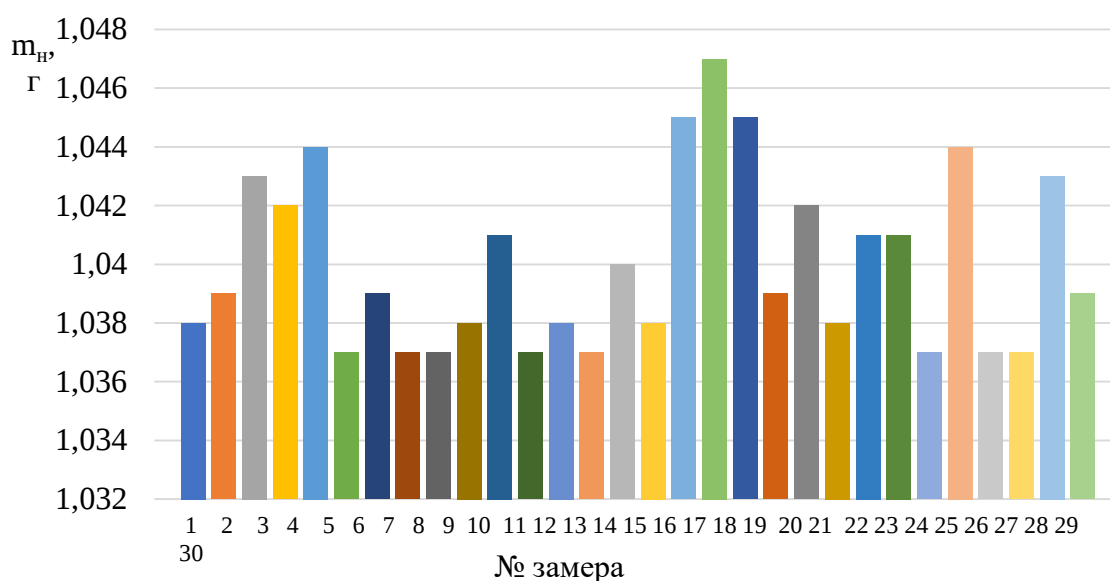


Рисунок 4.18 – Изменение погрешности дозирования Иммуно Фертила массой навески 1050 г в рабочем режиме дозирования двумя шнеками

Результаты производственных испытаний приведены в приложении Р.

После расчета среднего значения фактических масс навесок по формуле 3.1 определена погрешность дозирования для каждого из исследуемых компонентов комбикорма (рисунок 4.19).

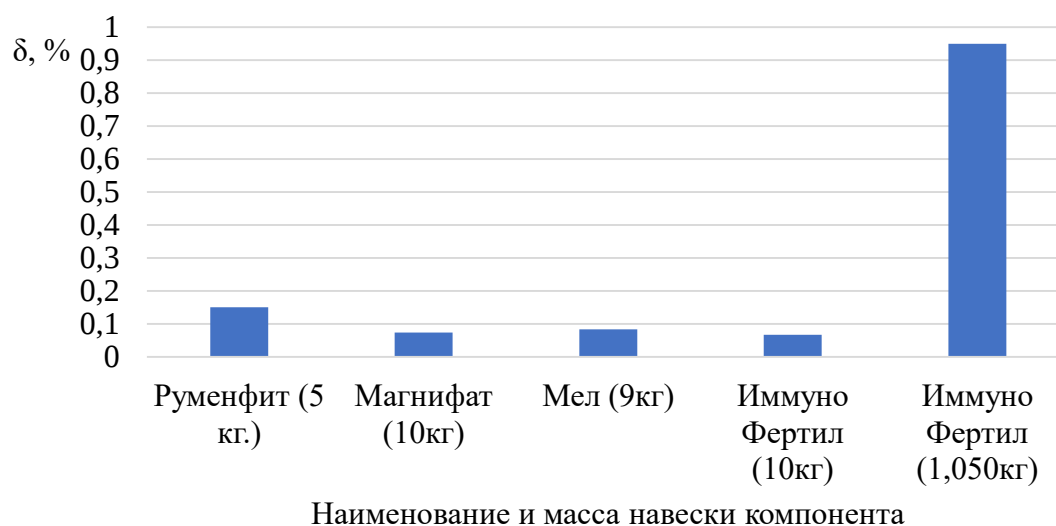


Рисунок 4.19 – График погрешностей

Как видно из графических изображений, при использовании разработанной

установки и дозировании руменфита массой навески 5000 г погрешность составляет всего лишь 0,15%, при дозировании магнифата массой навески 10000 гр. погрешность составила 0,074 %, при дозировании мела массой навески 9000 гр. погрешность составила 0,083 %, при дозировании иммуно-фертила массой навески 10000 г и 700 г погрешность составила 0,067% и 0,93 % соответственно. Во время дозирования всех исследуемых компонентов отмечалось влияние массы навески на погрешность дозирования. При увеличении массы навески взвешиваемых компонентов погрешность дозирования снижалась. При этом, погрешность на всех этапах производственных испытаний находилась в допустимом диапазоне 0,5 % и не превышала 1 % для всех дозируемых компонентов.

Результаты производственных испытаний подтверждены актом (Приложение Т).

Таким образом, анализ полученной информации позволяет сделать вывод, что работа двухшнекового дозатора компонентов комбикорма позволяет осуществлять высокоточное дозирование необходимых компонентов, согласно заданной рецептуры, а также удовлетворяет требованиям и нормам ГОСТ в полном объеме при дозировании макро и микрокомпонентов.

4.5 Выводы по разделу

1. Выявлены недостатки асинхронного электропривода, выражающиеся в постостановочном вращении по инерции после отбора необходимой массы и оказывающие отрицательное воздействие на точность дозирования, а также невозможности вращения шнека под нагрузкой с рабочей частотой тока 5 Гц и ниже, ведущее к сужению диапазона работы дозатора с асинхронным электроприводом. Установлено, что при дозировании с использованием шагового электродвигателя в качестве привода модуля №2, со сходными программными

установками наблюдается более прогнозируемое и устойчивое функционирование дозирующего устройства с незначительной погрешностью. Рекомендована схема двухшнекового дозатора, приводом основного шнека которого является асинхронный электродвигатель, а дополнительного – шаговый.

2. Определены оптимальные значения параметров работы дозатора, приводом основного шнека которого является асинхронный электродвигатель, а дополнительного – шаговый, для навески массой не менее 1000 г, при которых наблюдается допустимая погрешность дозирования: уставка частоты дозаторов $n_1 = 30,3$ Гц, уставка включения скорости досыпки $t = 11,9$ %, уставки частоты дозаторов $n_2 = 40,9$ % от n_1 (12,42 Гц), уставки для включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками с шаговым электродвигателем при дозировании мела – 99%, зерна – 94%, соли – 66 %. С целью повышения производительности дозатора переключение на дополнительный шнек необходимо осуществлять при досыпке остатка: зерна – 100 г, мела – 10 г, соли – 340 г.

3. В результате производственной проверки установлено, что работа двухшнекового дозатора компонентов комбикорма удовлетворяет требованиям и нормам ГОСТ, а погрешность дозирования компонентов комбикорма не превышает: руменфита – 0,15% (масса навески 5000 г), магнифата – 0,074 % (масса навески 10000 г), мел – 0,083 % (масса навески 9000 г), иммуно-фертила – 0,067% и 0,93 % (массы навески 10000 г и 700 г соответственно).

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СУХИХ СЫПУЧИХ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА

5.1 Характеристика сравниваемых образцов дозируемого сырья, анализ рынка и выбор базы сравнения

Основной задачей технико-экономического анализа является оценка фактического экономического результата от эксплуатации двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Экономическую эффективность от эксплуатации двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма определяли периодом окупаемости затрат и годовой экономией денежных средств.

Осуществление экономического анализа выполняли в следующем порядке:

- определение типа дозирующего устройства исследование и оценка рынка;
- поиск оптимального экземпляра для сравнения дозирующего устройства;
- расчет технико-экономических показателей.

Одним из основных звеньев в развитии агропромышленного комплекса страны является производство комбикормов. Уровень развития животноводства во многом определяет обеспеченность высококачественными комбикормами. Для приготовления полнорационного, содержащего все необходимые питательные и минеральные вещества, полезного и безопасного корма для животных необходимо современное, точное и надежное дозирующее оборудование [39]. Только правильное соотношение, сочетание и химический состав компонентов обеспечит рост, развитие и высокую продуктивность животноводства. Поэтому основная роль отводится разработке и производству современных дозирующих устройств, обеспечивающих необходимую точность, производительность и надежность.

На существующих современных предприятиях по приготовлению комбикормов преимущественно применяются порционные (дискретные) дозирующие устройства, где в основном рабочим органом является шнек, который применяется для подачи компонента на взвешивающее устройство. Конструкция такого оборудования технически проста, но в подавляющем большинстве не удовлетворяет на сегодняшнее время достаточно высоким требованиям по точности дозирования, а именно: задаваемому значению, согласно рецептуре, и фактически полученной массе навески. Действующий на данный момент ГОСТ 8.610-2012 [27] подразумевает проведение оценки погрешности дозирования на основании выборочного отбора контрольных доз. Согласно нормативной документации, а именно: ГОСТ Р 8.834-2013/OIML R 61-2:2004, ГОСТ 8.523-2014, ГОСТ 10223-97 установлены требования к поверке измерительной аппаратуры, к проведению испытаний и к установленным формам регистрации результатов [28; 29; 30].

Одним из сложных технологических процессов является приготовление многокомпонентного состава, то есть дозирование с заданной точностью каждого компонента, входящего в выпускаемый продукт согласно его рецептуре. Предъявляемые требования к качеству выпускаемой продукции, указаны в нормативном документе НТП-АПК 1.10.16.001-02 [62].

На российском рынке на данный момент предлагается значительное количество как зарубежных, так и отечественных образцов оборудования для дозирования сухих сыпучих компонентов.

Наиболее близким для сравнения по техническим характеристикам к представленному двухшнековому дозирующему устройству для сыпучих компонентов является модуль макродозирования ММД-1,5×4, который и был подобран в качестве базового варианта.

5.2 Расчет технико-экономических показателей

Расчёт технико-экономических показателей применения двухшнекового дозатора для сухих сыпучих компонентов на базе модуля макродозирования ММД-1,5×4 (Приложение С) проводился по методике, описанной в ГОСТ Р 53056-2008 [30]. Исходная информация, требуемая для расчета технико-экономических показателей, указана в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходная информация для расчета технико-экономической эффективности применения двухшнекового дозатора для сухих сыпучих на базе модуля макродозирования ММД-1,5×4 (в ценах 2024 г.)

Показатели	Обозначение	Базовый вариант	Новый вариант
Балансовая стоимость, руб.	Б	178000	213700
Годовая нагрузка, ч.	Тз.	1973	1973
Установленная мощность, кВт	Р	2,5	6,4
Установленная мощность электродвигателя №1/№2, кВт·ч	qЭ	0,8	2,25
Стоимость электроэнергии, кВт/ч	ЦЭ	9, 00	
Производительность, т/ч	WЭК	0,32	0,352
Количество обслуживающего персонала, чел.	Л	1	1
Часовая ставка обслуживающего персонала, руб./ч.	τ	175	175
Норма отчислений на амортизацию, %	А	0,167	0,167
Норматив затрат на ремонт и техническое обслуживание, %	гР	0,13	0,13

Анализ технико-экономических показателей показал, что годовая экономия денежных средств от внедрения разработанного варианта дозатора составляет 15743,16 руб. при сроке окупаемости 2,26 года.

5.3 Выводы по разделу

Анализ технико-экономических показателей показал, что двухшнековый дозатор для сухих сыпучих компонентов при сравнении с модулем макродозирования 1,5 х 4 эксплуатировать целесообразнее и эффективнее. Годовая экономия денежных средств от внедрения двухшнекового дозатора составляет 15743,16, при сроке окупаемости 2,26 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа научных исследований, патентных изобретений, конструкторско-технологических решений и схем дозирующих устройств для сыпучих компонентов разработана принципиально новая конструкция двухшнекового дозатора, приводимого в действие от двух электроприводов, основного – асинхронного, дополнительного – шагового, (патент на изобретение РФ № 2813794). Для осуществления управления разработанным дозатором разработана программа (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023661766 РФ);

2. Получены теоретические зависимости для расчета массы дозируемого компонента в режиме торможения шнека (2.7) и массы дозируемого компонента, пребывающего в свободном падении (2.10). Вычислена минимальная теоретическая величина массы, определяющая погрешность дозирования при использовании шнека ДШ-60, которая составляет 16,4 г – для мела и 12,9 г – для соли.

3. В результате экспериментальных исследований рабочего процесса двухшнекового дозирующего устройства сухих сыпучих компонентов комбикорма определены оптимальные значения параметров работы дозатора, приводом основного шнека которого является асинхронный электродвигатель, а дополнительного – шаговый, для навески массой не менее 1000 г, при которых наблюдается допустимая погрешность дозирования: уставка частоты дозаторов $n_1 = 30,3$ Гц, уставка включения скорости досыпки $t = 11,9$ %, уставки частоты дозаторов $n_2 = 40,9$ % от n_1 (12,42 Гц), уставки для включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками с шаговым электродвигателем при дозировании мела – 99%, зерна – 94%, соли – 66 %. С целью повышения производительности дозатора переключение на дополнительный шнек необходимо осуществлять при досыпке остатка: зерна – 100 г, мела – 10 г, соли – 340 г.

4. Разработанный двухшнековый дозатор успешно прошел

производственные испытания в ООО ПЗ «Большемурашкинский», а результаты исследований доведены до стадии практического применения и переданы ЗАО «Доза-Агро» Нижегородской области. Годовая экономия денежных средств от внедрения двухшнекового дозатора составляет 15743,16 руб. при сроке окупаемости 2,26 года.

Рекомендации производству. С целью повышении точности дозирования и увеличения пропускной способности дозирующих устройств для сухих сыпучих компонентов комбикорма рекомендуется применение двухшнековых дозаторов, приводимых в действие от двух электроприводов: основного асинхронного – для насыпки основной массы компонента, и дополнительного шагового – для досыпки оставшейся массы. Для управления двухшнековым дозатором рекомендуется применять специальную программу, которая в режиме работы двумя электроприводами позволяет задавать необходимую массу навески в процентном соотношении для поочерёдной работы шнеков.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Проведенные исследования могут стать основой при разработке высокоточных дозирующих устройств, управление которых основано на базе нейронных сетей с учетом влияние физико-механических свойств компонента, параметров окружающей среды, в режиме их автоматического определения и подбора оптимальных значений параметров работы дозирующего устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешкин, В. Р. Механизация животноводства / В. Р. Алёшкин, П. М. Рошин. – М.: Агропромиздат, 1985.–336 с.
2. Антошук, С. А. Результаты теоретических исследований шнекового многопоточного дозатора для распределения сыпучих материалов в сборнике / С. А. Антошук, Т. П. Кот // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Межведомственный тематический сборник. – Минск, 2008. – С.41–44.
3. Апачанов, В. А. Выбор профиля шнекового вала из условия минимума площади поверхности контакта глиняной массы с шнековым валом в шнековом прессе / В. А. Апачанов, В. А. Евстратов // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2010. – № 1. – С.114–118.
4. Артемова, А. В. Оценка требуемой точности весов при создании установки дозирования фракций / А. В. Артемова // Приоритетные научные направления: От теории к практике. – 2014. – № 13. – С.99–104.
5. Афанасьев, В. А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В. А. Афанасьев // ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт». –2007. – С. 7.
6. Банга, В. И. Исследование неравномерности выдачи и вероятности стабильности процесса дозирования комбикорма индивидуальным раздатчиком-дозатором / В. И. Банга // Науковий вісник таврійського державного агротехнологічного університету. –2011. – № 1–3. – С. 56–60.
7. Барановский, В. М. Экспериментальные исследования продуктивности шнекового транспортера-измельчителя корнеплодов / В. М. Барановский, Ю. В. Грицай // Наукові доповіді нубіп україни. –2019. –№ 3 (79). – С. 18.
8. Булатов, С. Ю. Влияние параметров шнекового дозатора на его точность дозирования / С. Ю. Булатов, А. Ю. Исупов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин, О. А. Тареева // Тракторы и сельхозмашины. – Т.90. –№ 5. – С.477–486.

9. Булатов, С. Ю. Определение количества перемещаемого материала шнековым дозатором в режиме торможения / С. Ю. Булатов, А. Ю. Исупов, В. Н. Нечаев, О. А. Тареева, А. Н. Пронин // Вестник Казанского ГАУ –2024. – № 1 (73). – С. 28–33.

10. Булатов, С. Ю. Результаты исследований рабочего процесса шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов с шаговым электродвигателем // С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин, А. Г. Сергеев // Техника и оборудование для села. –2024. – № 1 (319). – С. 33–36.

11. Булатов, С. Ю. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин, О. А. Тареева, А. Е. Шамин // Вестник российской сельскохозяйственной науки – 2024. – № 1. – С. 82–88.

12. Булатов, С. Ю. Исследование процесса дозирования компонентов комбикорма шнеком ДШ-100 / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев, А. П. Савиных // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 10 (292). – С. 36–40.

13. Булатов, С. Ю. Исследование кинематических характеристик шнековых дозаторов для устойчивого производства сельскохозяйственной продукции и кормов / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. А. Зыкин, А. Г. Сергеев // В сборнике: Серия конференций ВГД "Наука о земле и окружающей среде". – Красноярск, 2022. – С. 042028.

14. Булатов, С. Ю. Результаты исследований весового дозирования ингредиентов комбикорма / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев, П. А. Савиных // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 1 (283). – С. 20–24.

15. Булатов, С. Ю. Результаты исследований шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма / С. Ю. Булатов, А. Н. Пронин // Научный журнал Федерального аграрного научного центра Северо-востока имени Н. В. Рудницкого. – 2024. – № 1. – С. 123–133.

16. Буркина, А. С. Совершенствование развития процесса дозирования комбикормов / А. С. Буркина // В сборнике: Студенческие научные исследования. Сборник статей «XVII Международной научно-практической конференции». – Пенза. – 2023. – С. 76–78.

17. Бурмистенков, О. П. Аналитическое определение конструктивных параметров шнекового устройства для отжима соков / О. П. Бурмистенков, В. П. Месяц, О. А. Стародуб // Вестник Хмельницкого национального университета Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 28–31.

18. Бычков, И. Е. Моделирование параметров шнекового транспортера-распределителя / И. Е. Бычков, Т. В. Бычкова // Агроинженерия. – 2022. – т. 24. – № 1. – С. 40–44.

19. Быкова, О. А. Влияние скармливания природных минералов на рост и развитие бычков симментальской породы / О. А. Быкова // Мат. международной научно-практической конференции. Стратегические вопросы мировой науки – 2012. – Прага, 2012. – С. 85–88. Ведищев, С. М. Барабанный дозатор / С. М. Ведищев, В. Т. Щедрин // Техника в сел. хоз-ве. – 1999. – № 1. – С. 13–15.

20. Ведищев, С. М. Исследование энергозатрат шнекового дозатора-смесителя / С. М. Ведищев, А. В. Прохоров, А. И. Завражнов, Н. И. Хольшев, А. А. Кажияхметова // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 2 (42). – С. 96–101.

21. Владимиров, С. В. Влияние воздуха на точность дозирования трудно сыпучих пищевых продуктов / С. В. Владимиров, В. Г. Корнийчук // в сборнике: Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования. Материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры Экологии моря ФГБОУ во «КГМТУ», 2019. – С. 462–465.

22. Володько, О. С. Теория и расчет транспортных и энергетических средств / О. С. Володько // Методические указания. РИО СГСХА. – 2018 – С. 72

23. Второй, С. В. Выбор основных показателей шнекового дозатора для выдачи концентрированных кормов молодняку крс / С. В. Второй // Технологии и

технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2006. – № 78. – С. 150–156.

24. Выгузов, М. Е. Теоретическое обоснование частоты вращения лопастного погрузчика в циркуляционном смесителе / М. Е. Выгузов, С. М. Ведищев, В. Ю. Зайцев, В. В. Коновалов // Наука в центральной России. – 2024. – № 2 – (68) – С. 15–25.

25. Глушко, К. Б. Шнековый дозатор с переменным объемом межвиткового пространства / К. Б. Глушко, И. А. Бостан // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1981. – № 6 – С. 23–25.

26. ГОСТ 8.523-2014 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Методика поверки (с Поправками). Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 36 с.

27. ГОСТ 8.610-2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методы испытаний. Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 42 с.

28. ГОСТ Р 8.834-2013/OIML R 61-2:2004 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 2. Форма протокола испытаний. Введ. 2013-09-06. – М.: Стандартинформ, 2015. – 94 с.

29. ГОСТ 10223-97 Дозаторы весовые дискретного действия. Общие технические требования. Введ. 1999-07-01. – Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 10 с.

30. ГОСТ Р 53056 – 2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Введ. 2009-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 3–20 с.

31. Гукасян, А. В. Сравнительная оценка 3d-моделей шнеков на основе уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности / А. В. Гукасян, В. С. Косачев,

Д. А. Шилько // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2022. – № 1. – С. 89–102.

32. Гутова, С. Г. Моделирование процесса работы спирального и шнекового дозаторов на основе структурных преобразований / С. Г. Гутова, М. А. Новосельцева, И. Ю. Чуриков // Известия алтайского государственного университета. – 2022. – № 1 (123). – С. 95–100.

33. Давыденко, П. Н. Методы повышения точности в автоматических весовых дозаторах дискретного действия / П. Н. Давыденко // Известия. – 2004. – № 1 (36). – С. 82–83.

34. Демченко, В. А., Казаков Ю. Р. Пути повышения точности работы дозаторов для сыпучих пищевых продуктов / В. А. Демченко, Ю. Р. Казаков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2015. – № 1. – С. 37–42.

35. Дереза, О. О. Влияние свойств сыпучих материалов на точность дозирования / О. О. Дереза, С. В. Дереза // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2011. – т. 11. – № 5. – С. 166–169.

36. Джингилбаев, С. С. Экспериментальное обоснование оптимальных значений угла наклона и частоты вращения шнеков горизонтально шнекового смесителя / С. С. Джингилбаев, В. А. Силин // Механика и технологии. – 2022. – № 2 (76). – С. 66–72.

37. Евстратов, В. А. Влияние угла наклона образующей шнековой лопасти вертикального винтового конвейера на коэффициент выдачи материала / В. А. Евстратов, Б. Г. Гасанов, Н. Н. Евстратова, А. В. Рудь // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 5. – С. 67–70.

38. Ефремов, Е. В. О применении шнеков в автоматических дозаторах трудносыпучих материалов / Е. В. Ефремов, С. Н. Ливенцов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – т. 313. – № 2. – С. 37–42.

39. Жиргалова, Т. Б. Экономия производственных затрат за счет повышения точности дозирования энерго и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере / Т. Б. Жиргалова, П. Э. Драчук, Л. А. Драчук // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2017. – Т. 5. – № 1. – С. 68–71.

40. Завод «Ротор»: [Электронный ресурс]. URL: <http://apzrotor.ru/> (Дата обращения: 25.05.2022).

41. Зенков, Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М. : Машиностроение, 1966. – 224 с.

42. Зенков, Р. Л. Механика насыпных грунтов (основания расчета погрузочно-разгрузочных и транспортных устройств) / Р. Л. Зенков. - 2-е производственно-практическое издание изд., испр. и доп. - М. Машиностроение, 1964. – 252 с.

43. Казаков, К. В. Экспериментальные исследования рабочего процесса прессования свекловичного жома в шнековом прессе / К. В. Казаков, А. С. Колесников, А. Г. Минасян // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 4 (32). – С. 81–95.

44. Каталымов, А. В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А. В. Каталымов, В. А. Любартович // Л.: Химия. Ленингр. отделение, 1990 – С.147–167.

45. Керженцев, В. А. Моделирование структурных параметров шнекового конвейера. Расчет технических характеристик / В. А. Керженцев, Н. В. Перова // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2021. – Т. 8. – № 1 – 2. – С. 42–49.

46. Кирсанов, В. В. Применение систем технического зрения для диагностики качества кормов КРС / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Е. А. Никитин, И. А. Кирюшин // Аграрная наука северо-востока. – 2021. – 22(5). – С. 770–776.

47. Кирсанов, В. В. Экспериментальное исследование лабораторного макета для дозирования кормовых добавок / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, Е. А. Никитин, М. В. Беляков, И. А. Пехальский, В. Ю. Матвеев // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 1 (140). – С. 23–33.

48. Китанина, Т. И. Совершенствования шнекового макаронного прессы с использованием некоторых методов морфологического анализа / Т. И. Китанина // Известия тульского государственного университета. технические науки. – 2022. – № 9. – С. 610–614.

49. Компания «Инженерные решения»: [Электронный ресурс]. URL: <http://engineeringsolutions.ru/> (Дата обращения: 25.09.2022).

50. Коновалов, В. В. Обоснование количества лопастей и частоты вращения рабочего органа дозатора концентрированных кормов / В. В. Коновалов, С. Г. Стручков, В. П. Терюшков, С. В. Гусев / Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии. – 2007. – Т.17. – №3(11) – С.106 – 110. 107.

51. Коновалов, В. В. Результаты исследований спирально-шнекового питателя концкормов / В. В. Коновалов, А. С. Калиганов / Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Т. 3. – Пенза: РИО ПГСХА. – 2012. – С. 83–86.

52. Коновалов, В. В. Обоснование технических средств приготовления и выдачи кормов в свиноводстве / В. В. Коновалов. – Пенза: РИО ГСХА, 2005. – С. 314.

53. Коновалов, В. В. Снижение энергозатрат на смешивание концентрированных кормов разработкой и применением смесительного агрегата с комбинированными рабочими органами: Дис...канд. техн. наук/ В. В. Коновалов. – Пенза, 2018. – С. 124.

54. Лапиков, М. А. Система автоматического дозирования сыпучих материалов повышенной точности / М. А. Лапиков, А. Е. Жупиков, А. В. Ваганов // В книге: XXII региональная конференция молодых ученых Волгоградской области. Тезисы докладов. – 2017. – С. 216–217.

55. Латышев, М. А. Шнековый дозатор для микрокомпонентов / М. А. Латышев, А. П. Земцова // В сборнике: инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Пенза, 2022. – С. 105–108.

56. Лялин, Е. А. Результаты лабораторного эксперимента по повышению точности дозирования минеральных удобрений спирально-винтовым дозатором в сборнике: Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск, 2022. – С. 84–88.

57. Мелехина, К. А. Математическая модель процесса усреднения свойств сыпучих материалов при их истечении. / К. А. Мелехина, П. П. Ананьев, А. В. Плотникова, С. А. Шестак // Моделирование, оптимизация и информационные технологии – 2020. – Т. 8. – № 2 (29). – С. 30–31.

58. Методическое пособие по определению энергозатрат при производстве продовольственных ресурсов и кормов для условий Северо-Востока европейской части Российской Федерации / Ф. Ф. Мухамадьяров, В. А. Фигурин, В. П. Ашихмин, и др. – Киров, 1997. – 62 с.

59. Мельников, С. В. Методика изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. – Москва: ВИСХОМ, 1960. – С. 13–29.

60. Михайличенко, С. М. Концептуальное решение по роботизации процесса раздачи кормосмесей на молочной ферме КРС / С. М. Михайличенко, А. И. Купреенко, Д. Ю. Павкин, Е. А. Никитин, Д. А. Благов // Техника и оборудование для села – 2024. – № 4 (322). – С. 14–18.

61. Никитин, Е. А. Лабораторное исследование дозирующего устройства для кормовых добавок / Е. А. Никитин // Агроинженерия – 2023. – Т. 25. № 1. – С. 40–44.

62. НТП-АПК 1.10.16.001-02 Нормы технологического проектирования кормоцехов для животноводческих ферм и комплексов. Введ. 2002-05-01. – М. : Министерство сельского хозяйства российской федерации, 2002.

63. Официальный сайт «Альтапром» [Электронный ресурс]. URL: <https://altoprom.ru/oborudovanie/fasovochnoe> (дата обращения 20.06.22).

64. Официальный сайт «Доза-Агро» [Электронный ресурс]. URL: <https://dozaagro.com> (дата обращения 21.11.23).

65. Официальный сайт ИПЦ «Афикспро» [Электронный ресурс]. URL: <https://afxpro.ru> (дата обращения 17.09.23).

66. Официальный сайт «Московские дозирующие системы» [Электронный ресурс]. URL: <https://mosdoz.ru/equipment/dozatory-sypuchikh-produktov> (дата обращения: 08.09.2022).

67. Официальный сайт МСТ «Русская Трапеза» [Электронный ресурс]. URL: <https://r-t.ru> (дата обращения: 21.06.23).

68. Официальный сайт ПТФ «Техпром» [Электронный ресурс]. URL: <https://fabricators.ru> (дата обращения 21.11.23).

69. Официальный сайт «ТензоТехСервис» [Электронный ресурс]. URL: https://tenzotehservis.pulscen.ru/goods/231132701vysokotochny_dozator_sypuchikh_materialov?ysclid=m151n1264x770478462 (дата обращения: 10.09.2022).

70. Официальный сайт «Compasstech» [Электронный ресурс]. URL: <https://compasstech.ru/catalog/doziruyuschie-kompleksy> (дата обращения: 02.02.2023).

71. Официальный сайт «DEGA» [Электронный ресурс]. URL: http://muanyagtechnika.hu/pdf/adg_gdm.pdf (дата обращения 23.08.22).

72. Официальный сайт «SHINI» [Электронный ресурс]. URL: www.shini.com (дата обращения 21.12.23).

73. Официальный сайт «TrueWeighTM» [Электронный ресурс]. URL: <https://trueweigh.com> (дата обращения 21.08.22).

74. Официальный сайт «Upack-tech» [Электронный ресурс]. URL: <https://upack-tech.com/ru/oborudovanie/fasovochnoe/item/120-af-30-sgsh> (дата обращения: 16.08.22).

75. Официальный сайт «Z-pack» [Электронный ресурс]. URL: <https://intarpack.ru> (дата обращения 22.12.23).

76. Патент 134616 Российская Федерация, МПК51 F23K 3/10. Устройство для подачи твердого топлива / Шаров О. М. заявитель и патентообладатель Шаров О. М.; заявл. 22.05.2013; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. – 3 с.

77. Патент 2011411 Российская Федерация, МПК51 B01F 15/04. Дозатор сыпучих материалов / Василенко Н. В., Ивашов Е. Н., Ориничев С.М., Родионов Ю. С., заявитель и патентообладатель Московский Государственный Институт Электроники и Математики; заявл. 08.02.1991; конвенц приор. 08.02.1991, – 3 с.

78. Патент 2213709 Российская Федерация, МПК51 C03B 3/00. Питатель сыпучих и комкующихся компонентов стекольной шихты / Еременков В. В., Субботин К. Ю., Постников В. В. заявитель и патентообладатель ЗАО «Стромизмеритель»; заявл. 26.12.2001; опубл. 10.10.2003, Бюл. № 28. – 4 с.

79. Патент 2146220 Российская Федерация, МПК51 G01G 13/00. Микродозировующее устройство / Нэф Петер (CH), Бюлер Кристиан (CH), заявитель и патентообладатель Бюлер А. Г.; заявл. 14.08.1995; конвенц приор. 15.08.1994, Бюл. №22. – 5 с.

80. Патент. 2165901 Российская Федерация, МПК51 C03B 3/00. Питатель комкующихся компонентов стекольной шихты / Ефременков В. В. заявитель и патентообладатель ООО «Дубль - В»; заявл. 27.04.2001; опубл. 27.04.2001, Бюл. №12. – 7 с.

81. Патент 2235978 Российская Федерация, МПК51 C09B 21/00. Весовой дозатор дискретного действия для взрывоопасных порошкообразных материалов / Гаранин Л. П., Брехов Г. В., Куценко Г. В., Останкович Л. А., Пепеляев Ю. К., Приходько В. А., Сибгатуллин Р. Г., Красильников Ф. С. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт полимерных материалов»; заявл. 23.12.2002; опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25. – 3 с.

82. Патент 2281803 Российская Федерация, МПК51 B01F 15/04. Дозатор сыпучих материалов / Баранов Н. Ф., Фуфачев В. С. заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Вятская государственная сельскохозяйственная академия; заявл. 10.03.2006; опубл. 20.08.2006, Бюл. № 23. – 3 с.

83. Патент 2284286 Российская Федерация, МПК51 В65В 1/12. Устройство для упаковки сыпучих продуктов в тару / Вукулов В. Н. заявитель и патентообладатель ЗАО «Тензо-М»; заявл. 16.06.2004 г.; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27. – 4 с.

84. Патент 2486479 Российская Федерация, МПК51 G01F 13/00. Дозатор-смеситель сыпучих материалов / Курдюмов В. И., Артемьев В. Г., Барышов А. О. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия» (RU); заявл. 20.02.2012; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18. – 4 с.

85. Патент 2287263 Российская Федерация, МПК51 А01К 5/02. Бункер-дозатор сыпучих кормов / Мухин В. А., Шестера Ю. В., Акульшин А. А., заявитель и патентообладатель Мухин В. А., Шестера Ю. В., Акульшин А. А., Романов А. С.; заявл. 11.05.2005; опубл. 20.11.2006, Бюл. №32. – 3 с.

86. Патент 2742563 РФ, МПК51 G65В 33/30. Шнековый дозатор твердых минеральных удобрений / Сидоркин В. И., Новиков Н. Н., Габарян М. А., Тетерин В. С., Пехнов С. А., Мельничук Д. С., патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; заявл. 11.10.2020; опубл.08.02.2021, Бюл. № 4.

87. Патент 2746166 Российская Федерация, МПК51 В 65 D 88/68. Шнековый дозатор для сыпучих компонентов / Ковалева О. В., Чичигин А. С., Камнев А. К., Пялкин А. П., Усов А. Н., патентообладатель ЗАО «БЕСТРОМ»; заявл. 08.09.2020; опубл. 08.04.2021, Бюл. № 10.

88. Патент 2813794 Российская Федерация, МПК51 В65G 33/18. Шнековый дозатор для сухих сыпучих компонентов / Савиных П. А., Казаков В. А., Булатов С. Ю., Нечаев В. Н., Пронин А. Н., Тареева О. А., патентообладатель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования НГИЭУ, заявл. 08.06.2023 г., опубл. 16.02.2024 г., Бюл. № 5.

89. Пеленко, В. В. Разработка математической модели точности дозирования ингредиентов / Пеленко В. В., Крысин А. Г., Зильберштейн Г. Д., Громцев А. С.,

Степкин Д. С. // Процессы и аппараты пищевых производств. – 2006. – № 1. – С. 26–33.

90. Петров, С. А. Особенности процесса дозирования и критерии его эффективности в современных дозаторах временного типа / С. А. Петров // Известия Тульского государственного университета. технические науки. – 2022. – № 2. – С. 661–666.

91. Пирожков, Д. Н. Влияние влажности зернового материала на процесс дозирования / Д. Н. Пирожков, С. А. Сорокин, Н. В. Коняев, Н. В. Назаренко // Вестник КГСХА. – 2018. – № 9. – С. 209–214.

92. Поляков, С. И. Проблема достижения точности дозирования материалов. / С. И. Поляков // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2005. – № 11. – С. 145–148.

93. Пономарев, А. Б. Методология научных исследований / А. Б. Пономарев, Э. А. Пикулева // учеб. пособие Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 186 с.

94. Пронин, А. Н. Классификация дозирующих устройств и их ключевая роль в производстве / А. Н. Пронин // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 9. – С. 43–50.

95. Пронин, А. Н. Оценка точности дозирования сыпучих компонентов комбикорма двухшнековым дозатором в режиме двухстадийного дозирования / А. Н. Пронин // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 5. – С. 19–29.

96. Рогинский, Г. А. Дозирование сыпучих материалов / Г. А. Рогинский. – Москва, Химия, 1978. – 83–95 с.

97. Рудаков А. И. Разработка конструкции шнекового устройства для транспортирования и очистки сельскохозяйственных материалов / А. И. Рудаков, А. Х. Ханафиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2011. – Т. 6. – № 4 (22). – С. 91–93.

98. Сеидова, И. А. Теоретический анализ равномерности дозирования при приготовления зерновой смеси многокомпонентным дозатором-смесителем / И. А. Сеидова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4 (25). – С. 158–161.

99. Сеидова, И. А. Физико-механические свойства комбикорма и его основных компонентов / И. А. Сеидова // Вестник ОГАУ. – 2022. – № 1 (45). – С. 139–146.
100. Семин, В. А. Основы получения и обработки экспериментальных данных / В. А. Семин, С. М. Семина // учебно-методическое пособие. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – 68 с.
101. Сергеев, А. Г. Оценка характеристик системы дозирования компонентов комбикорма в условиях хозяйства / А.Г. Сергеев, С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, П. А. Савиных, А. Е. Шамин // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 8. – С. 93–99.
102. Синеков, Д. В. Лабораторные исследования шнекового дозатора для посева семян зерновых культур / Д. В. Синеков // Нива Поволжья. – 2019. – № 2 (51). – С. 128–134.
103. Синеков, Д. В. Методика и результаты полевых исследований сеялки с экспериментальным шнековым дозатором / Д. В. Синеков // Сурский вестник. – 2019. – № 2 (6). – С. 43–46.
104. Солодун, В. И. Результаты оптимизации параметров и режимов работы наклонного шнекового загрузчика навоза на фермах КРС / В. И. Солодун, Д. А. Гвоздов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2007. – № 79. – С. 142–149.
105. Строй-Механика [Электронный ресурс]. URL: https://www.stroymehanika.ru/article_3.php. (Дата обращения: 25.03.2022).
106. Сысуев, В. А. Кормоприготовительные машины. Теория, разработка, эксперимент / В. А. Сысуев, А. В. Алешкин, П. А. Савиных // Зональный НИИСХ Северо-Востока. – 2008. – С. 3–15.
107. Тареева, О. А. Влияние частоты вращения шнека на точность дозирования дозатора сыпучих компонентов с асинхронным электродвигателем / О. А. Тареева, А.Н. Пронин // Техника и технологии в животноводстве – 2023. – 4. – С. 97–101.

108. Терехин, Е. П. Методика инженерного расчета гранулирующего шнекового пресса для активации бентонитовых глин / Е. П. Терехин // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – № 2. – С. 85–88.

109. Филатов, Д. А. Геометрическое моделирование рабочих элементов зоны дозирования семян дозатора посевной машины / Д. А. Филатов, О. П. Чередниченко, А. А. Филатов // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2019. – Т. 1. – С. 161–164.

110. Чупшев, А. В. Определение вариативности выдачи питательных веществ в процессе раздачи кормов / А. В. Чупшев, В. П. Терюшков, В. В. Коновалов, М. В. Донцова // Нива Поволжья. – 2022. № 4 (64). – С. 3003.

111. Шубин, И. Н. Технологические машины и оборудование. / И. Н. Шубин, М.М. Свиридов, В. П. Таров // Сыпучие материалы и их свойства: Учеб. пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 76 с.

112. Шуханов, С. Н. Результаты экспериментального исследования процесса дозирования торфа бункером-дозатором / С. Н. Шуханов, О. Н. Хороших, Г.И. Хараев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (96). – С. 139–144.

113. Шуханов, С. Н. Энергетический анализ процесса дозирования торфа бункером-дозатором. / С. Н. Шуханов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4 (90). – С. 153–156.

114. Юдаев, И. В. Моделирование процессов в шнековом дозаторе / И. В. Юдаев, А. Н. Глобин, Н. В. Плотникова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 4 (52). – С. 353–360.

115. Chongchitpaisan, P. A Review on Screw Conveyors for Bulk Materials in Various Applications / P. Chongchitpaisan, S. Sudsawat // Ladkrabang Engineering Journal. – 2022. – Vol. 39 (2). – pp. 111–123. URL: <https://www.researchgate.net>.

116. Hevko, R. Investigation of sectional operating elements for conveying agricultural materials / R. Hevko, R. Rohatynskyi, M. Hevko, O. Lyashuk O. Trokhaniak

// Research in Agricultural Engineering. – 2020. – 66 (1). – pp. 18–26. DOI 10.17221/25/2019-RAE.

117. Minglani, D. A review of granular flow in screw feeders and conveyors / D. Minglani, A. Sharma, H. Pandey, R. Dayal, J. B. Joshi, S. Subramaniam // Power Technology. – 2020. – 366 (2). – pp. 369–381. DOI 10.1016/j.powtec.2020.02.066.

118. Olanrewaju, T. O. Design and fabrication of a screw conveyor / T. O. Olanrewaju, I. M. Jeremiah, P. E. Onyeanula // Agricultural Engineering International. – 2017. – Vol. 19(3). – Issue I. – pp. 156–162. DOI 10.17220/15/2017. (84)

119. Ozbek, O. Fuzzy modeling of volumetric efficiency and specific energy consumption in agricultural screw conveyors. / O. Ozbek // Rural Engineering. –2020. – 50 (5). – pp. 1– 8. DOI 10.1590/0103-8478cr20190764.

120. Pezo, M. Discrete element model of particle and premixing action in modified screw conveyors / M. Pezo, L. Pezo, A. P. Jovanovic, A. Terzic, L. Andric, B. Loncar, P. Kojic // Powder Technology. – 2018. – 336 (1). – pp. 255–264. DOI 10.1016/j.powtec.2018.06.009.

121. Sun, L. Application of a screw conveyor with axial tilt blades on a shearer drum and investigation of conveying performance based on DEM / L. Sun L, X. Zhang, Q. Zeng, K. Gao, K. Jiang, J. Zhou // Particuology. – 2022; – 6. – pp. 91–102. DOI 10.1016/j.partic.2021.06.001.

122. Wagner, R. Bulk Material Characteristics. Material Code. Conveyor Size and Speed. Component Groups In Handbook of Screw Conveyor for Bulk Material, Naples, FL, USA / R. Wagner // Conveyor Equipment Manufacture Association. –2019. – 2(3). – pp. 28–34. URL: https://books.google.ru/books/about/Screw_conveyors.

123. Yang, Z. Research on the axial velocity of the raw coal particles in vertical screw conveyor by using the discrete element method / Z. Yang, S. Xiaoxia, M. Wenjun // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2021. – 35 (6) – pp. 2551–2560. DOI 10.1007/s12206-021-0526-z.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А
(справочное)



Приложение Б
(справочное)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2023661766

Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов

Правообладатель: *Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный инженерно-экономический университет" (НГИЭУ) (RU)*

Авторы: *Булатов Сергей Юрьевич (RU), Нечаев Владимир Николаевич (RU), Пронин Алексей Николаевич (RU), Тареева Оксана Александровна (RU)*

Заявка № **2023619279**
Дата поступления **15 мая 2023 г.**
Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ **01 июня 2023 г.**



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 42906a01e1653164ba96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 18.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

Приложение В

(справочное)

Таблица В.1 – Результаты исследования по определению влияния массы навески и частоты вращения шнека на точность дозирования измельченного зерна

Задаваемая масса навески, кг	Частота вращения вала электродвигателя, Гц	Масса взвешиваемого вещества в кг. (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,050	12	0.039;0.047;0.047;0.044;0.043;0.045;0.042;0.04;0.047;0.046;0.046;0.042;0.037;0.037;0.04;0.043;0.042;0.038;0.042;0.038;0.038;0.044;0.038;0.038;0.044;0.046;0.039;0.044;0.04;0.04;0.046;0.039;0.042;0.037;0.048;0.037;0.045;0.041;0.038;0.041;0.039;0.039;0.046;0.041;0.038;0.046;0.044;0.038;0.044;0.044;0.047;0.039;0.042;0.038;0.042;0.038;0.041;0.038;0.043;0.039.	0,0416	16
	13	0.05;0.048;0.04;0.043;0.052;0.052;0.052;0.05;0.049;0.053;0.051;0.041;0.039;0.045;0.04;0.04;0.052;0.042;0.047;0.043;0.04;0.05;0.05;0.049;0.041;0.046;0.047;0.041;0.045;0.043;0.051;0.053;0.041;0.043;0.048;0.04;0.044;0.049;0.052;0.049;0.045;0.046;0.052;0.043;0.052;0.044;0.045;0.05;0.051;0.039;0.046;0.049;0.045;0.046;0.052;0.052;0.046;0.044;0.044;0.042.	0,0464	7,2
	14	0.046; 0.058; 0.058; 0.048; 0.053; 0.048; 0.05; 0.049; 0.05; 0.055; 0.054; 0.05; 0.058; 0.047; 0.05; 0.049; 0.058; 0.058; 0.049; 0.057; 0.048; 0.049; 0.055; 0.057; 0.047; 0.054; 0.053; 0.052; 0.052; 0.046; 0.057; 0.048; 0.048; 0.046; 0.046; 0.052; 0.049; 0.049; 0.058; 0.055; 0.047; 0.054; 0.054; 0.057; 0.047; 0.053; 0.051; 0.052; 0.046; 0.049; 0.053; 0.058; 0.058; 0.05; 0.051; 0.047; 0.054; 0.05; 0.05; 0.049.	0,0516	3,2
	15	0.055; 0.053; 0.065; 0.051; 0.052; 0.047; 0.048; 0.052; 0.05; 0.047; 0.064; 0.059; 0.058; 0.058; 0.06; 0.062; 0.054; 0.064; 0.051; 0.056; 0.056; 0.051; 0.056; 0.053; 0.062; 0.049; 0.057; 0.06; 0.051; 0.052; 0.059; 0.049; 0.06; 0.064; 0.058; 0.049; 0.047; 0.049; 0.049; 0.058; 0.057; 0.061; 0.056; 0.057; 0.053; 0.054; 0.059; 0.055; 0.053; 0.06; 0.052; 0.047; 0.049; 0.061; 0.053; 0.049; 0.064; 0.053; 0.051; 0.061.	0,055	10
0,100	12	0.086; 0.085; 0.087; 0.081; 0.076; 0.084; 0.081; 0.089; 0.077; 0.083; 0.084; 0.083; 0.081; 0.082; 0.088; 0.087; 0.091; 0.085; 0.09; 0.08; 0.076; 0.083; 0.09; 0.075; 0.082; 0.085; 0.09; 0.09; 0.09; 0.089; 0.075; 0.087; 0.083; 0.09; 0.084; 0.087; 0.086; 0.082; 0.088; 0.088; 0.085; 0.091; 0.079; 0.089; 0.08; 0.09; 0.088; 0.088; 0.08; 0.076; 0.089; 0.086; 0.078; 0.088; 0.09; 0.088; 0.082; 0.075; 0.086; 0.076.	0,0844	15,6
	13	0.099; 0.091; 0.087; 0.087; 0.081; 0.093; 0.093; 0.093; 0.094; 0.082; 0.092; 0.082; 0.086; 0.081; 0.081; 0.08; 0.088; 0.089; 0.095; 0.092; 0.095; 0.088; 0.087; 0.085; 0.097; 0.089; 0.095; 0.087; 0.086; 0.095; 0.083; 0.085; 0.088; 0.08; 0.087; 0.096; 0.084; 0.096; 0.085; 0.082; 0.093; 0.082; 0.088; 0.08; 0.081; 0.084; 0.083; 0.087; 0.085; 0.097; 0.098; 0.083; 0.083; 0.088; 0.086; 0.087; 0.097; 0.081; 0.097; 0.084.	0,088	12
	14	0.088; 0.089; 0.1; 0.101; 0.097; 0.09; 0.088; 0.096; 0.099; 0.095; 0.098; 0.088; 0.09; 0.09; 0.093; 0.091; 0.089; 0.099; 0.096; 0.092; 0.093; 0.097; 0.094; 0.096; 0.099; 0.088; 0.094; 0.095; 0.095; 0.097; 0.093; 0.092; 0.099; 0.091; 0.089; 0.095; 0.099; 0.093; 0.089; 0.092; 0.095; 0.099; 0.089; 0.09; 0.095; 0.099; 0.096; 0.092; 0.095; 0.095; 0.093; 0.099; 0.096; 0.087; 0.094; 0.088; 0.098; 0.093; 0.089; 0.091.	0,093	6,2
	15	0.094; 0.093; 0.094; 0.094; 0.095; 0.096; 0.096; 0.095; 0.096; 0.096; 0.093; 0.094; 0.095; 0.094; 0.092; 0.095; 0.093; 0.094; 0.093; 0.097; 0.095; 0.095; 0.092; 0.096; 0.097; 0.094; 0.096; 0.093; 0.094; 0.094; 0.094; 0.093; 0.092; 0.093; 0.094; 0.093; 0.094; 0.095; 0.093; 0.097; 0.096; 0.096; 0.093; 0.095; 0.093; 0.093; 0.095; 0.096; 0.097; 0.095; 0.094; 0.095; 0.097; 0.095; 0.093; 0.093; 0.096; 0.095; 0.097.	0,0945	5,5
	16	0.096; 0.096; 0.095; 0.094; 0.095; 0.098; 0.095; 0.098; 0.095; 0.094; 0.096; 0.094; 0.096; 0.095; 0.096; 0.096; 0.094; 0.095; 0.095; 0.097; 0.097; 0.094; 0.094; 0.095; 0.098; 0.094; 0.097; 0.096; 0.098; 0.094; 0.094; 0.096; 0.094; 0.094; 0.098; 0.096; 0.098; 0.098; 0.097; 0.097; 0.096; 0.098; 0.096; 0.095; 0.095; 0.097; 0.094; 0.095; 0.097; 0.096; 0.096; 0.095; 0.096; 0.097; 0.095; 0.097; 0.096; 0.097; 0.094.	0,0958	4,2
	17	0.099; 0.097; 0.096; 0.092; 0.094; 0.1; 0.092; 0.099; 0.091; 0.098; 0.099; 0.092; 0.094; 0.096; 0.099; 0.097; 0.097; 0.095; 0.094; 0.096; 0.096; 0.099; 0.093; 0.094; 0.098; 0.095; 0.097; 0.099; 0.099; 0.096; 0.098; 0.099; 0.098; 0.1; 0.1; 0.095; 0.098; 0.093; 0.093; 0.097; 0.099; 0.099; 0.094; 0.096; 0.094; 0.098; 0.092; 0.096; 0.094; 0.097; 0.096; 0.098; 0.098; 0.091; 0.097; 0.099; 0.095; 0.099; 0.094; 0.092.	0,0962	3,8
	18	0.103; 0.095; 0.106; 0.096; 0.099; 0.097; 0.099; 0.103; 0.096; 0.097; 0.099; 0.097; 0.099; 0.1; 0.096; 0.096; 0.1; 0.101; 0.105; 0.097; 0.099; 0.097; 0.107; 0.1; 0.095; 0.096; 0.097; 0.097; 0.097; 0.099; 0.097; 0.098; 0.096; 0.099; 0.106; 0.096; 0.097; 0.096; 0.105; 0.1; 0.098; 0.108; 0.097; 0.097; 0.105; 0.105; 0.101; 0.097; 0.101; 0.104; 0.096; 0.096; 0.105; 0.102; 0.095;	0,0995	0,5

Продолжение таблицы В.1

		0.096; 0.107; 0.102; 0.097; 0.106.		
	19	0.105; 0.102; 0.102; 0.106; 0.102; 0.107; 0.106; 0.105; 0.104; 0.101; 0.101; 0.104; 0.101; 0.107; 0.104; 0.105; 0.101; 0.104; 0.102; 0.106; 0.108; 0.108; 0.105; 0.102; 0.103; 0.103; 0.101; 0.105; 0.107; 0.107; 0.107; 0.102; 0.108; 0.101; 0.103; 0.103; 0.105; 0.104; 0.105; 0.101; 0.102; 0.105; 0.103; 0.104; 0.104; 0.104; 0.101; 0.101; 0.108; 0.105; 0.103; 0.105; 0.103; 0.103; 0.107; 0.102; 0.104; 0.103; 0.107; 0.103.	0,104	4
	20	0.112; 0.111; 0.113; 0.11; 0.111; 0.11; 0.112; 0.114; 0.113; 0.112; 0.113; 0.114; 0.111; 0.111; 0.113; 0.113; 0.113; 0.111; 0.114; 0.111; 0.114; 0.111; 0.114; 0.113; 0.113; 0.114; 0.113; 0.113; 0.111; 0.111; 0.113; 0.111; 0.11; 0.111; 0.113; 0.114; 0.109; 0.11; 0.109; 0.111; 0.113; 0.114; 0.112; 0.109; 0.112; 0.111; 0.113; 0.108; 0.109; 0.114.	0,112	12
200	12	0.193; 0.173; 0.179; 0.186; 0.18; 0.18; 0.171; 0.177; 0.188; 0.181; 0.176; 0.188; 0.172; 0.193; 0.177; 0.196; 0.175; 0.184; 0.182; 0.189; 0.18; 0.174; 0.171; 0.175; 0.194; 0.176; 0.182; 0.195; 0.183; 0.175; 0.177; 0.19; 0.172; 0.184; 0.192; 0.189; 0.18; 0.181; 0.184; 0.185; 0.171; 0.173; 0.172; 0.176; 0.192; 0.177; 0.179; 0.179; 0.177; 0.173; 0.194; 0.189; 0.173; 0.174; 0.187; 0.195; 0.192; 0.195; 0.171; 0.178.	0,181	9,2
	13	0.178; 0.184; 0.19; 0.182; 0.179; 0.186; 0.18; 0.189; 0.178; 0.178; 0.187; 0.187; 0.178; 0.189; 0.177; 0.188; 0.187; 0.183; 0.183; 0.185; 0.178; 0.178; 0.178; 0.178; 0.18; 0.183; 0.187; 0.179; 0.178; 0.177; 0.179; 0.19; 0.181; 0.177; 0.188; 0.189; 0.179; 0.177; 0.184; 0.178; 0.185; 0.186; 0.186; 0.18; 0.181; 0.183; 0.178; 0.181; 0.178; 0.178; 0.182; 0.18; 0.177; 0.183; 0.181; 0.187; 0.177; 0.184; 0.18; 0.187.	0,182	9
	14	0.189; 0.192; 0.195; 0.178; 0.178; 0.176; 0.188; 0.186; 0.195; 0.177; 0.177; 0.194; 0.189; 0.195; 0.188; 0.189; 0.184; 0.187; 0.176; 0.192; 0.173; 0.191; 0.183; 0.189; 0.194; 0.187; 0.191; 0.179; 0.195; 0.195; 0.185; 0.192; 0.189; 0.184; 0.19; 0.187; 0.183; 0.185; 0.176; 0.195; 0.196; 0.195; 0.189; 0.179; 0.173; 0.174; 0.194; 0.194; 0.174; 0.192; 0.189; 0.175; 0.176; 0.19; 0.176; 0.193; 0.178; 0.179; 0.181; 0.195.	0,186	7
	15	0.194; 0.187; 0.179; 0.19; 0.182; 0.188; 0.185; 0.185; 0.191; 0.183; 0.184; 0.197; 0.182; 0.185; 0.183; 0.18; 0.19; 0.182; 0.184; 0.192; 0.187; 0.194; 0.183; 0.181; 0.184; 0.194; 0.181; 0.181; 0.197; 0.197; 0.193; 0.197; 0.185; 0.19; 0.178; 0.196; 0.194; 0.19; 0.184; 0.182; 0.18; 0.197; 0.184; 0.18; 0.192; 0.181; 0.189; 0.191; 0.179; 0.186; 0.195; 0.181; 0.195; 0.193; 0.191; 0.179; 0.178; 0.181; 0.185; 0.192.	0,187	6,5
	16	0.196; 0.191; 0.194; 0.183; 0.178; 0.185; 0.18; 0.188; 0.186; 0.187; 0.192; 0.189; 0.196; 0.182; 0.182; 0.182; 0.185; 0.186; 0.183; 0.197; 0.191; 0.182; 0.182; 0.195; 0.178; 0.184; 0.194; 0.183; 0.184; 0.19; 0.181; 0.183; 0.193; 0.185; 0.196; 0.198; 0.184; 0.191; 0.195; 0.194; 0.197; 0.183; 0.184; 0.191; 0.188; 0.178; 0.189; 0.177; 0.191; 0.194; 0.192; 0.182; 0.188; 0.188; 0.193; 0.178; 0.187; 0.197; 0.183; 0.179.	0,1874	6,3
	17	0.186; 0.184; 0.191; 0.184; 0.186; 0.192; 0.189; 0.19; 0.193; 0.192; 0.189; 0.193; 0.192; 0.184; 0.185; 0.193; 0.192; 0.195; 0.188; 0.186; 0.187; 0.194; 0.186; 0.182; 0.194; 0.184; 0.192; 0.194; 0.194; 0.185; 0.184; 0.19; 0.182; 0.182; 0.191; 0.183; 0.189; 0.194; 0.195; 0.191; 0.194; 0.183; 0.191; 0.192; 0.19; 0.193; 0.189; 0.191; 0.193; 0.191; 0.183; 0.193; 0.185; 0.19; 0.19; 0.19; 0.187; 0.188; 0.186; 0.184.	0,189	5,5
	18	0.183; 0.181; 0.188; 0.192; 0.19; 0.186; 0.184; 0.183; 0.198; 0.191; 0.198; 0.186; 0.194; 0.184; 0.199; 0.186; 0.197; 0.186; 0.188; 0.189; 0.182; 0.193; 0.19; 0.193; 0.185; 0.183; 0.193; 0.19; 0.191; 0.19; 0.196; 0.195; 0.189; 0.188; 0.186; 0.194; 0.199; 0.185; 0.184; 0.192; 0.195; 0.197; 0.183; 0.192; 0.192; 0.184; 0.182; 0.184; 0.187; 0.197; 0.187; 0.184; 0.196; 0.183; 0.186; 0.199; 0.195; 0.186; 0.186; 0.194.	0,1895	5,25
	19	0.185; 0.189; 0.186; 0.186; 0.184; 0.186; 0.194; 0.195; 0.183; 0.194; 0.188; 0.193; 0.19; 0.186; 0.192; 0.184; 0.188; 0.194; 0.188; 0.193; 0.188; 0.19; 0.191; 0.194; 0.186; 0.184; 0.193; 0.191; 0.186; 0.187; 0.191; 0.199; 0.193; 0.191; 0.182; 0.199; 0.19; 0.188; 0.199; 0.182; 0.181; 0.185; 0.187; 0.182; 0.19; 0.183; 0.193; 0.197; 0.198; 0.189; 0.187; 0.19; 0.193; 0.183; 0.195; 0.187; 0.198; 0.199; 0.198; 0.191.	0,1898	5,1
	20	0.204; 0.195; 0.199; 0.193; 0.199; 0.195; 0.205; 0.2; 0.194; 0.195; 0.196; 0.198; 0.192; 0.195; 0.19; 0.193; 0.198; 0.199; 0.201; 0.202; 0.199; 0.197; 0.195; 0.194; 0.205; 0.203; 0.204; 0.194; 0.201; 0.199; 0.196; 0.204; 0.196; 0.198; 0.198; 0.201; 0.205; 0.191; 0.2; 0.193; 0.203; 0.19; 0.193; 0.199; 0.199; 0.192; 0.199; 0.198; 0.199; 0.199; 0.202; 0.193; 0.189; 0.204; 0.195; 0.198; 0.196; 0.202; 0.198; 0.204.	0,1978	1,1
	21	0.2; 0.197; 0.197; 0.203; 0.203; 0.199; 0.2; 0.201; 0.2; 0.202; 0.202; 0.202; 0.2; 0.203; 0.197; 0.206; 0.198; 0.202; 0.197; 0.202; 0.199; 0.201; 0.199; 0.2; 0.199; 0.197; 0.208; 0.199; 0.197; 0.198; 0.207; 0.204; 0.202; 0.198; 0.204; 0.197; 0.204; 0.206; 0.205; 0.204; 0.197; 0.203; 0.206; 0.197; 0.2; 0.203; 0.198; 0.202; 0.208; 0.205; 0.203; 0.198; 0.2; 0.2; 0.208; 0.196; 0.197; 0.196; 0.2; 0.204.	0,201	0,5
	22	0.197; 0.201; 0.202; 0.202; 0.201; 0.204; 0.206; 0.206; 0.201; 0.196; 0.2; 0.209; 0.196; 0.202; 0.206; 0.208; 0.202; 0.196; 0.208; 0.208; 0.202; 0.204; 0.204; 0.206; 0.206; 0.196; 0.197; 0.202; 0.197; 0.196; 0.2; 0.206; 0.203; 0.203; 0.203; 0.202; 0.203; 0.209; 0.199; 0.208; 0.206;	0,202	0,1

Продолжение таблицы В.1

		0.198; 0.204; 0.203; 0.207; 0.203; 0.2; 0.196; 0.199; 0.206; 0.201; 0.197; 0.202; 0.199; 0.207; 0.198; 0.199; 0.198; 0.196; 0.204.		
300	12	0.28; 0.277; 0.28; 0.287; 0.287; 0.279; 0.279; 0.276; 0.28; 0.288; 0.278; 0.276; 0.275; 0.285; 0.287; 0.292; 0.279; 0.292; 0.285; 0.283; 0.285; 0.275; 0.29; 0.277; 0.288; 0.275; 0.278; 0.282; 0.275; 0.278; 0.287; 0.286; 0.28; 0.277; 0.282; 0.277; 0.281; 0.279; 0.277; 0.28; 0.281; 0.281; 0.278; 0.278; 0.282; 0.277; 0.282; 0.277; 0.288; 0.277; 0.281; 0.276; 0.276; 0.282; 0.287; 0.291; 0.283; 0.275; 0.278; 0.276.	0,281	6,33
	13	0.278; 0.286; 0.286; 0.283; 0.279; 0.287; 0.279; 0.275; 0.281; 0.276; 0.275; 0.281; 0.276; 0.286; 0.285; 0.292; 0.292; 0.286; 0.289; 0.286; 0.29; 0.282; 0.275; 0.281; 0.28; 0.277; 0.275; 0.28; 0.274; 0.284; 0.287; 0.293; 0.282; 0.285; 0.279; 0.278; 0.287; 0.289; 0.278; 0.278; 0.282; 0.287; 0.28; 0.276; 0.276; 0.283; 0.282; 0.282; 0.295; 0.295; 0.283; 0.285; 0.275; 0.277; 0.274; 0.277; 0.286; 0.283; 0.276; 0.274.	0,282	6,1
	14	0.29; 0.282; 0.269; 0.267; 0.272; 0.288; 0.288; 0.289; 0.277; 0.278; 0.292; 0.29; 0.284; 0.284; 0.274; 0.29; 0.276; 0.276; 0.291; 0.285; 0.27; 0.272; 0.288; 0.282; 0.267; 0.291; 0.286; 0.288; 0.268; 0.288; 0.289; 0.287; 0.282; 0.279; 0.293; 0.277; 0.292; 0.281; 0.293; 0.272; 0.289; 0.285; 0.286; 0.287; 0.27; 0.29; 0.278; 0.28; 0.286; 0.274; 0.291; 0.278; 0.279; 0.292; 0.274; 0.28; 0.275; 0.291; 0.279; 0.293.	0,283	5,87
	15	0.288; 0.295; 0.281; 0.283; 0.285; 0.286; 0.286; 0.282; 0.279; 0.282; 0.293; 0.284; 0.281; 0.287; 0.281; 0.284; 0.286; 0.288; 0.285; 0.283; 0.296; 0.28; 0.282; 0.295; 0.285; 0.295; 0.279; 0.287; 0.29; 0.292; 0.29; 0.279; 0.283; 0.29; 0.28; 0.282; 0.283; 0.283; 0.284; 0.281; 0.292; 0.28; 0.294; 0.279; 0.285; 0.288; 0.281; 0.28; 0.282; 0.28; 0.284; 0.281; 0.279; 0.286; 0.293; 0.282; 0.289; 0.288; 0.283; 0.279.	0,285	4,9
	16	0.285; 0.286; 0.292; 0.284; 0.287; 0.283; 0.284; 0.288; 0.288; 0.288; 0.282; 0.282; 0.285; 0.282; 0.29; 0.285; 0.287; 0.29; 0.286; 0.292; 0.29; 0.283; 0.287; 0.291; 0.289; 0.283; 0.29; 0.284; 0.291; 0.289; 0.289; 0.292; 0.292; 0.29; 0.29; 0.288; 0.291; 0.29; 0.288; 0.283; 0.288; 0.283; 0.285; 0.284; 0.288; 0.287; 0.289; 0.282; 0.288; 0.283; 0.289; 0.282; 0.283; 0.285; 0.285; 0.286; 0.285; 0.284; 0.285; 0.291.	0,2868	4,4
	17	0.292; 0.287; 0.291; 0.291; 0.276; 0.281; 0.277; 0.284; 0.288; 0.28; 0.286; 0.291; 0.29; 0.288; 0.278; 0.289; 0.277; 0.286; 0.284; 0.281; 0.286; 0.291; 0.276; 0.29; 0.284; 0.282; 0.289; 0.29; 0.29; 0.289; 0.286; 0.291; 0.28; 0.287; 0.282; 0.279; 0.282; 0.281; 0.29; 0.291; 0.287; 0.281; 0.291; 0.281; 0.287; 0.288; 0.277; 0.281; 0.282; 0.288; 0.285; 0.285; 0.291; 0.289; 0.282; 0.276; 0.29; 0.288; 0.282; 0.276.	0,285	5
	18	0.284; 0.282; 0.277; 0.293; 0.283; 0.279; 0.281; 0.281; 0.286; 0.287; 0.283; 0.285; 0.284; 0.284; 0.278; 0.292; 0.29; 0.287; 0.282; 0.28; 0.29; 0.293; 0.289; 0.293; 0.29; 0.292; 0.278; 0.288; 0.292; 0.277; 0.29; 0.292; 0.281; 0.291; 0.286; 0.287; 0.275; 0.285; 0.29; 0.291; 0.286; 0.291; 0.285; 0.292; 0.285; 0.283; 0.275; 0.284; 0.292; 0.29; 0.281; 0.292; 0.293; 0.281; 0.29; 0.285; 0.286; 0.279; 0.278; 0.28.	0,2856	4,8
	19	0.282; 0.28; 0.29; 0.282; 0.288; 0.281; 0.293; 0.287; 0.282; 0.279; 0.291; 0.292; 0.282; 0.294; 0.289; 0.279; 0.28; 0.286; 0.279; 0.293; 0.292; 0.291; 0.292; 0.289; 0.293; 0.289; 0.284; 0.291; 0.283; 0.282; 0.285; 0.292; 0.285; 0.293; 0.279; 0.282; 0.289; 0.286; 0.287; 0.284; 0.286; 0.289; 0.287; 0.285; 0.282; 0.281; 0.295; 0.284; 0.28; 0.284; 0.28; 0.281; 0.282; 0.292; 0.287; 0.285; 0.284; 0.281; 0.294; 0.284.	0,286	4,7
	20	0.275; 0.293; 0.291; 0.281; 0.27; 0.287; 0.292; 0.286; 0.293; 0.29; 0.289; 0.292; 0.291; 0.29; 0.286; 0.277; 0.291; 0.283; 0.285; 0.292; 0.276; 0.287; 0.29; 0.284; 0.274; 0.279; 0.291; 0.281; 0.275; 0.289; 0.29; 0.276; 0.293; 0.278; 0.284; 0.282; 0.286; 0.293; 0.293; 0.288; 0.29; 0.281; 0.279; 0.283; 0.291; 0.288; 0.28; 0.289; 0.293; 0.282; 0.287; 0.288; 0.286; 0.272; 0.281; 0.286; 0.283; 0.287; 0.274; 0.277.	0,285	5
	21	0.292; 0.276; 0.278; 0.282; 0.288; 0.293; 0.283; 0.285; 0.28; 0.291; 0.286; 0.293; 0.284; 0.284; 0.279; 0.278; 0.276; 0.289; 0.283; 0.279; 0.294; 0.288; 0.289; 0.282; 0.279; 0.286; 0.28; 0.28; 0.292; 0.277; 0.294; 0.294; 0.284; 0.282; 0.296; 0.284; 0.282; 0.282; 0.286; 0.281; 0.28; 0.292; 0.296; 0.293; 0.289; 0.292; 0.276; 0.277; 0.294; 0.287; 0.276; 0.293; 0.285; 0.289; 0.283; 0.277; 0.291; 0.29; 0.285; 0.294.	0,2855	4,8
	22	0.29; 0.283; 0.28; 0.288; 0.281; 0.282; 0.287; 0.281; 0.281; 0.291; 0.281; 0.289; 0.279; 0.29; 0.283; 0.283; 0.288; 0.28; 0.284; 0.291; 0.287; 0.292; 0.282; 0.283; 0.284; 0.289; 0.282; 0.291; 0.28; 0.289; 0.289; 0.283; 0.283; 0.292; 0.292; 0.289; 0.287; 0.283; 0.284; 0.29; 0.281; 0.289; 0.291; 0.284; 0.288; 0.292; 0.289; 0.279; 0.29; 0.282; 0.285; 0.291; 0.284; 0.285; 0.289; 0.293; 0.282; 0.281; 0.281; 0.283.	0,2857	4,77

Приложение Г

(справочное)

Таблица Г.1– Результаты эксперимента по влиянию совокупности факторов на погрешность дозирования

№ опыта	Факторы					Взвешенная дозатором масса		Погрешность дозирования %
	n ₁	m, г	t	n ₂ , %	M _г	Результаты дозирования в шестидесятикратной повторности	Средняя масса навески, кг	
1.	40	80	50	70	350	0.366; 0.363; 0.359; 0.359; 0.356; 0.363; 0.357; 0.36; 0.359; 0.358; 0.362; 0.356; 0.362; 0.363; 0.365; 0.359; 0.361; 0.357; 0.359; 0.358; 0.364; 0.365; 0.359; 0.364; 0.359; 0.365; 0.356; 0.366; 0.357; 0.365; 0.358; 0.362; 0.36; 0.364; 0.359; 0.364; 0.358; 0.362; 0.359; 0.358; 0.364; 0.365; 0.356; 0.362; 0.365; 0.366; 0.362; 0.365; 0.363; 0.364; 0.361; 0.36; 0.361; 0.357; 0.361; 0.359; 0.361; 0.362; 0.361; 0.359.	0,361	3,1
2.	30	30	50	70	350	0.381; 0.381; 0.377; 0.381; 0.377; 0.384; 0.378; 0.38; 0.376; 0.376; 0.379; 0.382; 0.382; 0.383; 0.384; 0.38; 0.381; 0.374; 0.377; 0.375; 0.383; 0.377; 0.375; 0.384; 0.379; 0.375; 0.376; 0.379; 0.375; 0.383; 0.382; 0.376; 0.383; 0.381; 0.376; 0.384; 0.378; 0.377; 0.378; 0.375; 0.377; 0.375; 0.382; 0.384; 0.375; 0.378; 0.378; 0.379; 0.377; 0.384; 0.381; 0.376; 0.378; 0.381; 0.376; 0.379; 0.375; 0.382; 0.385; 0.374.	0,379	8,3
3.	50	30	50	70	350	0.442; 0.443; 0.446; 0.445; 0.441; 0.442; 0.442; 0.442; 0.447; 0.444; 0.444; 0.448; 0.441; 0.445; 0.446; 0.448; 0.448; 0.44; 0.444; 0.44; 0.449; 0.444; 0.444; 0.448; 0.443; 0.449; 0.442; 0.44; 0.445; 0.451; 0.44; 0.441; 0.442; 0.444; 0.441; 0.442; 0.443; 0.442; 0.44; 0.443; 0.443; 0.446; 0.442; 0.442; 0.444; 0.441; 0.441; 0.442; 0.445; 0.45; 0.444; 0.445; 0.445; 0.449; 0.445; 0.443; 0.44; 0.447; 0.449; 0.446.	0,444	26,9
4.	30	130	50	70	350	0.289; 0.289; 0.287; 0.285; 0.285; 0.283; 0.285; 0.284; 0.282; 0.282; 0.287; 0.288; 0.285; 0.285; 0.281; 0.287; 0.283; 0.288; 0.288; 0.287; 0.283; 0.283; 0.286; 0.281; 0.288; 0.285; 0.284; 0.286; 0.281; 0.288; 0.283; 0.28; 0.288; 0.289; 0.284; 0.281; 0.282; 0.288; 0.286; 0.282; 0.283; 0.285; 0.287; 0.288; 0.28; 0.289; 0.289; 0.283; 0.284; 0.287; 0.281; 0.283; 0.289; 0.288; 0.288; 0.283; 0.285; 0.281; 0.281; 0.288.	0,285	- 18,6
5.	50	130	50	70	350	0.33; 0.315; 0.328; 0.327; 0.324; 0.332; 0.333; 0.323; 0.317; 0.319; 0.329; 0.321; 0.328; 0.317; 0.333; 0.324; 0.316; 0.331; 0.334; 0.325; 0.322; 0.33; 0.332; 0.328; 0.329; 0.33; 0.323; 0.33; 0.316; 0.32; 0.325; 0.333; 0.317; 0.322; 0.329; 0.327; 0.329; 0.332; 0.331; 0.315; 0.327; 0.334; 0.319; 0.331; 0.331; 0.321; 0.319; 0.327; 0.324; 0.325; 0.331; 0.316; 0.313; 0.327; 0.32; 0.329; 0.319; 0.324; 0.314; 0.323.	0,325	- 7,1
6.	40	80	10	40	350	0.302; 0.311; 0.316; 0.31; 0.316; 0.311; 0.313; 0.315; 0.316; 0.312; 0.311; 0.316; 0.312; 0.313; 0.304; 0.304; 0.316; 0.301; 0.315; 0.311; 0.314; 0.305; 0.315; 0.314; 0.31; 0.311; 0.312; 0.313; 0.311; 0.305; 0.314; 0.306; 0.314; 0.312; 0.302; 0.315; 0.311; 0.31; 0.314; 0.311; 0.31; 0.304; 0.3; 0.303; 0.3; 0.307; 0.304; 0.308; 0.305; 0.311; 0.309; 0.307; 0.303; 0.314; 0.31; 0.306; 0.314; 0.312; 0.313; 0.316.	0,310	- 11,4
7.	40	80	90	40	350	0.429; 0.434; 0.43; 0.434; 0.424; 0.445; 0.425; 0.44; 0.442; 0.44; 0.444; 0.428; 0.443; 0.428; 0.442; 0.43; 0.444; 0.444; 0.441; 0.432; 0.441; 0.442; 0.438; 0.427; 0.439; 0.437; 0.441; 0.441; 0.429; 0.443; 0.446; 0.443; 0.435; 0.436; 0.44; 0.434; 0.427; 0.439; 0.433; 0.443; 0.444; 0.444; 0.431; 0.446; 0.436; 0.429; 0.445; 0.439; 0.433; 0.445; 0.426; 0.441; 0.444; 0.431; 0.424; 0.437; 0.436; 0.432; 0.444; 0.44.	0,437	24,9
8.	40	80	10	100	350	0.454; 0.454; 0.454; 0.454; 0.449; 0.453; 0.451; 0.458; 0.457; 0.454; 0.452; 0.451; 0.447; 0.453; 0.458; 0.449; 0.453; 0.45; 0.447; 0.45; 0.448; 0.448; 0.457; 0.456; 0.45; 0.444; 0.455; 0.456; 0.455; 0.454; 0.445; 0.453; 0.455; 0.457; 0.451; 0.447; 0.458; 0.456; 0.448; 0.458; 0.456; 0.456; 0.446; 0.456; 0.442; 0.457; 0.444; 0.448; 0.449; 0.453; 0.452; 0.45; 0.452; 0.445; 0.457; 0.452; 0.451; 0.447; 0.453; 0.455.	0,452	29,1

Продолжение таблицы Г.1

9.	40	80	90	100	350	0.457; 0.454; 0.454; 0.461; 0.461; 0.459; 0.457; 0.46; 0.457; 0.458; 0.462; 0.455; 0.461; 0.46; 0.463; 0.46; 0.459; 0.461; 0.46; 0.46; 0.456; 0.462; 0.455; 0.459; 0.457; 0.459; 0.46; 0.456; 0.459; 0.461; 0.462; 0.457; 0.457; 0.46; 0.462; 0.458; 0.462; 0.46; 0.463; 0.455; 0.455; 0.461; 0.459; 0.459; 0.461; 0.455; 0.461; 0.458; 0.456; 0.46; 0.46; 0.461; 0.46; 0.458; 0.462; 0.461; 0.459; 0.46; 0.455; 0.46.	0,459	31,1
10.	40	80	50	70	350	0.362; 0.356; 0.357; 0.364; 0.36; 0.36; 0.363; 0.362; 0.36; 0.362; 0.364; 0.356; 0.359; 0.36; 0.365; 0.355; 0.356; 0.362; 0.356; 0.363; 0.364; 0.358; 0.364; 0.356; 0.36; 0.364; 0.362; 0.363; 0.36; 0.36; 0.361; 0.357; 0.364; 0.36; 0.364; 0.363; 0.363; 0.359; 0.36; 0.365; 0.358; 0.363; 0.364; 0.361; 0.357; 0.364; 0.362; 0.361; 0.363; 0.362; 0.361; 0.365; 0.361; 0.358; 0.364; 0.357; 0.359; 0.365; 0.363; 0.363.	0,361	3,1
11.	40	30	50	70	150	0.241; 0.244; 0.232; 0.252; 0.25; 0.247; 0.235; 0.242; 0.236; 0.253; 0.228; 0.234; 0.253; 0.246; 0.247; 0.233; 0.251; 0.244; 0.248; 0.231; 0.248; 0.238; 0.234; 0.231; 0.235; 0.251; 0.242; 0.226; 0.247; 0.245; 0.228; 0.233; 0.251; 0.247; 0.245; 0.25; 0.235; 0.243; 0.233; 0.241; 0.245; 0.253; 0.223; 0.236; 0.235; 0.225; 0.236; 0.235; 0.226; 0.245; 0.226; 0.244; 0.225; 0.242; 0.244; 0.244; 0.223; 0.249; 0.243; 0.251.	0,240	60,0
12.	40	130	50	70	150	0.143; 0.138; 0.142; 0.13; 0.141; 0.141; 0.14; 0.128; 0.141; 0.137; 0.125; 0.129; 0.138; 0.125; 0.138; 0.123; 0.125; 0.136; 0.133; 0.125; 0.125; 0.127; 0.13; 0.128; 0.124; 0.141; 0.139; 0.139; 0.123; 0.136; 0.137; 0.142; 0.138; 0.129; 0.137; 0.137; 0.123; 0.129; 0.128; 0.127; 0.13; 0.136; 0.13; 0.131; 0.129; 0.144; 0.126; 0.135; 0.142; 0.144; 0.129; 0.13; 0.14; 0.129; 0.139; 0.125; 0.142; 0.123; 0.135; 0.124.	0,133	- 11,3
13.	40	30	50	70	550	0.615; 0.612; 0.614; 0.613; 0.615; 0.613; 0.616; 0.614; 0.612; 0.618; 0.615; 0.612; 0.614; 0.618; 0.613; 0.614; 0.617; 0.616; 0.614; 0.615; 0.611; 0.616; 0.612; 0.614; 0.615; 0.611; 0.613; 0.614; 0.614; 0.618; 0.612; 0.615; 0.613; 0.612; 0.617; 0.615; 0.615; 0.613; 0.615; 0.613; 0.613; 0.614; 0.612; 0.612; 0.617; 0.611; 0.615; 0.617; 0.617; 0.615; 0.611; 0.612; 0.612; 0.611; 0.614; 0.617; 0.612; 0.615; 0.614; 0.611.	0,614	11,6
14.	40	130	50	70	550	0.516; 0.513; 0.519; 0.511; 0.516; 0.514; 0.517; 0.515; 0.516; 0.516; 0.516; 0.512; 0.514; 0.513; 0.519; 0.514; 0.515; 0.511; 0.515; 0.518; 0.519; 0.514; 0.518; 0.518; 0.517; 0.513; 0.518; 0.516; 0.518; 0.514; 0.517; 0.519; 0.515; 0.518; 0.511; 0.518; 0.518; 0.516; 0.513; 0.517; 0.514; 0.517; 0.517; 0.518; 0.519; 0.515; 0.517; 0.518; 0.516; 0.517; 0.517; 0.516; 0.518; 0.513; 0.514; 0.516; 0.518; 0.517; 0.519; 0.517.	0,516	- 6,2
15.	30	80	10	70	350	0.334; 0.33; 0.329; 0.335; 0.329; 0.336; 0.335; 0.335; 0.336; 0.333; 0.336; 0.332; 0.33; 0.334; 0.332; 0.337; 0.329; 0.332; 0.335; 0.33; 0.332; 0.329; 0.328; 0.333; 0.336; 0.334; 0.333; 0.329; 0.335; 0.336; 0.336; 0.334; 0.336; 0.335; 0.335; 0.335; 0.33; 0.329; 0.33; 0.336; 0.336; 0.335; 0.331; 0.333; 0.332; 0.329; 0.331; 0.333; 0.334; 0.328; 0.334; 0.337; 0.335; 0.33; 0.335; 0.329; 0.337; 0.332; 0.332; 0.337.	0,333	- 4,9
16.	50	80	10	70	350	0.394; 0.392; 0.393; 0.396; 0.402; 0.407; 0.401; 0.398; 0.392; 0.393; 0.398; 0.391; 0.399; 0.393; 0.393; 0.399; 0.398; 0.405; 0.392; 0.391; 0.397; 0.402; 0.406; 0.393; 0.393; 0.398; 0.396; 0.394; 0.397; 0.402; 0.397; 0.397; 0.395; 0.403; 0.4; 0.397; 0.401; 0.404; 0.399; 0.407; 0.392; 0.403; 0.4; 0.392; 0.391; 0.394; 0.406; 0.405; 0.395; 0.404; 0.399; 0.395; 0.403; 0.392; 0.4; 0.406; 0.401; 0.399; 0.402; 0.396.	0,398	13,7
17.	30	80	90	70	350	0.35; 0.361; 0.349; 0.353; 0.357; 0.358; 0.363; 0.358; 0.36; 0.353; 0.354; 0.359; 0.358; 0.352; 0.36; 0.362; 0.353; 0.36; 0.358; 0.358; 0.364; 0.351; 0.359; 0.355; 0.357; 0.355; 0.358; 0.358; 0.351; 0.364; 0.361; 0.363; 0.361; 0.359; 0.355; 0.354; 0.364; 0.359; 0.35; 0.357; 0.349; 0.363; 0.359; 0.364; 0.364; 0.355; 0.355; 0.365; 0.36; 0.357; 0.357; 0.358; 0.356; 0.364; 0.363; 0.362; 0.353; 0.356; 0.364; 0.365.	0,358	2,3
18.	50	80	90	70	350	0.473; 0.474; 0.476; 0.478; 0.477; 0.475; 0.479; 0.479; 0.479; 0.473; 0.478; 0.478; 0.479; 0.475; 0.474; 0.478; 0.48; 0.478; 0.477; 0.474; 0.473; 0.479; 0.475; 0.475; 0.477; 0.478; 0.478; 0.472; 0.472; 0.477; 0.472; 0.473; 0.478; 0.475; 0.475; 0.48; 0.475; 0.474; 0.473; 0.473; 0.473; 0.478; 0.472; 0.475; 0.479; 0.474; 0.476; 0.478; 0.472; 0.472; 0.473; 0.479;	0,476	36,0

Продолжение таблицы Г.1

						0.475; 0.477; 0.476; 0.48; 0.478; 0.479; 0.479; 0.477.		
19.	40	80	50	70	350	0.37; 0.365; 0.371; 0.362; 0.37; 0.36; 0.371; 0.368; 0.368; 0.361; 0.363; 0.371; 0.363; 0.371; 0.367; 0.362; 0.369; 0.365; 0.36; 0.363; 0.366; 0.366; 0.37; 0.361; 0.367; 0.37; 0.366; 0.366; 0.364; 0.361; 0.368; 0.369; 0.363; 0.362; 0.365; 0.371; 0.368; 0.372; 0.371; 0.365; 0.363; 0.366; 0.369; 0.361; 0.369; 0.363; 0.366; 0.369; 0.364; 0.365; 0.364; 0.365; 0.36; 0.363; 0.37; 0.37; 0.364; 0.363; 0.368; 0.367.	0,366	4,6
20.	40	80	50	40	150	0.181; 0.19; 0.188; 0.195; 0.192; 0.185; 0.188; 0.203; 0.202; 0.192; 0.189; 0.186; 0.183; 0.198; 0.181; 0.183; 0.188; 0.186; 0.187; 0.184; 0.196; 0.182; 0.183; 0.187; 0.19; 0.189; 0.182; 0.185; 0.205; 0.189; 0.184; 0.198; 0.189; 0.189; 0.191; 0.19; 0.188; 0.183; 0.203; 0.182; 0.189; 0.199; 0.182; 0.196; 0.184; 0.189; 0.189; 0.201; 0.185; 0.182; 0.189; 0.184; 0.188; 0.182; 0.184; 0.194; 0.197; 0.188; 0.182; 0.19.	0,189	26,0
21.	40	80	50	100	150	0.247; 0.237; 0.24; 0.244; 0.243; 0.241; 0.245; 0.247; 0.245; 0.247; 0.245; 0.24; 0.244; 0.241; 0.246; 0.244; 0.243; 0.244; 0.237; 0.244; 0.241; 0.242; 0.246; 0.243; 0.238; 0.247; 0.236; 0.238; 0.237; 0.246; 0.239; 0.24; 0.24; 0.241; 0.236; 0.241; 0.238; 0.236; 0.24; 0.237; 0.236; 0.236; 0.243; 0.239; 0.245; 0.245; 0.241; 0.244; 0.241; 0.247; 0.245; 0.237; 0.242; 0.247; 0.247; 0.242; 0.242; 0.247; 0.241; 0.247	0,242	61,3
22.	40	80	50	40	550	0.519; 0.518; 0.516; 0.517; 0.514; 0.516; 0.522; 0.512; 0.52; 0.512; 0.513; 0.52; 0.514; 0.515; 0.519; 0.513; 0.523; 0.512; 0.517; 0.511; 0.515; 0.516; 0.52; 0.513; 0.519; 0.52; 0.514; 0.516; 0.514; 0.523; 0.513; 0.516; 0.512; 0.515; 0.513; 0.514; 0.512; 0.514; 0.515; 0.512; 0.513; 0.52; 0.519; 0.521; 0.511; 0.518; 0.511; 0.513; 0.512; 0.513; 0.518; 0.511; 0.516; 0.516; 0.522; 0.522; 0.512; 0.523; 0.522; 0.518	0,516	6,2
23.	40	80	50	100	550	0.662; 0.666; 0.661; 0.664; 0.665; 0.661; 0.66; 0.672; 0.666; 0.661; 0.663; 0.669; 0.669; 0.67; 0.668; 0.663; 0.671; 0.666; 0.662; 0.664; 0.661; 0.662; 0.659; 0.668; 0.67; 0.669; 0.664; 0.66; 0.672; 0.667; 0.663; 0.66; 0.66; 0.663; 0.662; 0.673; 0.661; 0.662; 0.667; 0.666; 0.664; 0.663; 0.662; 0.661; 0.668; 0.662; 0.663; 0.67; 0.671; 0.67; 0.665; 0.664; 0.66; 0.66; 0.665; 0.668; 0.669; 0.67; 0.669; 0.664	0,665	20,9
24.	40	30	10	70	350	0.42; 0.426; 0.427; 0.431; 0.43; 0.43; 0.427; 0.431; 0.424; 0.428; 0.42; 0.428; 0.427; 0.428; 0.431; 0.422; 0.421; 0.43; 0.422; 0.425; 0.43; 0.43; 0.426; 0.427; 0.431; 0.42; 0.43; 0.425; 0.421; 0.43; 0.424; 0.429; 0.431; 0.424; 0.424; 0.425; 0.429; 0.423; 0.428; 0.429; 0.424; 0.419; 0.429; 0.431; 0.421; 0.431; 0.428; 0.425; 0.42; 0.43; 0.428; 0.42; 0.423; 0.423; 0.43; 0.422; 0.42; 0.425; 0.427; 0.42	0,426	21,7
25.	40	130	10	70	350	0.311; 0.32; 0.307; 0.305; 0.321; 0.31; 0.322; 0.316; 0.305; 0.32; 0.306; 0.312; 0.318; 0.31; 0.304; 0.309; 0.31; 0.309; 0.316; 0.316; 0.31; 0.311; 0.306; 0.309; 0.305; 0.305; 0.316; 0.304; 0.31; 0.303; 0.316; 0.314; 0.32; 0.311; 0.318; 0.309; 0.31; 0.321; 0.308; 0.316; 0.313; 0.316; 0.308; 0.312; 0.32; 0.306; 0.309; 0.314; 0.31; 0.312; 0.312; 0.307; 0.317; 0.314; 0.321; 0.314; 0.316; 0.31; 0.303; 0.317	0,312	- 10,9
26.	40	30	90	70	350	0.488; 0.485; 0.49; 0.483; 0.488; 0.486; 0.49; 0.484; 0.487; 0.488; 0.487; 0.482; 0.486; 0.482; 0.483; 0.483; 0.483; 0.489; 0.485; 0.489; 0.486; 0.484; 0.486; 0.488; 0.489; 0.487; 0.488; 0.489; 0.488; 0.487; 0.488; 0.489; 0.488; 0.488; 0.49; 0.488; 0.483; 0.485; 0.483; 0.489; 0.485; 0.488; 0.487; 0.49; 0.489; 0.488; 0.483; 0.485; 0.488; 0.491; 0.483; 0.49; 0.489; 0.49; 0.491; 0.49; 0.486; 0.489; 0.489; 0.488	0,487	39,1
27.	40	130	90	70	350	0.382; 0.383; 0.397; 0.386; 0.387; 0.385; 0.398; 0.39; 0.392; 0.386; 0.397; 0.398; 0.398; 0.398; 0.397; 0.398; 0.384; 0.394; 0.398; 0.39; 0.394; 0.388; 0.387; 0.389; 0.397; 0.393; 0.397; 0.384; 0.396; 0.388; 0.384; 0.388; 0.386; 0.386; 0.398; 0.383; 0.395; 0.392; 0.395; 0.39; 0.386; 0.386; 0.392; 0.382; 0.384; 0.39; 0.398; 0.384; 0.391; 0.387; 0.382; 0.384; 0.395; 0.386; 0.39; 0.392; 0.391; 0.386; 0.383; 0.383	0,390	11,4
28.	40	80	50	70	350	0.363; 0.371; 0.367; 0.369; 0.366; 0.36; 0.368; 0.361; 0.368; 0.368; 0.36; 0.372; 0.37; 0.368; 0.362; 0.362; 0.362; 0.366; 0.371; 0.365; 0.363; 0.366; 0.363; 0.361; 0.368; 0.36;	0,365	4,3

Продолжение таблицы Г.1

						0.36; 0.371; 0.369; 0.365; 0.363; 0.368; 0.368; 0.366; 0.364; 0.361; 0.362; 0.371; 0.362; 0.363; 0.364; 0.363; 0.367; 0.367; 0.365; 0.365; 0.366; 0.364; 0.361; 0.361; 0.368; 0.371; 0.365; 0.362; 0.366; 0.362; 0.36; 0.368; 0.36; 0.362		
29.	30	80	50	40	350	0.3; 0.299; 0.304; 0.306; 0.295; 0.305; 0.303; 0.295; 0.297; 0.306; 0.297; 0.302; 0.299; 0.302; 0.296; 0.294; 0.305; 0.296; 0.294; 0.3; 0.303; 0.295; 0.306; 0.298; 0.301; 0.296; 0.297; 0.304; 0.307; 0.304; 0.297; 0.295; 0.303; 0.297; 0.301; 0.305; 0.307; 0.297; 0.302; 0.297; 0.299; 0.297; 0.306; 0.293; 0.303; 0.307; 0.301; 0.302; 0.295; 0.299; 0.302; 0.296; 0.303; 0.293; 0.298; 0.297; 0.294; 0.304; 0.298; 0.306	0,300	- 14,3
30.	50	80	50	40	350	0.374; 0.382; 0.379; 0.385; 0.381; 0.375; 0.376; 0.377; 0.385; 0.38; 0.382; 0.375; 0.376; 0.387; 0.38; 0.386; 0.383; 0.374; 0.379; 0.386; 0.385; 0.384; 0.383; 0.38; 0.385; 0.38; 0.374; 0.381; 0.383; 0.377; 0.381; 0.382; 0.383; 0.376; 0.374; 0.375; 0.374; 0.375; 0.382; 0.379; 0.379; 0.374; 0.378; 0.376; 0.383; 0.384; 0.38; 0.38; 0.376; 0.385; 0.377; 0.378; 0.38; 0.382; 0.387; 0.376; 0.377; 0.386; 0.382; 0.385	0,380	8,6
31.	30	80	50	100	350	0.377; 0.379; 0.38; 0.372; 0.368; 0.368; 0.369; 0.379; 0.377; 0.373; 0.379; 0.37; 0.378; 0.372; 0.379; 0.373; 0.374; 0.381; 0.377; 0.379; 0.368; 0.382; 0.37; 0.381; 0.378; 0.381; 0.378; 0.382; 0.377; 0.381; 0.38; 0.37; 0.375; 0.372; 0.381; 0.377; 0.381; 0.376; 0.368; 0.38; 0.377; 0.38; 0.375; 0.376; 0.373; 0.377; 0.373; 0.38; 0.37; 0.375; 0.38; 0.369; 0.371; 0.371; 0.375; 0.382; 0.382; 0.382; 0.38; 0.	0,376	7,4
32.	50	80	50	100	350	0.506; 0.512; 0.502; 0.51; 0.513; 0.512; 0.509; 0.509; 0.511; 0.504; 0.511; 0.509; 0.512; 0.509; 0.506; 0.506; 0.512; 0.505; 0.515; 0.515; 0.505; 0.512; 0.516; 0.502; 0.504; 0.506; 0.513; 0.503; 0.505; 0.502; 0.512; 0.512; 0.517; 0.516; 0.512; 0.509; 0.505; 0.507; 0.516; 0.502; 0.512; 0.51; 0.504; 0.503; 0.507; 0.503; 0.508; 0.512; 0.514; 0.502; 0.507; 0.507; 0.513; 0.512; 0.509; 0.516; 0.512; 0.509; 0.507; 0.509	0,509	45,4
33.	40	80	10	70	150	0.154; 0.151; 0.158; 0.15; 0.155; 0.154; 0.151; 0.155; 0.159; 0.16; 0.149; 0.159; 0.152; 0.147; 0.157; 0.148; 0.153; 0.161; 0.149; 0.163; 0.161; 0.158; 0.161; 0.154; 0.161; 0.164; 0.152; 0.154; 0.147; 0.15; 0.148; 0.149; 0.151; 0.151; 0.161; 0.148; 0.159; 0.149; 0.147; 0.15; 0.147; 0.153; 0.158; 0.158; 0.148; 0.161; 0.151; 0.15; 0.159; 0.151; 0.148; 0.16; 0.152; 0.15; 0.155; 0.153; 0.15; 0.161; 0.151; 0.164	0,154	- 2,7
34.	40	80	90	70	150	0.245; 0.248; 0.241; 0.241; 0.244; 0.242; 0.242; 0.239; 0.239; 0.239; 0.248; 0.241; 0.246; 0.249; 0.247; 0.242; 0.241; 0.246; 0.245; 0.243; 0.248; 0.246; 0.248; 0.243; 0.236; 0.248; 0.249; 0.247; 0.241; 0.245; 0.24; 0.238; 0.236; 0.248; 0.246; 0.25; 0.251; 0.236; 0.249; 0.241; 0.238; 0.241; 0.239; 0.25; 0.237; 0.247; 0.242; 0.238; 0.238; 0.241; 0.241; 0.242; 0.243; 0.237; 0.239; 0.24; 0.243; 0.243; 0.236; 0.251	0,243	62,0
35.	40	80	10	70	550	0.557; 0.555; 0.563; 0.564; 0.568; 0.558; 0.562; 0.562; 0.557; 0.556; 0.567; 0.566; 0.557; 0.566; 0.564; 0.563; 0.563; 0.562; 0.559; 0.56; 0.556; 0.562; 0.563; 0.559; 0.564; 0.552; 0.567; 0.56; 0.553; 0.56; 0.563; 0.562; 0.559; 0.555; 0.563; 0.56; 0.564; 0.557; 0.554; 0.554; 0.558; 0.558; 0.56; 0.554; 0.556; 0.556; 0.566; 0.564; 0.562; 0.553; 0.555; 0.566; 0.567; 0.555; 0.564; 0.553; 0.555; 0.566; 0.559; 0.557	0,560	1,8
36.	40	80	90	70	550	0.623; 0.614; 0.626; 0.619; 0.625; 0.619; 0.617; 0.623; 0.617; 0.612; 0.619; 0.623; 0.615; 0.615; 0.619; 0.622; 0.621; 0.621; 0.62; 0.612; 0.623; 0.624; 0.627; 0.618; 0.623; 0.613; 0.618; 0.617; 0.618; 0.622; 0.622; 0.618; 0.627; 0.622; 0.625; 0.62; 0.623; 0.624; 0.623; 0.625; 0.614; 0.626; 0.615; 0.626; 0.615; 0.621; 0.615; 0.613; 0.622; 0.622; 0.62; 0.618; 0.622; 0.616; 0.62; 0.626; 0.623; 0.616; 0.616; 0.62	0,620	12,7
37.	40	80	50	70	350	0.379; 0.369; 0.379; 0.373; 0.376; 0.37; 0.373; 0.374; 0.381; 0.374; 0.376; 0.368; 0.379; 0.373; 0.376; 0.375; 0.378; 0.369; 0.369; 0.373; 0.369; 0.368; 0.371; 0.38; 0.375; 0.371; 0.375; 0.376; 0.378; 0.379; 0.375; 0.374; 0.377; 0.373; 0.373; 0.372; 0.376; 0.376; 0.371; 0.378; 0.376; 0.378; 0.373; 0.372; 0.376; 0.37; 0.368; 0.369; 0.372; 0.371; 0.369; 0.369; 0.381; 0.373; 0.377; 0.379; 0.375; 0.374; 0.373; 0.374	0,374	6,9

Продолжение таблицы Г.1

38.	30	80	50	70	150	0.147; 0.143; 0.139; 0.138; 0.151; 0.147; 0.144; 0.149; 0.146; 0.146; 0.145; 0.149; 0.149; 0.149; 0.148; 0.145; 0.145; 0.138; 0.148; 0.144; 0.149; 0.15; 0.15; 0.14; 0.137; 0.151; 0.151; 0.146; 0.15; 0.147; 0.15; 0.147; 0.15; 0.145; 0.137; 0.147; 0.14; 0.148; 0.147; 0.138; 0.143; 0.15; 0.149; 0.15; 0.147; 0.144; 0.144; 0.15; 0.149; 0.148; 0.145; 0.147; 0.148; 0.144; 0.138; 0.145; 0.15; 0.148; 0.143; 0.148	0,146	2,7
39.	50	80	50	70	150	0.208; 0.202; 0.206; 0.208; 0.204; 0.205; 0.204; 0.208; 0.201; 0.206; 0.213; 0.209; 0.209; 0.201; 0.207; 0.208; 0.212; 0.209; 0.204; 0.209; 0.204; 0.203; 0.209; 0.209; 0.203; 0.204; 0.211; 0.205; 0.207; 0.212; 0.212; 0.201; 0.201; 0.207; 0.214; 0.203; 0.211; 0.215; 0.205; 0.202; 0.209; 0.2; 0.201; 0.206; 0.214; 0.201; 0.203; 0.205; 0.202; 0.209; 0.206; 0.202; 0.202; 0.205; 0.205; 0.203; 0.206; 0.206; 0.203; 0.201	0,206	37,3
40.	30	80	50	70	550	0.54; 0.542; 0.533; 0.541; 0.541; 0.535; 0.536; 0.535; 0.535; 0.539; 0.541; 0.536; 0.543; 0.537; 0.535; 0.534; 0.537; 0.535; 0.541; 0.539; 0.54; 0.543; 0.54; 0.536; 0.539; 0.54; 0.534; 0.539; 0.538; 0.541; 0.542; 0.539; 0.536; 0.537; 0.537; 0.54; 0.536; 0.534; 0.536; 0.539; 0.535; 0.535; 0.542; 0.539; 0.537; 0.535; 0.542; 0.54; 0.539; 0.535; 0.538; 0.542; 0.536; 0.537; 0.537; 0.541; 0.538; 0.537; 0.539; 0.535	0,538	- 2,2
41.	50	80	50	70	550	0.569; 0.567; 0.557; 0.567; 0.568; 0.565; 0.565; 0.557; 0.567; 0.557; 0.559; 0.563; 0.567; 0.565; 0.565; 0.568; 0.57; 0.556; 0.559; 0.566; 0.562; 0.557; 0.569; 0.566; 0.566; 0.559; 0.563; 0.56; 0.56; 0.567; 0.56; 0.567; 0.565; 0.558; 0.559; 0.563; 0.558; 0.566; 0.558; 0.561; 0.56; 0.563; 0.561; 0.563; 0.564; 0.56; 0.562; 0.556; 0.567; 0.566; 0.566; 0.564; 0.562; 0.568; 0.568; 0.558; 0.556; 0.567; 0.563; 0.565	0,563	2,4
42.	40	30	50	40	350	0.377; 0.37; 0.367; 0.374; 0.374; 0.368; 0.375; 0.365; 0.371; 0.368; 0.365; 0.37; 0.365; 0.373; 0.373; 0.376; 0.372; 0.367; 0.377; 0.378; 0.366; 0.366; 0.369; 0.374; 0.377; 0.376; 0.37; 0.376; 0.377; 0.369; 0.373; 0.366; 0.368; 0.372; 0.373; 0.373; 0.364; 0.365; 0.365; 0.364; 0.373; 0.368; 0.376; 0.372; 0.366; 0.37; 0.372; 0.369; 0.374; 0.376; 0.372; 0.365; 0.365; 0.367; 0.375; 0.374; 0.37; 0.377; 0.377; 0.374	0,371	6,0
43.	40	130	50	40	350	0.311; 0.3; 0.308; 0.304; 0.311; 0.3; 0.304; 0.31; 0.31; 0.306; 0.305; 0.302; 0.307; 0.305; 0.299; 0.309; 0.302; 0.302; 0.31; 0.308; 0.308; 0.306; 0.307; 0.31; 0.3; 0.306; 0.3; 0.306; 0.307; 0.307; 0.307; 0.31; 0.309; 0.306; 0.303; 0.303; 0.303; 0.311; 0.298; 0.304; 0.307; 0.304; 0.307; 0.301; 0.306; 0.31; 0.302; 0.308; 0.311; 0.304; 0.31; 0.311; 0.301; 0.307; 0.308; 0.312; 0.311; 0.298; 0.312; 0.306	0,306	- 12,6
44.	40	30	50	100	350	0.506; 0.5; 0.516; 0.5; 0.5; 0.502; 0.513; 0.51; 0.499; 0.504; 0.514; 0.511; 0.494; 0.523; 0.507; 0.519; 0.509; 0.493; 0.514; 0.5; 0.509; 0.493; 0.494; 0.521; 0.494; 0.506; 0.501; 0.508; 0.511; 0.51; 0.495; 0.505; 0.5; 0.505; 0.493; 0.508; 0.492; 0.508; 0.497; 0.506; 0.493; 0.502; 0.495; 0.523; 0.5; 0.498; 0.492; 0.498; 0.514; 0.518; 0.496; 0.515; 0.5; 0.506; 0.507; 0.495; 0.517; 0.514; 0.512; 0.515	0,505	44,3
45.	40	130	50	100	350	0.409; 0.397; 0.408; 0.399; 0.403; 0.416; 0.403; 0.406; 0.403; 0.398; 0.4; 0.399; 0.403; 0.403; 0.398; 0.405; 0.402; 0.415; 0.398; 0.414; 0.411; 0.409; 0.397; 0.407; 0.408; 0.397; 0.396; 0.412; 0.399; 0.401; 0.408; 0.41; 0.398; 0.407; 0.397; 0.404; 0.407; 0.404; 0.396; 0.406; 0.398; 0.41; 0.397; 0.407; 0.401; 0.397; 0.412; 0.409; 0.414; 0.408; 0.406; 0.397; 0.399; 0.405; 0.398; 0.404; 0.408; 0.414; 0.399; 0.404	0,404	15,4
46.	40	80	50,0	70	350	0.377; 0.378; 0.37; 0.369; 0.367; 0.378; 0.379; 0.378; 0.37; 0.375; 0.371; 0.367; 0.379; 0.37; 0.37; 0.375; 0.37; 0.373; 0.375; 0.371; 0.375; 0.374; 0.377; 0.369; 0.372; 0.372; 0.368; 0.366; 0.372; 0.378; 0.371; 0.37; 0.367; 0.374; 0.376; 0.378; 0.369; 0.377; 0.369; 0.379; 0.374; 0.374; 0.37; 0.372; 0.379; 0.376; 0.371; 0.376; 0.374; 0.367; 0.375; 0.377; 0.368; 0.376; 0.376; 0.371; 0.366; 0.378; 0.372; 0.373	0,373	6,6

Приложение Д

(справочное)

Данные по оценке адекватности и значимости факторов модели (4.6)

Analysis of Variance for Var_1

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:Factor_A	2206,65	1	2206,65	57,93	0,0000
B:Factor_B	4153,8	1	4153,8	109,05	0,0000
C:Factor_C	1973,58	1	1973,58	51,81	0,0000
D:Factor_D	3419,33	1	3419,33	89,76	0,0000
E:Factor_E	2512,52	1	2512,52	65,96	0,0000
AE	313,29	1	313,29	8,22	0,0071
BE	715,563	1	715,563	18,78	0,0001
CC	643,91	1	643,91	16,90	0,0002
CD	294,122	1	294,122	7,72	0,0089
CE	585,64	1	585,64	15,37	0,0004
DD	852,647	1	852,647	22,38	0,0000
EE	766,221	1	766,221	20,11	0,0001
Total error	1257,04	33	38,0922		
Total (corr.)	19107,5	45			

R-squared = 93,4212 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 91,0289 percent

Standard Error of Est. = 6,17189

Mean absolute error = 4,26673

Durbin-Watson statistic = 2,46803 (P=0,9433)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,237439

Regression coeffs. for Var_1

Coefficient	Estimate
constant	3,73571
A:Factor_A	11,7438
B:Factor_B	-16,1125
C:Factor_C	11,1063
D:Factor_D	14,6188
E:Factor_E	-12,5313
AE	-8,85
BE	13,375
CC	8,07202
CD	-8,575
CE	-12,1
DD	9,28869
EE	8,80536

Приложение Е

(справочное)

Таблица Е.1 – Результаты исследования влияния массы навески на точность дозирования при $n_1 = 39,9$ Гц, $t = 49,0\%$; $n_2 = 66,1\%$ от n_1 (26,4 Гц), $m = 83,5$ г

Задаваемая масса навески, кг	Полученная масса навески зерна в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,100	0.095; 0.091; 0.096; 0.092; 0.097; 0.108; 0.103; 0.096; 0.091; 0.095; 0.089; 0.103; 0.1; 0.093; 0.094; 0.094; 0.102; 0.104; 0.096; 0.094; 0.096; 0.09; 0.09; 0.095; 0.104; 0.099; 0.092; 0.096; 0.093; 0.102; 0.09; 0.104; 0.094; 0.091; 0.089; 0.093; 0.09; 0.092; 0.09; 0.091; 0.091; 0.101; 0.095; 0.091; 0.102; 0.103; 0.093; 0.091; 0.09; 0.1; 0.103; 0.104; 0.096; 0.107; 0.09; 0.099; 0.09; 0.1; 0.102; 0.098.	0,96	4,0
0,150	0.189; 0.176; 0.172; 0.175; 0.179; 0.185; 0.174; 0.186; 0.172; 0.189; 0.177; 0.179; 0.177; 0.178; 0.175; 0.173; 0.189; 0.182; 0.188; 0.178; 0.174; 0.179; 0.173; 0.18; 0.174; 0.174; 0.176; 0.175; 0.175; 0.18; 0.179; 0.18; 0.184; 0.186; 0.173; 0.186; 0.177; 0.174; 0.173; 0.18; 0.186; 0.187; 0.187; 0.187; 0.19; 0.182; 0.182; 0.177; 0.177; 0.186; 0.174; 0.188; 0.188; 0.184; 0.18; 0.186; 0.177; 0.189; 0.176; 0.172.	0,180	20,0
0,160	0.186; 0.191; 0.184; 0.18; 0.183; 0.184; 0.19; 0.189; 0.19; 0.196; 0.181; 0.181; 0.182; 0.193; 0.19; 0.18; 0.194; 0.194; 0.179; 0.182; 0.183; 0.187; 0.189; 0.185; 0.182; 0.184; 0.184; 0.182; 0.197; 0.181; 0.179; 0.185; 0.191; 0.194; 0.185; 0.184; 0.184; 0.182; 0.195; 0.185; 0.184; 0.179; 0.194; 0.19; 0.178; 0.18; 0.181; 0.179; 0.179; 0.185; 0.195; 0.183; 0.185; 0.188; 0.191; 0.19; 0.186; 0.193; 0.181; 0.192.	0,186	16,3
0,200	0.211; 0.212; 0.211; 0.208; 0.202; 0.209; 0.211; 0.211; 0.21; 0.201; 0.208; 0.205; 0.2; 0.212; 0.213; 0.209; 0.211; 0.204; 0.21; 0.202; 0.202; 0.205; 0.212; 0.207; 0.204; 0.213; 0.201; 0.201; 0.211; 0.205; 0.208; 0.212; 0.201; 0.213; 0.207; 0.202; 0.209; 0.211; 0.206; 0.206; 0.211; 0.2; 0.202; 0.2; 0.206; 0.211; 0.211; 0.201; 0.205; 0.21; 0.208; 0.207; 0.213; 0.206; 0.207; 0.212; 0.202; 0.202; 0.206; 0.204.	0,207	3,5
0,250	0.245; 0.24; 0.239; 0.252; 0.239; 0.252; 0.242; 0.251; 0.243; 0.248; 0.246; 0.241; 0.251; 0.244; 0.247; 0.254; 0.246; 0.248; 0.25; 0.246; 0.248; 0.246; 0.252; 0.248; 0.243; 0.249; 0.238; 0.247; 0.249; 0.241; 0.242; 0.25; 0.249; 0.24; 0.241; 0.244; 0.243; 0.248; 0.244; 0.251; 0.247; 0.242; 0.252; 0.244; 0.239; 0.25; 0.25; 0.238; 0.251; 0.246; 0.245; 0.242; 0.246; 0.253; 0.25; 0.253; 0.247; 0.239; 0.247; 0.242.	0,246	1,6
0,300	0.299; 0.31; 0.31; 0.309; 0.299; 0.31; 0.308; 0.305; 0.31; 0.302; 0.299; 0.3; 0.305; 0.305; 0.298; 0.31; 0.302; 0.308; 0.299; 0.301; 0.302; 0.305; 0.307; 0.308; 0.306; 0.298; 0.308; 0.301; 0.304; 0.304; 0.309; 0.304; 0.3; 0.306; 0.301; 0.308; 0.302; 0.304; 0.3; 0.297; 0.298; 0.302; 0.297; 0.298; 0.306; 0.308; 0.305; 0.302; 0.301; 0.304; 0.307; 0.309; 0.3; 0.31; 0.3; 0.302; 0.308; 0.307; 0.303; 0.31.	0,304	1,3
0,400	0.405; 0.411; 0.411; 0.407; 0.404; 0.4; 0.406; 0.401; 0.41; 0.41; 0.403; 0.4; 0.399; 0.405; 0.405; 0.406; 0.408; 0.399; 0.41; 0.405; 0.411; 0.402; 0.404; 0.4; 0.404; 0.41; 0.404; 0.408; 0.406; 0.41; 0.405; 0.404; 0.4; 0.403; 0.406; 0.407; 0.4; 0.405; 0.401; 0.402; 0.41; 0.41; 0.404; 0.4; 0.401; 0.408; 0.404; 0.41; 0.403; 0.402; 0.408; 0.403; 0.4; 0.402; 0.403; 0.409; 0.404; 0.408; 0.41; 0.404.	0,405	1,3
0,500	0.499; 0.501; 0.501; 0.503; 0.504; 0.506; 0.504; 0.496; 0.501; 0.496; 0.496; 0.497; 0.497; 0.51; 0.513; 0.509; 0.504; 0.5; 0.499; 0.51; 0.501; 0.497; 0.506; 0.501; 0.502; 0.499; 0.51; 0.503; 0.509; 0.505; 0.505; 0.508; 0.51; 0.5; 0.497; 0.511; 0.499; 0.503; 0.503; 0.499; 0.497; 0.496; 0.501; 0.5; 0.508; 0.504; 0.497; 0.498; 0.501; 0.501; 0.506; 0.499; 0.497; 0.498; 0.51; 0.496; 0.496; 0.501; 0.498; 0.502.	0,502	0,4
0,600	0.598; 0.595; 0.6; 0.611; 0.603; 0.6; 0.596; 0.605; 0.603; 0.6; 0.609; 0.602; 0.598; 0.612; 0.597; 0.605; 0.595; 0.597; 0.605; 0.602; 0.598; 0.609; 0.604; 0.595; 0.596; 0.612; 0.612; 0.599; 0.596; 0.604; 0.597; 0.596; 0.595; 0.607; 0.599; 0.61; 0.613; 0.598; 0.606; 0.607; 0.602; 0.595; 0.607; 0.6; 0.599; 0.596; 0.606; 0.598; 0.603; 0.594; 0.597; 0.612; 0.608; 0.608; 0.594; 0.602; 0.598; 0.602; 0.609; 0.604.	0,602	0,3
0,700	0.702; 0.698; 0.696; 0.7; 0.695; 0.707; 0.698; 0.698; 0.696; 0.708; 0.706; 0.698; 0.702; 0.709; 0.697; 0.694; 0.694; 0.706; 0.697; 0.706; 0.695; 0.7; 0.697; 0.7; 0.695; 0.707; 0.701; 0.703; 0.695; 0.697; 0.694; 0.696; 0.692; 0.699; 0.703; 0.706; 0.694; 0.703; 0.7; 0.695; 0.698; 0.695; 0.697; 0.699; 0.692; 0.701; 0.704; 0.698; 0.702; 0.708; 0.706; 0.705; 0.706; 0.706; 0.693; 0.707; 0.697; 0.706; 0.702; 0.699.	0,700	0,0
0,800	0.793; 0.802; 0.795; 0.802; 0.805; 0.8; 0.809; 0.804; 0.803; 0.795; 0.804; 0.802; 0.801; 0.799; 0.798; 0.797; 0.799; 0.806; 0.809; 0.794; 0.8; 0.802; 0.809; 0.804; 0.798; 0.808; 0.795; 0.794; 0.806; 0.806; 0.808; 0.802; 0.797; 0.793; 0.796; 0.808; 0.81; 0.797; 0.806;	0,801	0,1

Продолжение таблицы Е.1

	0.805; 0.807; 0.797; 0.807; 0.796; 0.807; 0.806; 0.799; 0.795; 0.809; 0.793; 0.8; 0.795; 0.807; 0.796; 0.793; 0.795; 0.802; 0.794; 0.808; 0.793.		
0,900	0.906; 0.904; 0.896; 0.895; 0.897; 0.902; 0.907; 0.904; 0.897; 0.896; 0.894; 0.902; 0.9; 0.901; 0.904; 0.903; 0.904; 0.903; 0.9; 0.901; 0.894; 0.903; 0.904; 0.894; 0.895; 0.907; 0.892; 0.897; 0.891; 0.898; 0.901; 0.906; 0.892; 0.902; 0.894; 0.907; 0.904; 0.891; 0.893; 0.905; 0.891; 0.906; 0.896; 0.893; 0.894; 0.902; 0.891; 0.899; 0.9; 0.896; 0.902; 0.904; 0.902; 0.896; 0.896; 0.897; 0.892; 0.898; 0.895; 0.904.	0,899	0,1
1,0	0.996; 0.993; 0.992; 1.005; 1.002; 0.991; 0.993; 0.999; 1.002; 0.992; 0.999; 1.004; 0.999; 0.994; 1.001; 1.003; 0.999; 1.003; 1.005; 0.992; 0.992; 1.003; 0.996; 1.004; 1.004; 1.0; 0.995; 1.001; 0.992; 0.993; 0.997; 1.001; 0.994; 1.002; 0.998; 1.0; 1.0; 1.0; 0.996; 0.999; 0.991; 1.0; 0.996; 0.999; 1.001; 0.997; 1.001; 0.997; 1.001; 0.996; 0.992; 1.0; 0.992; 0.993; 0.992; 1.002; 1.002; 0.997; 1.005; 0.995.	0,998	0,2
Задаваемая масса навески, кг	Полученная масса навески мела в кг. (количество контрольных замеров 60 ед.).	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,100	0.057; 0.066; 0.065; 0.062; 0.066; 0.063; 0.059; 0.053; 0.059; 0.067; 0.065; 0.058; 0.062; 0.063; 0.067; 0.055; 0.066; 0.064; 0.067; 0.053; 0.067; 0.06; 0.062; 0.067; 0.057; 0.061; 0.061; 0.065; 0.055; 0.067; 0.065; 0.058; 0.061; 0.065; 0.06; 0.064; 0.056; 0.066; 0.066; 0.061; 0.058; 0.059; 0.059; 0.055; 0.062; 0.066; 0.055; 0.065; 0.065; 0.067; 0.059; 0.062; 0.067; 0.06; 0.057; 0.067; 0.06; 0.064; 0.065; 0.067.	0,62	38,0
0,150	0.096; 0.099; 0.101; 0.104; 0.098; 0.098; 0.102; 0.097; 0.101; 0.105; 0.101; 0.101; 0.102; 0.097; 0.098; 0.1; 0.102; 0.105; 0.1; 0.103; 0.099; 0.105; 0.098; 0.105; 0.098; 0.103; 0.099; 0.104; 0.102; 0.1; 0.096; 0.1; 0.096; 0.104; 0.101; 0.106; 0.103; 0.102; 0.104; 0.106; 0.106; 0.097; 0.102; 0.098; 0.097; 0.105; 0.099; 0.1; 0.103; 0.102; 0.102; 0.097; 0.102; 0.101; 0.098; 0.102; 0.107; 0.097; 0.1; 0.104.	0,101	32,7
0,200	0.142; 0.128; 0.129; 0.126; 0.134; 0.131; 0.138; 0.126; 0.138; 0.13; 0.134; 0.142; 0.124; 0.14; 0.127; 0.125; 0.126; 0.123; 0.131; 0.131; 0.132; 0.123; 0.135; 0.123; 0.124; 0.134; 0.135; 0.133; 0.138; 0.128; 0.123; 0.126; 0.124; 0.126; 0.14; 0.137; 0.14; 0.141; 0.134; 0.129; 0.131; 0.127; 0.122; 0.134; 0.123; 0.125; 0.123; 0.125; 0.123; 0.141; 0.135; 0.134; 0.127; 0.135; 0.138; 0.125; 0.142; 0.14; 0.126; 0.134..	0,131	34,5
0,250	0.198; 0.187; 0.198; 0.192; 0.189; 0.185; 0.19; 0.193; 0.189; 0.185; 0.186; 0.196; 0.198; 0.192; 0.192; 0.195; 0.186; 0.197; 0.186; 0.193; 0.189; 0.185; 0.196; 0.186; 0.187; 0.188; 0.191; 0.188; 0.189; 0.186; 0.187; 0.186; 0.188; 0.2; 0.187; 0.198; 0.187; 0.199; 0.194; 0.198; 0.187; 0.185; 0.186; 0.186; 0.197; 0.19; 0.195; 0.2; 0.188; 0.195; 0.198; 0.19; 0.201; 0.187; 0.188; 0.19; 0.198; 0.19; 0.186; 0.187.	0,191	23,6
0,300	0.23; 0.246; 0.229; 0.244; 0.23; 0.231; 0.236; 0.232; 0.229; 0.232; 0.24; 0.239; 0.237; 0.231; 0.23; 0.235; 0.229; 0.245; 0.243; 0.231; 0.232; 0.24; 0.242; 0.237; 0.243; 0.229; 0.232; 0.233; 0.231; 0.24; 0.233; 0.231; 0.242; 0.231; 0.231; 0.239; 0.231; 0.232; 0.23; 0.237; 0.233; 0.234; 0.236; 0.23; 0.237; 0.229; 0.243; 0.229; 0.232; 0.234; 0.238; 0.238; 0.23; 0.234; 0.244; 0.238; 0.236; 0.235; 0.233; 0.242.	0,235	21,7
0,360	0.296; 0.307; 0.305; 0.307; 0.292; 0.298; 0.29; 0.308; 0.296; 0.291; 0.294; 0.293; 0.295; 0.292; 0.295; 0.29; 0.293; 0.291; 0.299; 0.294; 0.295; 0.292; 0.291; 0.292; 0.302; 0.308; 0.291; 0.295; 0.291; 0.295; 0.291; 0.304; 0.291; 0.31; 0.295; 0.294; 0.299; 0.295; 0.306; 0.298; 0.297; 0.3; 0.297; 0.293; 0.302; 0.307; 0.293; 0.295; 0.291; 0.302; 0.299; 0.303; 0.292; 0.305; 0.291; 0.296; 0.302; 0.295; 0.308; 0.291.	0,297	17,5
0,400	0.333; 0.337; 0.34; 0.337; 0.344; 0.346; 0.35; 0.333; 0.346; 0.339; 0.339; 0.342; 0.349; 0.334; 0.343; 0.347; 0.337; 0.338; 0.333; 0.336; 0.341; 0.347; 0.349; 0.336; 0.342; 0.333; 0.343; 0.344; 0.342; 0.331; 0.336; 0.335; 0.344; 0.345; 0.334; 0.35; 0.342; 0.341; 0.337; 0.341; 0.336; 0.35; 0.342; 0.332; 0.338; 0.343; 0.35; 0.331; 0.335; 0.341; 0.339; 0.338; 0.342; 0.331; 0.348; 0.331; 0.343; 0.338; 0.342; 0.334.	0,340	15,0
0,450	0.39; 0.396; 0.397; 0.379; 0.392; 0.393; 0.391; 0.387; 0.395; 0.392; 0.385; 0.392; 0.379; 0.391; 0.396; 0.379; 0.391; 0.399; 0.379; 0.383; 0.399; 0.379; 0.394; 0.392; 0.385; 0.382; 0.381; 0.385; 0.392; 0.379; 0.395; 0.38; 0.38; 0.381; 0.393; 0.38; 0.381; 0.38; 0.388; 0.379; 0.387; 0.386; 0.379; 0.379; 0.392; 0.382; 0.389; 0.386; 0.387; 0.381; 0.38; 0.391; 0.391; 0.392; 0.389; 0.387; 0.392; 0.387; 0.39; 0.382.	0,387	14,0
0,500	0.442; 0.44; 0.434; 0.441; 0.432; 0.441; 0.438; 0.445; 0.435; 0.434; 0.443; 0.444; 0.431; 0.442; 0.444; 0.438; 0.443; 0.432; 0.444; 0.441; 0.43; 0.445; 0.441; 0.44; 0.44; 0.429; 0.43; 0.431; 0.441; 0.429; 0.437; 0.437; 0.429; 0.429; 0.433; 0.433; 0.434; 0.435; 0.444; 0.442; 0.444; 0.443; 0.442; 0.434; 0.429; 0.43; 0.429; 0.437; 0.432; 0.43; 0.435; 0.434; 0.439; 0.444; 0.444; 0.434; 0.438; 0.441; 0.435; 0.433.	0,437	12,6
0,550	0.492; 0.482; 0.479; 0.487; 0.495; 0.48; 0.497; 0.491; 0.481; 0.481; 0.494; 0.497; 0.481; 0.482; 0.487; 0.48; 0.487; 0.494; 0.487; 0.494; 0.488; 0.484; 0.481; 0.491; 0.484; 0.482; 0.482; 0.498; 0.498; 0.48; 0.496; 0.493; 0.497; 0.486; 0.497; 0.497; 0.48; 0.484; 0.485;	0,487	11,5

Продолжение таблицы Е.1

	0.486; 0.488; 0.483; 0.483; 0.48; 0.497; 0.484; 0.485; 0.482; 0.497; 0.481; 0.48; 0.49; 0.481; 0.483; 0.479; 0.483; 0.492; 0.493; 0.481; 0.481.		
0,600	0.542; 0.546; 0.548; 0.544; 0.547; 0.54; 0.555; 0.559; 0.556; 0.541; 0.551; 0.539; 0.548; 0.557; 0.556; 0.539; 0.543; 0.54; 0.541; 0.543; 0.541; 0.558; 0.552; 0.55; 0.542; 0.546; 0.548; 0.556; 0.54; 0.556; 0.54; 0.547; 0.557; 0.549; 0.553; 0.548; 0.54; 0.551; 0.554; 0.542; 0.541; 0.559; 0.55; 0.543; 0.548; 0.558; 0.548; 0.559; 0.545; 0.539; 0.545; 0.551; 0.541; 0.543; 0.552; 0.559; 0.543; 0.56; 0.539; 0.552.	0,548	8,7
0,700	0.647; 0.646; 0.645; 0.639; 0.647; 0.637; 0.637; 0.642; 0.639; 0.636; 0.642; 0.639; 0.64; 0.644; 0.64; 0.637; 0.637; 0.636; 0.64; 0.637; 0.636; 0.643; 0.638; 0.647; 0.637; 0.639; 0.64; 0.645; 0.636; 0.639; 0.646; 0.637; 0.642; 0.642; 0.637; 0.639; 0.641; 0.64; 0.646; 0.642; 0.649; 0.641; 0.637; 0.649; 0.638; 0.646; 0.649; 0.639; 0.638; 0.648; 0.646; 0.647; 0.636; 0.64; 0.638; 0.64; 0.636; 0.644; 0.638; 0.642.	0,641	8,4
0,800	0.735; 0.743; 0.734; 0.737; 0.739; 0.735; 0.733; 0.73; 0.733; 0.733; 0.731; 0.734; 0.74; 0.74; 0.731; 0.737; 0.74; 0.739; 0.74; 0.74; 0.738; 0.735; 0.731; 0.728; 0.738; 0.744; 0.733; 0.728; 0.728; 0.729; 0.739; 0.742; 0.728; 0.734; 0.735; 0.731; 0.74; 0.735; 0.735; 0.742; 0.736; 0.733; 0.736; 0.739; 0.727; 0.734; 0.734; 0.74; 0.741; 0.735; 0.733; 0.736; 0.732; 0.727; 0.742; 0.731; 0.729; 0.728; 0.728; 0.742.	0,735	8,1
0,900	0.828; 0.84; 0.832; 0.828; 0.835; 0.832; 0.843; 0.844; 0.835; 0.835; 0.837; 0.83; 0.844; 0.84; 0.83; 0.841; 0.83; 0.828; 0.829; 0.842; 0.843; 0.828; 0.831; 0.838; 0.837; 0.828; 0.835; 0.837; 0.832; 0.835; 0.832; 0.834; 0.836; 0.835; 0.834; 0.827; 0.831; 0.839; 0.831; 0.84; 0.837; 0.834; 0.838; 0.841; 0.832; 0.841; 0.827; 0.831; 0.841; 0.834; 0.828; 0.833; 0.834; 0.833; 0.837; 0.843; 0.828; 0.841; 0.838; 0.843.	0,835	7,2
1,0	0.931; 0.935; 0.927; 0.92; 0.921; 0.931; 0.931; 0.934; 0.921; 0.93; 0.927; 0.929; 0.93; 0.929; 0.93; 0.927; 0.935; 0.929; 0.931; 0.93; 0.927; 0.927; 0.933; 0.929; 0.935; 0.921; 0.931; 0.921; 0.935; 0.927; 0.931; 0.932; 0.936; 0.922; 0.926; 0.934; 0.936; 0.935; 0.931; 0.932; 0.93; 0.932; 0.927; 0.922; 0.931; 0.931; 0.927; 0.935; 0.934; 0.923; 0.928; 0.922; 0.934; 0.932; 0.924; 0.922; 0.932; 0.923; 0.924; 0.928.	0,929	7,1
Задаваемая масса навески, кг	Полученная масса навески соли в кг. (количество контрольных замеров 60 ед.).	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,360	0.374; 0.361; 0.377; 0.363; 0.368; 0.375; 0.372; 0.369; 0.374; 0.369; 0.362; 0.364; 0.376; 0.367; 0.361; 0.363; 0.362; 0.373; 0.37; 0.373; 0.374; 0.371; 0.368; 0.368; 0.369; 0.373; 0.371; 0.368; 0.372; 0.368; 0.372; 0.365; 0.369; 0.374; 0.376; 0.373; 0.369; 0.371; 0.364; 0.366; 0.362; 0.369; 0.374; 0.365; 0.367; 0.369; 0.376; 0.366; 0.373; 0.371; 0.366; 0.369; 0.37; 0.361; 0.366; 0.363; 0.376; 0.372; 0.363; 0.368.	0,369	2,5
0,400	0.415; 0.411; 0.408; 0.416; 0.416; 0.417; 0.414; 0.408; 0.399; 0.417; 0.402; 0.41; 0.399; 0.413; 0.415; 0.413; 0.403; 0.414; 0.418; 0.398; 0.41; 0.416; 0.417; 0.399; 0.412; 0.4; 0.401; 0.418; 0.403; 0.408; 0.416; 0.413; 0.4; 0.418; 0.411; 0.408; 0.418; 0.404; 0.403; 0.41; 0.408; 0.407; 0.412; 0.41; 0.401; 0.411; 0.416; 0.402; 0.404; 0.41; 0.402; 0.398; 0.406; 0.4; 0.416; 0.414; 0.412; 0.406; 0.411; 0.403.	0,409	2,3
0,450	0.455; 0.463; 0.456; 0.465; 0.452; 0.462; 0.463; 0.455; 0.459; 0.459; 0.454; 0.452; 0.459; 0.467; 0.453; 0.448; 0.451; 0.463; 0.461; 0.463; 0.463; 0.453; 0.457; 0.449; 0.451; 0.45; 0.464; 0.452; 0.461; 0.459; 0.456; 0.466; 0.464; 0.454; 0.462; 0.462; 0.453; 0.461; 0.467; 0.46; 0.456; 0.453; 0.465; 0.462; 0.465; 0.449; 0.457; 0.462; 0.461; 0.451; 0.462; 0.454; 0.467; 0.448; 0.456; 0.454; 0.465; 0.462; 0.455; 0.452.	0,458	1,8
0,500	0.51; 0.507; 0.519; 0.511; 0.518; 0.499; 0.513; 0.503; 0.513; 0.51; 0.501; 0.501; 0.507; 0.518; 0.501; 0.515; 0.511; 0.509; 0.509; 0.503; 0.518; 0.511; 0.506; 0.501; 0.503; 0.503; 0.502; 0.51; 0.504; 0.51; 0.515; 0.501; 0.512; 0.501; 0.508; 0.502; 0.502; 0.516; 0.502; 0.516; 0.513; 0.507; 0.506; 0.51; 0.509; 0.505; 0.514; 0.507; 0.504; 0.509; 0.505; 0.508; 0.499; 0.512; 0.514; 0.511; 0.501; 0.505; 0.517; 0.503.	0,508	1,6
0,550	0.562; 0.564; 0.563; 0.556; 0.553; 0.558; 0.557; 0.557; 0.559; 0.56; 0.552; 0.565; 0.555; 0.555; 0.563; 0.567; 0.551; 0.569; 0.551; 0.555; 0.555; 0.562; 0.567; 0.56; 0.559; 0.568; 0.55; 0.553; 0.568; 0.566; 0.552; 0.555; 0.561; 0.555; 0.557; 0.56; 0.554; 0.552; 0.569; 0.554; 0.553; 0.558; 0.555; 0.563; 0.556; 0.569; 0.567; 0.56; 0.564; 0.555; 0.561; 0.554; 0.57; 0.565; 0.559; 0.552; 0.555; 0.564; 0.558; 0.553.	0,559	1,6
0,600	0.609; 0.609; 0.607; 0.61; 0.606; 0.598; 0.615; 0.608; 0.615; 0.601; 0.605; 0.599; 0.609; 0.612; 0.609; 0.614; 0.607; 0.609; 0.613; 0.61; 0.603; 0.616; 0.602; 0.605; 0.612; 0.615; 0.613; 0.611; 0.603; 0.611; 0.603; 0.606; 0.609; 0.6; 0.61; 0.616; 0.604; 0.612; 0.599; 0.6; 0.603; 0.604; 0.615; 0.613; 0.611; 0.601; 0.605; 0.613; 0.602; 0.612; 0.606; 0.602; 0.608; 0.617; 0.612; 0.615; 0.612; 0.613; 0.601; 0.6.	0,608	1,3
0,700	0.7; 0.711; 0.705; 0.714; 0.715; 0.711; 0.714; 0.713; 0.716; 0.701; 0.709; 0.701; 0.716; 0.714; 0.714; 0.715; 0.715; 0.706; 0.705; 0.698; 0.706; 0.709; 0.705; 0.709; 0.717; 0.701; 0.707; 0.711; 0.713; 0.705; 0.714; 0.705; 0.704; 0.71; 0.712; 0.704; 0.707; 0.709; 0.712;	0,709	1,3

Продолжение таблицы Е.1

	0.715; 0.708; 0.716; 0.701; 0.702; 0.708; 0.7; 0.713; 0.717; 0.716; 0.699; 0.716; 0.714; 0.716; 0.717; 0.702; 0.7; 0.712; 0.705; 0.704; 0.706.		
0,800	0.819; 0.804; 0.8; 0.801; 0.796; 0.803; 0.806; 0.815; 0.801; 0.804; 0.82; 0.806; 0.802; 0.819; 0.818; 0.801; 0.808; 0.797; 0.799; 0.796; 0.799; 0.802; 0.809; 0.797; 0.798; 0.806; 0.818; 0.818; 0.81; 0.819; 0.798; 0.798; 0.813; 0.795; 0.796; 0.812; 0.795; 0.799; 0.816; 0.795; 0.808; 0.819; 0.803; 0.816; 0.804; 0.807; 0.816; 0.806; 0.813; 0.815; 0.809; 0.806; 0.81; 0.803; 0.812; 0.817; 0.805; 0.817; 0.817; 0.809	0,807	0,9
0,900	0.898; 0.905; 0.907; 0.902; 0.905; 0.9; 0.898; 0.901; 0.906; 0.898; 0.906; 0.899; 0.9; 0.902; 0.905; 0.9; 0.899; 0.904; 0.907; 0.901; 0.9; 0.903; 0.903; 0.913; 0.899; 0.898; 0.908; 0.899; 0.904; 0.913; 0.913; 0.916; 0.901; 0.9; 0.915; 0.899; 0.905; 0.9; 0.905; 0.91; 0.902; 0.903; 0.902; 0.899; 0.908; 0.915; 0.899; 0.901; 0.9; 0.903; 0.91; 0.906; 0.906; 0.912; 0.898; 0.911; 0.903; 0.9; 0.91; 0.905.	0,904	0,4
1,0	1.009; 1.0; 1.006; 1.008; 1.003; 0.997; 1.001; 1.003; 0.998; 1.007; 0.999; 1.005; 1.007; 1.01; 1.009; 0.997; 1.003; 1.01; 1.002; 0.996; 1.0; 1.007; 1.005; 0.997; 1.003; 1.005; 1.001; 1.006; 1.004; 1.008; 1.003; 1.01; 1.005; 0.999; 0.997; 1.002; 1.001; 0.996; 1.006; 0.998; 1.004; 1.009; 0.997; 1.003; 1.001; 1.004; 1.001; 1.008; 1.003; 1.005; 1.0; 1.002; 0.995; 1.008; 1.011; 1.011; 1.001; 0.997; 0.995; 1.002.	1,003	0,3

Приложение Ж

(справочное)

**Таблица Ж.1 – Результаты исследования влияния массы навески на точность дозирования при $n_1 = 39,9$ Гц,
 $t = 49,0\%$; $n_2 = 66,1\%$ от n_1 (26,4 Гц), $m = 30$ г.**

Задаваемая масса навески, гр	Полученная масса навески мела в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,360	0.375; 0.376; 0.38; 0.385; 0.385; 0.378; 0.384; 0.377; 0.376; 0.386; 0.381; 0.372; 0.378; 0.381; 0.384; 0.383; 0.381; 0.385; 0.385; 0.372; 0.383; 0.384; 0.386; 0.375; 0.38; 0.385; 0.38; 0.375; 0.375; 0.376; 0.385; 0.381; 0.385; 0.377; 0.382; 0.383; 0.377; 0.383; 0.371; 0.379; 0.38; 0.372; 0.372; 0.371; 0.384; 0.381; 0.385; 0.379; 0.382; 0.378; 0.383; 0.384; 0.382; 0.375; 0.382; 0.382; 0.382; 0.372; 0.383; 0.373.	0,3802	5,6
0,400	0.421; 0.425; 0.419; 0.422; 0.423; 0.425; 0.415; 0.414; 0.422; 0.422; 0.417; 0.417; 0.419; 0.421; 0.415; 0.425; 0.425; 0.416; 0.414; 0.422; 0.411; 0.425; 0.418; 0.425; 0.417; 0.413; 0.416; 0.424; 0.422; 0.416; 0.414; 0.417; 0.416; 0.422; 0.416; 0.413; 0.424; 0.427; 0.421; 0.416; 0.421; 0.418; 0.419; 0.427; 0.425; 0.415; 0.421; 0.421; 0.425; 0.424; 0.42; 0.411; 0.414; 0.413; 0.421; 0.426; 0.421; 0.423; 0.42; 0.419.	0,4196	4,9
0,500	0.53; 0.515; 0.521; 0.528; 0.53; 0.515; 0.516; 0.53; 0.528; 0.53; 0.518; 0.522; 0.516; 0.519; 0.524; 0.52; 0.518; 0.524; 0.531; 0.523; 0.529; 0.515; 0.529; 0.521; 0.514; 0.517; 0.519; 0.526; 0.528; 0.518; 0.53; 0.524; 0.529; 0.529; 0.516; 0.517; 0.518; 0.517; 0.528; 0.517; 0.515; 0.518; 0.514; 0.531; 0.528; 0.522; 0.52; 0.523; 0.518; 0.519; 0.52; 0.523; 0.514; 0.521; 0.516; 0.519; 0.531; 0.519; 0.529; 0.521	0,522	4,4
0,600	0.618; 0.618; 0.622; 0.614; 0.629; 0.624; 0.626; 0.629; 0.621; 0.622; 0.613; 0.624; 0.618; 0.61; 0.619; 0.622; 0.615; 0.617; 0.611; 0.628; 0.623; 0.62; 0.624; 0.622; 0.61; 0.621; 0.626; 0.625; 0.627; 0.629; 0.619; 0.627; 0.628; 0.624; 0.616; 0.617; 0.615; 0.613; 0.61; 0.628; 0.628; 0.622; 0.625; 0.609; 0.624; 0.624; 0.618; 0.612; 0.615; 0.625; 0.623; 0.626; 0.627; 0.618; 0.621; 0.626; 0.628; 0.627; 0.613; 0.625	0,621	3,5
0,700	0.717; 0.722; 0.718; 0.722; 0.714; 0.723; 0.724; 0.714; 0.721; 0.721; 0.72; 0.727; 0.713; 0.724; 0.724; 0.729; 0.728; 0.72; 0.726; 0.715; 0.724; 0.728; 0.721; 0.718; 0.719; 0.724; 0.721; 0.722; 0.726; 0.721; 0.715; 0.712; 0.719; 0.72; 0.722; 0.729; 0.727; 0.714; 0.718; 0.725; 0.726; 0.712; 0.721; 0.721; 0.717; 0.716; 0.729; 0.72; 0.716; 0.725; 0.718; 0.726; 0.713; 0.728; 0.727; 0.72; 0.719; 0.719; 0.712; 0.728	0,721	3
0,800	0.81; 0.814; 0.823; 0.811; 0.822; 0.813; 0.815; 0.825; 0.81; 0.824; 0.816; 0.82; 0.818; 0.812; 0.819; 0.827; 0.817; 0.824; 0.813; 0.821; 0.812; 0.814; 0.826; 0.816; 0.821; 0.814; 0.815; 0.825; 0.824; 0.817; 0.812; 0.821; 0.826; 0.818; 0.812; 0.815; 0.814; 0.823; 0.822; 0.811; 0.813; 0.812; 0.825; 0.824; 0.827; 0.812; 0.821; 0.816; 0.811; 0.824; 0.823; 0.823; 0.81; 0.824; 0.822; 0.823; 0.823; 0.824; 0.822; 0.813	0,8185	2,3
0,900	0.919; 0.914; 0.917; 0.914; 0.919; 0.927; 0.913; 0.916; 0.921; 0.928; 0.921; 0.928; 0.919; 0.915; 0.925; 0.918; 0.922; 0.924; 0.915; 0.923; 0.924; 0.917; 0.916; 0.916; 0.921; 0.918; 0.917; 0.917; 0.919; 0.918; 0.922; 0.922; 0.916; 0.914; 0.917; 0.918; 0.916; 0.916; 0.922; 0.921; 0.918; 0.914; 0.919; 0.924; 0.92; 0.926; 0.915; 0.916; 0.92; 0.915; 0.925; 0.917; 0.914; 0.913; 0.914; 0.921; 0.921; 0.917; 0.92; 0.92	0,919	2,1
1,0	1.021; 1.026; 1.021; 1.026; 1.01; 1.025; 1.014; 1.019; 1.011; 1.025; 1.007; 1.026; 1.015; 1.007; 1.016; 1.02; 1.022; 1.015; 1.022; 1.017; 1.025; 1.017; 1.02; 1.025; 1.017; 1.026; 1.024; 1.014; 1.021; 1.013; 1.024; 1.021; 1.024; 1.022; 1.025; 1.009; 1.014; 1.018; 1.027; 1.015; 1.023; 1.019; 1.021; 1.018; 1.023; 1.019; 1.022; 1.009; 1.015; 1.013; 1.018; 1.016; 1.008; 1.019; 1.02; 1.017; 1.022; 1.024; 1.022; 1.026	1,019	1,9
Задаваемая масса навески, кг	Полученная масса навески соли в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
0,400	0.465; 0.465; 0.475; 0.465; 0.464; 0.472; 0.459; 0.46; 0.459; 0.465; 0.469; 0.463; 0.459; 0.468; 0.461; 0.477; 0.464; 0.477; 0.458; 0.463; 0.464; 0.477; 0.468; 0.467; 0.461; 0.462; 0.462; 0.46; 0.467; 0.464; 0.458; 0.472; 0.466; 0.467; 0.459; 0.473; 0.46; 0.458; 0.467; 0.462; 0.477; 0.465; 0.46; 0.472; 0.468; 0.475; 0.469; 0.458; 0.477; 0.476; 0.476; 0.468; 0.472; 0.462; 0.46; 0.458; 0.466; 0.46; 0.461; 0.478	0,466	16,5
0,500	0.573; 0.577; 0.581; 0.569; 0.575; 0.572; 0.568; 0.568; 0.572; 0.576; 0.572; 0.573; 0.576; 0.566; 0.567; 0.569; 0.566; 0.584; 0.576; 0.571; 0.568; 0.571; 0.579; 0.575; 0.575; 0.575; 0.572; 0.568; 0.578; 0.574; 0.571; 0.576; 0.58; 0.577; 0.568; 0.582; 0.576; 0.567; 0.57; 0.569; 0.576; 0.568; 0.577; 0.568; 0.575; 0.575; 0.572; 0.582; 0.566; 0.568; 0.582; 0.574; 0.57; 0.582; 0.567; 0.573; 0.566; 0.569; 0.572; 0.5760.667; 0.666; 0.659; 0.661; 0.671; 0.659; 0.662; 0.665; 0.666; 0.667; 0.674; 0.665; 0.671;	0,573	14,6

Продолжение таблицы Ж.1

0,600	0.665; 0.678; 0.667; 0.666; 0.658; 0.658; 0.664; 0.666; 0.678; 0.672; 0.679; 0.659; 0.668; 0.662; 0.659; 0.661; 0.666; 0.66; 0.658; 0.668; 0.678; 0.669; 0.669; 0.669; 0.658; 0.676; 0.659; 0.658; 0.667; 0.666; 0.674; 0.669; 0.671; 0.665; 0.671; 0.673; 0.672; 0.667; 0.661; 0.675; 0.678; 0.675; 0.667; 0.677; 0.66; 0.673; 0.658	0,667	11,2
0,700	.778; 0.765; 0.776; 0.768; 0.761; 0.772; 0.768; 0.772; 0.773; 0.78; 0.765; 0.78; 0.773; 0.76; 0.767; 0.772; 0.764; 0.771; 0.766; 0.773; 0.774; 0.771; 0.775; 0.782; 0.765; 0.777; 0.767; 0.761; 0.764; 0.779; 0.774; 0.781; 0.764; 0.771; 0.779; 0.781; 0.772; 0.768; 0.769; 0.782; 0.783; 0.783; 0.769; 0.775; 0.777; 0.769; 0.772; 0.77; 0.761; 0.767; 0.765; 0.77; 0.779; 0.778; 0.78; 0.779; 0.774; 0.761; 0.778; 0.77	0,772	10,3
0,800	0.862; 0.859; 0.867; 0.86; 0.859; 0.867; 0.873; 0.866; 0.859; 0.864; 0.86; 0.864; 0.867; 0.86; 0.863; 0.86; 0.873; 0.857; 0.866; 0.872; 0.863; 0.87; 0.862; 0.87; 0.869; 0.865; 0.858; 0.867; 0.865; 0.867; 0.872; 0.87; 0.865; 0.863; 0.865; 0.868; 0.867; 0.857; 0.868; 0.859; 0.858; 0.87; 0.871; 0.868; 0.868; 0.869; 0.869; 0.865; 0.873; 0.858; 0.868; 0.859; 0.866; 0.863; 0.858; 0.87; 0.861; 0.861; 0.869; 0.868	0,865	8,1
0,900	0.966; 0.961; 0.975; 0.969; 0.961; 0.971; 0.974; 0.973; 0.961; 0.961; 0.967; 0.97; 0.971; 0.972; 0.972; 0.971; 0.963; 0.966; 0.968; 0.97; 0.969; 0.963; 0.974; 0.974; 0.973; 0.973; 0.965; 0.967; 0.968; 0.967; 0.961; 0.97; 0.971; 0.971; 0.967; 0.975; 0.964; 0.968; 0.975; 0.974; 0.963; 0.964; 0.967; 0.962; 0.964; 0.969; 0.962; 0.964; 0.973; 0.973; 0.972; 0.973; 0.968; 0.962; 0.964; 0.966; 0.961; 0.962; 0.97; 0.97	0,968	7,6
1,0	1.078; 1.062; 1.063; 1.077; 1.067; 1.068; 1.064; 1.066; 1.063; 1.06; 1.075; 1.065; 1.075; 1.066; 1.07; 1.068; 1.065; 1.079; 1.079; 1.06; 1.06; 1.072; 1.065; 1.071; 1.066; 1.063; 1.07; 1.061; 1.07; 1.067; 1.072; 1.071; 1.068; 1.065; 1.073; 1.073; 1.061; 1.078; 1.059; 1.068; 1.062; 1.062; 1.067; 1.069; 1.07; 1.077; 1.06; 1.062; 1.061; 1.064; 1.065; 1.066; 1.068; 1.059; 1.061; 1.062; 1.06; 1.064; 1.065; 1.073	1,067	6,7

Приложение 3

(справочное)

Таблица 3.1 – Результаты исследования уставки упреждения досыпки m на точность дозирования при $n_1 = 31,4$ Гц, $t = 44,6587\%$; $n_2 = 59,2\%$ от n_1 (18,6 Гц), $MZ = 384,5$ г.

Уставка упреждения досыпки m , кг	Полученная масса навески зерна в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
45	0.426; 0.426; 0.429; 0.423; 0.434; 0.424; 0.433; 0.426; 0.434; 0.434; 0.426; 0.428; 0.429; 0.435; 0.423; 0.434; 0.436; 0.435; 0.43; 0.429; 0.435; 0.427; 0.431; 0.436; 0.424; 0.427; 0.436; 0.434; 0.435; 0.427; 0.435; 0.432; 0.427; 0.433; 0.424; 0.434; 0.428; 0.43; 0.433; 0.431; 0.423; 0.43; 0.435; 0.424; 0.435; 0.43; 0.437; 0.43; 0.433; 0.431; 0.435; 0.431; 0.424; 0.423; 0.422; 0.433; 0.423; 0.429; 0.433; 0.426	0,430	11,8
35	0.382; 0.386; 0.385; 0.395; 0.39; 0.395; 0.384; 0.394; 0.385; 0.383; 0.394; 0.387; 0.388; 0.394; 0.379; 0.384; 0.393; 0.394; 0.379; 0.39; 0.379; 0.391; 0.395; 0.391; 0.395; 0.393; 0.379; 0.395; 0.39; 0.391; 0.387; 0.396; 0.384; 0.382; 0.391; 0.382; 0.395; 0.387; 0.387; 0.388; 0.396; 0.385; 0.394; 0.383; 0.378; 0.386; 0.392; 0.38; 0.384; 0.381; 0.382; 0.394; 0.386; 0.388; 0.379; 0.385; 0.396; 0.393; 0.391; 0.388	0,388	0,9
25	0.378; 0.373; 0.375; 0.39; 0.376; 0.379; 0.375; 0.372; 0.385; 0.386; 0.376; 0.375; 0.388; 0.38; 0.383; 0.373; 0.375; 0.373; 0.387; 0.374; 0.385; 0.391; 0.387; 0.383; 0.382; 0.39; 0.379; 0.375; 0.372; 0.387; 0.378; 0.386; 0.382; 0.383; 0.377; 0.376; 0.379; 0.383; 0.389; 0.378; 0.384; 0.384; 0.376; 0.389; 0.391; 0.379; 0.388; 0.391; 0.373; 0.385; 0.38; 0.387; 0.376; 0.391; 0.374; 0.38; 0.387; 0.374; 0.374; 0.382	0,381	0,9
15	0.439; 0.434; 0.438; 0.439; 0.434; 0.432; 0.433; 0.424; 0.428; 0.426; 0.423; 0.433; 0.43; 0.436; 0.427; 0.424; 0.423; 0.424; 0.432; 0.435; 0.426; 0.422; 0.428; 0.428; 0.438; 0.424; 0.43; 0.431; 0.439; 0.434; 0.424; 0.423; 0.429; 0.437; 0.431; 0.429; 0.428; 0.432; 0.429; 0.422; 0.433; 0.436; 0.428; 0.437; 0.424; 0.426; 0.437; 0.425; 0.44; 0.425; 0.433; 0.424; 0.439; 0.44; 0.431; 0.425; 0.431; 0.424; 0.422; 0.422	0,430	11,8
5	0.379; 0.388; 0.389; 0.399; 0.397; 0.391; 0.383; 0.383; 0.38; 0.395; 0.384; 0.391; 0.387; 0.384; 0.389; 0.396; 0.39; 0.386; 0.385; 0.39; 0.382; 0.392; 0.398; 0.378; 0.389; 0.389; 0.389; 0.391; 0.386; 0.385; 0.397; 0.392; 0.396; 0.397; 0.384; 0.394; 0.385; 0.387; 0.382; 0.39; 0.381; 0.379; 0.386; 0.379; 0.387; 0.38; 0.398; 0.386; 0.393; 0.389; 0.394; 0.393; 0.39; 0.386; 0.386; 0.386; 0.385; 0.38; 0.386; 0.387	0,388	0,9
Уставка упреждения досыпки m , кг	Полученная масса навески мела в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
35	0.359; 0.361; 0.359; 0.36; 0.36; 0.357; 0.361; 0.363; 0.356; 0.364; 0.358; 0.363; 0.362; 0.357; 0.364; 0.355; 0.358; 0.36; 0.359; 0.36; 0.363; 0.361; 0.362; 0.357; 0.354; 0.364; 0.363; 0.355; 0.364; 0.364; 0.363; 0.359; 0.361; 0.356; 0.363; 0.364; 0.363; 0.358; 0.363; 0.365; 0.358; 0.365; 0.362; 0.358; 0.361; 0.358; 0.361; 0.355; 0.36; 0.362; 0.363; 0.356; 0.354; 0.361; 0.358; 0.362; 0.362; 0.354; 0.357; 0.355	0,360	6,4
25	0.368; 0.363; 0.368; 0.364; 0.365; 0.368; 0.36; 0.37; 0.364; 0.361; 0.369; 0.365; 0.37; 0.36; 0.362; 0.359; 0.359; 0.365; 0.37; 0.364; 0.367; 0.365; 0.362; 0.367; 0.365; 0.369; 0.359; 0.367; 0.364; 0.365; 0.361; 0.367; 0.368; 0.367; 0.37; 0.368; 0.362; 0.367; 0.366; 0.366; 0.364; 0.367; 0.363; 0.37; 0.365; 0.363; 0.368; 0.362; 0.365; 0.364; 0.362; 0.368; 0.366; 0.362; 0.361; 0.366; 0.36; 0.364; 0.366; 0.368	0,365	5,1
15	0.366; 0.376; 0.373; 0.375; 0.377; 0.367; 0.366; 0.372; 0.375; 0.371; 0.371; 0.372; 0.37; 0.372; 0.37; 0.369; 0.373; 0.373; 0.376; 0.369; 0.37; 0.376; 0.375; 0.371; 0.37; 0.368; 0.377; 0.37; 0.369; 0.371; 0.376; 0.373; 0.373; 0.371; 0.375; 0.367; 0.371; 0.367; 0.377; 0.368; 0.372; 0.374; 0.371; 0.375; 0.377; 0.369; 0.376; 0.373; 0.376; 0.373; 0.367; 0.375; 0.375; 0.366; 0.369; 0.373; 0.377; 0.368; 0.376; 0.37	0,372	3,3
5	0.39; 0.387; 0.392; 0.387; 0.39; 0.389; 0.391; 0.393; 0.394; 0.392; 0.389; 0.385; 0.393; 0.39; 0.39; 0.387; 0.391; 0.387; 0.392; 0.394; 0.388; 0.39; 0.393; 0.388; 0.389; 0.389; 0.39; 0.385; 0.392; 0.392; 0.385; 0.389; 0.39; 0.394; 0.393; 0.39; 0.393; 0.391; 0.386; 0.391; 0.389; 0.391; 0.387; 0.394; 0.386; 0.39; 0.39; 0.386; 0.392; 0.393; 0.388; 0.39; 0.391; 0.386; 0.391; 0.389; 0.393; 0.39; 0.39; 0.393	0,390	1,4
Уставка упреждения досыпки m , кг	Полученная масса навески соли в кг. (количество контрольных замеров 60 ед.).	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %

Продолжение таблицы 3.1

45	0.389; 0.395; 0.396; 0.387; 0.394; 0.385; 0.39; 0.394; 0.391; 0.391; 0.391; 0.39; 0.392; 0.39; 0.397; 0.394; 0.397; 0.394; 0.393; 0.39; 0.394; 0.387; 0.392; 0.387; 0.396; 0.388; 0.391; 0.394; 0.39; 0.387; 0.388; 0.388; 0.388; 0.391; 0.388; 0.39; 0.39; 0.393; 0.392; 0.394; 0.392; 0.386; 0.386; 0.393; 0.39; 0.389; 0.391; 0.386; 0.393; 0.395; 0.385; 0.394; 0.394; 0.386; 0.397; 0.394; 0.386; 0.391; 0.393; 0.391	0,391	1,7
35	0.393; 0.395; 0.395; 0.402; 0.394; 0.394; 0.393; 0.4; 0.397; 0.395; 0.394; 0.392; 0.4; 0.397; 0.397; 0.399; 0.393; 0.395; 0.399; 0.398; 0.393; 0.394; 0.399; 0.399; 0.392; 0.402; 0.393; 0.394; 0.4; 0.395; 0.394; 0.394; 0.399; 0.401; 0.403; 0.403; 0.398; 0.397; 0.394; 0.397; 0.401; 0.393; 0.401; 0.396; 0.399; 0.395; 0.399; 0.4; 0.4; 0.399; 0.395; 0.392; 0.398; 0.403; 0.399; 0.398; 0.404; 0.394; 0.399; 0.392	0,397	3,3
25	0.418; 0.417; 0.416; 0.415; 0.419; 0.423; 0.414; 0.416; 0.415; 0.416; 0.42; 0.42; 0.415; 0.415; 0.42; 0.414; 0.417; 0.416; 0.415; 0.419; 0.417; 0.415; 0.42; 0.416; 0.417; 0.415; 0.422; 0.416; 0.414; 0.42; 0.416; 0.415; 0.416; 0.423; 0.42; 0.419; 0.42; 0.421; 0.419; 0.422; 0.414; 0.423; 0.414; 0.418; 0.418; 0.416; 0.414; 0.424; 0.42; 0.424; 0.423; 0.414; 0.419; 0.415; 0.418; 0.421; 0.423; 0.422; 0.416; 0.421	0,418	8,7
15	0.422; 0.425; 0.428; 0.43; 0.431; 0.43; 0.424; 0.433; 0.43; 0.426; 0.426; 0.432; 0.427; 0.424; 0.432; 0.422; 0.426; 0.426; 0.429; 0.426; 0.426; 0.433; 0.422; 0.424; 0.432; 0.433; 0.423; 0.426; 0.424; 0.422; 0.429; 0.428; 0.432; 0.424; 0.426; 0.425; 0.426; 0.428; 0.426; 0.428; 0.428; 0.427; 0.423; 0.423; 0.426; 0.425; 0.431; 0.426; 0.43; 0.424; 0.422; 0.431; 0.433; 0.427; 0.424; 0.432; 0.429; 0.422; 0.421; 0.43	0,427	11,1

Приложение И

(справочное)

Таблица И.1 – Результаты исследования влияния уставки упреждения досыпки m на точность дозирования при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), $MZ = 202,8$ г

Уставка упреждения досыпки m , кг	Полученная масса навески зерна в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса взвешиваемого вещества кг	Изменение погрешности взвешиваемого вещества %
45	0.18; 0.183; 0.171; 0.175; 0.176; 0.178; 0.186; 0.171; 0.173; 0.181; 0.185; 0.18; 0.176; 0.187; 0.177; 0.171; 0.177; 0.172; 0.176; 0.169; 0.175; 0.178; 0.176; 0.174; 0.178; 0.175; 0.169; 0.179; 0.177; 0.172; 0.179; 0.183; 0.171; 0.169; 0.169; 0.187; 0.188; 0.184; 0.175; 0.176; 0.172; 0.186; 0.181; 0.182; 0.172; 0.173; 0.18; 0.172; 0.184; 0.172; 0.186; 0.174; 0.176; 0.178; 0.176; 0.169; 0.17; 0.184; 0.176; 0.179.	0,177	12,7
35	0.195; 0.197; 0.19; 0.2; 0.185; 0.188; 0.189; 0.185; 0.189; 0.189; 0.195; 0.188; 0.188; 0.197; 0.196; 0.186; 0.194; 0.197; 0.185; 0.194; 0.19; 0.188; 0.196; 0.184; 0.198; 0.186; 0.189; 0.189; 0.197; 0.192; 0.187; 0.187; 0.199; 0.199; 0.199; 0.199; 0.188; 0.193; 0.187; 0.194; 0.187; 0.186; 0.184; 0.196; 0.195; 0.2; 0.19; 0.198; 0.198; 0.187; 0.197; 0.195; 0.186; 0.184; 0.196; 0.194; 0.199; 0.185; 0.198; 0.197.	0,192	5,3
32	0.196; 0.191; 0.2; 0.198; 0.188; 0.19; 0.201; 0.192; 0.188; 0.188; 0.186; 0.192; 0.189; 0.191; 0.19; 0.187; 0.187; 0.194; 0.188; 0.188; 0.194; 0.196; 0.193; 0.193; 0.199; 0.196; 0.195; 0.187; 0.188; 0.197; 0.201; 0.186; 0.196; 0.194; 0.199; 0.2; 0.191; 0.199; 0.194; 0.19; 0.186; 0.186; 0.188; 0.198; 0.195; 0.197; 0.199; 0.186; 0.187; 0.191; 0.187; 0.2; 0.199; 0.194; 0.2; 0.189; 0.199; 0.196; 0.2; 0.191.	0,193	4,8
25	0.201; 0.209; 0.209; 0.198; 0.205; 0.213; 0.212; 0.204; 0.198; 0.201; 0.212; 0.197; 0.211; 0.213; 0.2; 0.205; 0.21; 0.201; 0.204; 0.198; 0.21; 0.212; 0.211; 0.211; 0.209; 0.197; 0.197; 0.2; 0.212; 0.198; 0.212; 0.199; 0.204; 0.204; 0.213; 0.198; 0.208; 0.206; 0.199; 0.212; 0.2; 0.212; 0.196; 0.203; 0.2; 0.2; 0.2; 0.213; 0.212; 0.201; 0.214; 0.211; 0.203; 0.201; 0.202; 0.2; 0.213; 0.198; 0.21; 0.198.	0,205	1,1
15	0.217; 0.216; 0.219; 0.204; 0.216; 0.215; 0.208; 0.208; 0.217; 0.206; 0.221; 0.215; 0.212; 0.218; 0.221; 0.205; 0.217; 0.204; 0.217; 0.204; 0.217; 0.216; 0.203; 0.207; 0.219; 0.22; 0.221; 0.215; 0.209; 0.208; 0.204; 0.215; 0.215; 0.209; 0.209; 0.206; 0.204; 0.207; 0.221; 0.215; 0.204; 0.206; 0.21; 0.207; 0.21; 0.206; 0.21; 0.216; 0.213; 0.22; 0.213; 0.22; 0.219; 0.205; 0.209; 0.205; 0.205; 0.219; 0.219; 0.204.	0,212	4,5
5	0.208; 0.208; 0.221; 0.22; 0.216; 0.223; 0.214; 0.212; 0.221; 0.208; 0.213; 0.211; 0.214; 0.221; 0.211; 0.218; 0.223; 0.209; 0.223; 0.212; 0.214; 0.217; 0.211; 0.213; 0.213; 0.216; 0.213; 0.211; 0.215; 0.212; 0.217; 0.224; 0.216; 0.219; 0.223; 0.214; 0.208; 0.213; 0.207; 0.223; 0.218; 0.21; 0.217; 0.209; 0.21; 0.217; 0.213; 0.211; 0.219; 0.216; 0.21; 0.22; 0.223; 0.212; 0.219; 0.208; 0.214; 0.218; 0.208; 0.223.	0,215	6,0
Уставка упреждения досыпки m , гр.	Полученная масса навески мела в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
32	0.165; 0.169; 0.178; 0.17; 0.17; 0.177; 0.179; 0.173; 0.174; 0.174; 0.17; 0.172; 0.169; 0.17; 0.168; 0.175; 0.166; 0.174; 0.174; 0.178; 0.171; 0.167; 0.172; 0.177; 0.171; 0.177; 0.169; 0.171; 0.165; 0.178; 0.171; 0.176; 0.172; 0.173; 0.168; 0.176; 0.167; 0.169; 0.172; 0.169; 0.178; 0.171; 0.174; 0.173; 0.179; 0.179; 0.165; 0.17; 0.177; 0.176; 0.165; 0.167; 0.172; 0.174; 0.175; 0.165; 0.179; 0.165; 0.17; 0.17.	0,172	15,2
22	0.18; 0.19; 0.185; 0.191; 0.185; 0.188; 0.191; 0.19; 0.187; 0.183; 0.181; 0.191; 0.182; 0.181; 0.179; 0.193; 0.186; 0.191; 0.185; 0.187; 0.183; 0.189; 0.184; 0.19; 0.196; 0.186; 0.184; 0.184; 0.192; 0.192; 0.192; 0.183; 0.184; 0.189; 0.184; 0.195; 0.191; 0.188; 0.189; 0.18; 0.184; 0.181; 0.185; 0.192; 0.191; 0.195; 0.18; 0.182; 0.185; 0.19; 0.188; 0.191; 0.187; 0.181; 0.192; 0.183; 0.192; 0.186; 0.187; 0.187.	0,187	7,8
12	0.193; 0.195; 0.199; 0.195; 0.195; 0.199; 0.197; 0.198; 0.193; 0.197; 0.194; 0.199; 0.196; 0.194; 0.192; 0.192; 0.198; 0.198; 0.192; 0.199; 0.195; 0.196; 0.196; 0.194; 0.197; 0.2; 0.2; 0.198; 0.199; 0.195; 0.2; 0.193; 0.198; 0.197; 0.2; 0.193; 0.193; 0.2; 0.198; 0.2; 0.199; 0.197; 0.198; 0.197; 0.199; 0.195; 0.199; 0.194; 0.201; 0.201; 0.201; 0.199; 0.201; 0.201; 0.198; 0.2; 0.195; 0.195; 0.196; 0.195.	0,197	2,9
2	0.208; 0.212; 0.206; 0.21; 0.207; 0.207; 0.214; 0.205; 0.21; 0.208; 0.213; 0.214; 0.211; 0.214; 0.21; 0.209; 0.213; 0.214; 0.214; 0.204; 0.207; 0.214; 0.214; 0.211; 0.212; 0.206; 0.212; 0.213; 0.21; 0.213; 0.207; 0.211; 0.215; 0.205; 0.205; 0.207; 0.208; 0.208; 0.209; 0.206; 0.209; 0.214; 0.213; 0.214; 0.208; 0.208; 0.213; 0.213; 0.206; 0.208; 0.206; 0.215;	0,210	3,6

Продолжение таблицы И.1

	0.205; 0.205; 0.213; 0.213; 0.208; 0.208; 0.212; 0.213.		
Уставка упреждения досыпки m, гр.	Полученная масса навески соли в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
32	0.204; 0.206; 0.204; 0.206; 0.202; 0.201; 0.209; 0.2; 0.208; 0.206; 0.205; 0.202; 0.202; 0.202; 0.2; 0.204; 0.204; 0.2; 0.202; 0.203; 0.209; 0.201; 0.2; 0.199; 0.209; 0.199; 0.201; 0.201; 0.204; 0.208; 0.207; 0.201; 0.202; 0.208; 0.201; 0.21; 0.2; 0.2; 0.207; 0.209; 0.206; 0.206; 0.203; 0.204; 0.206; 0.204; 0.203; 0.201; 0.205; 0.2; 0.203; 0.208; 0.206; 0.209; 0.205; 0.204; 0.21; 0.203; 0.205; 0.203.	0,204	0,6
22	0.204; 0.214; 0.215; 0.208; 0.204; 0.207; 0.212; 0.204; 0.21; 0.205; 0.205; 0.208; 0.211; 0.207; 0.203; 0.208; 0.209; 0.215; 0.212; 0.206; 0.211; 0.209; 0.203; 0.212; 0.214; 0.21; 0.214; 0.205; 0.209; 0.214; 0.205; 0.207; 0.203; 0.211; 0.213; 0.204; 0.213; 0.209; 0.204; 0.208; 0.204; 0.207; 0.213; 0.213; 0.206; 0.211; 0.203; 0.205; 0.203; 0.211; 0.206; 0.213; 0.202; 0.204; 0.212; 0.206; 0.204; 0.202; 0.207; 0.203.	0,208	2,6
12	0.212; 0.22; 0.217; 0.211; 0.21; 0.214; 0.212; 0.215; 0.209; 0.22; 0.211; 0.211; 0.219; 0.216; 0.214; 0.213; 0.213; 0.218; 0.214; 0.21; 0.219; 0.211; 0.22; 0.21; 0.219; 0.217; 0.212; 0.211; 0.212; 0.216; 0.209; 0.219; 0.216; 0.214; 0.212; 0.216; 0.216; 0.217; 0.211; 0.21; 0.212; 0.209; 0.215; 0.214; 0.216; 0.215; 0.216; 0.218; 0.22; 0.212; 0.21; 0.211; 0.21; 0.21; 0.21; 0.219; 0.212; 0.219; 0.21; 0.216.	0,214	5,5
2	0.239; 0.233; 0.234; 0.241; 0.237; 0.24; 0.238; 0.233; 0.239; 0.238; 0.243; 0.242; 0.234; 0.238; 0.241; 0.235; 0.236; 0.24; 0.244; 0.238; 0.234; 0.239; 0.243; 0.233; 0.242; 0.233; 0.234; 0.235; 0.242; 0.242; 0.235; 0.237; 0.241; 0.24; 0.24; 0.241; 0.236; 0.239; 0.243; 0.233; 0.239; 0.239; 0.242; 0.237; 0.235; 0.237; 0.237; 0.242; 0.237; 0.239; 0.237; 0.239; 0.234; 0.239; 0.242; 0.234; 0.233; 0.234; 0.238; 0.241	0,238	17,4

Приложение К

(справочное)

**Таблица К.1 – Зависимость массы навески от скорости 1000 ед/мин. при
использовании шагового электропривода**

Количество шагов электродвигателя 1ед	Масса взвешиваемого вещества в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %	Изменение погрешности взвешиваемого вещества %
3	4	5	6	7
10000	0.0216; 0.0244; 0.0262; 0.0245; 0.0255; 0.024; 0.0264; 0.0276; 0.0227; 0.0232; 0.0262; 0.024; 0.0262; 0.0216; 0.0251; 0.0219; 0.021; 0.0209; 0.0213; 0.0207; 0.0226; 0.0249; 0.0279; 0.0248; 0.023; 0.0283; 0.0226; 0.0279; 0.0255; 0.0224; 0.0231; 0.0234; 0.0238; 0.0234; 0.0223; 0.0285; 0.028; 0.0212; 0.0276; 0.0266; 0.0268; 0.0242; 0.0268; 0.0227; 0.0276; 0.0226; 0.021; 0.023; 0.0211; 0.0259; 0.0229; 0.0234; 0.0265; 0.0278; 0.0258; 0.0257; 0.0259; 0.0251; 0.0224; 0.024	0,0244	16,8	+ 16,8 - 15,16
20000	0.052; 0.0527; 0.0469; 0.0492; 0.0468; 0.0419; 0.0467; 0.0472; 0.0465; 0.0457; 0.0465; 0.0466; 0.051; 0.0489; 0.0492; 0.0467; 0.0522; 0.0469; 0.0443; 0.0531; 0.0465; 0.0461; 0.0459; 0.053; 0.0465; 0.0462; 0.0496; 0.0497; 0.0528; 0.0494; 0.0504; 0.0503; 0.0527; 0.0458; 0.0511; 0.0493; 0.045; 0.0531; 0.053; 0.0431; 0.0454; 0.0534; 0.0477; 0.0462; 0.0531; 0.0427; 0.0454; 0.0505; 0.0465; 0.0532; 0.0525; 0.0496; 0.0454; 0.0477; 0.0425; 0.049; 0.0528; 0.0472; 0.0507; 0.042	0,04838	13,39	+ 10,33 - 13,39
30000	0.0627; 0.0724; 0.0771; 0.0748; 0.0697; 0.0693; 0.0662; 0.075; 0.0675; 0.0692; 0.0801; 0.0714; 0.0734; 0.0651; 0.0663; 0.0787; 0.0716; 0.0732; 0.0649; 0.0656; 0.0684; 0.0656; 0.0743; 0.0643; 0.076; 0.0646; 0.0752; 0.0774; 0.0748; 0.0648; 0.07; 0.0663; 0.071; 0.0669; 0.0685; 0.0789; 0.061; 0.0651; 0.0797; 0.0627; 0.0706; 0.0641; 0.07; 0.0764; 0.0781; 0.0718; 0.0619; 0.0659; 0.0697; 0.0643; 0.0638; 0.0632; 0.0654; 0.061; 0.0786; 0.0668; 0.0612; 0.0648; 0.0659; 0.0648	0,06932	15,6	+ 15,6 - 12,0
40000	0.0884; 0.09; 0.088; 0.0911; 0.0878; 0.0929; 0.0889; 0.0931; 0.0875; 0.0896; 0.0943; 0.0886; 0.0916; 0.0887; 0.0907; 0.0912; 0.0898; 0.094; 0.0919; 0.086; 0.0916; 0.0883; 0.0906; 0.0935; 0.0915; 0.0917; 0.0917; 0.088; 0.0863; 0.0859; 0.0863; 0.0871; 0.091; 0.0913; 0.0937; 0.0878; 0.0924; 0.0874; 0.0865; 0.088; 0.0868; 0.0924; 0.0905; 0.0892; 0.0941; 0.0897; 0.09; 0.0881; 0.0924; 0.09; 0.087; 0.0903; 0.0883; 0.0886; 0.0932; 0.0875; 0.0893; 0.089; 0.0899; 0.087	0,08984	4,96	+ 4,96 - 4,38
50000	0.1175; 0.1201; 0.1202; 0.1131; 0.1176; 0.1179; 0.1174; 0.1197; 0.1133; 0.1093; 0.1115; 0.1121; 0.1116; 0.1188; 0.1138; 0.1099; 0.111; 0.1097; 0.12; 0.1158; 0.1181; 0.1152; 0.1108; 0.1127; 0.1163; 0.1175; 0.1121; 0.1145; 0.1121; 0.1186; 0.116; 0.1196; 0.1142; 0.1179; 0.1154; 0.1156; 0.1183; 0.1186; 0.1125; 0.1099; 0.1128; 0.1139; 0.1144; 0.1112; 0.1126; 0.11; 0.1172; 0.1133; 0.1111; 0.1179; 0.1147; 0.1173; 0.1145; 0.1124; 0.1105; 0.113; 0.1123; 0.1102; 0.1137; 0.1168	0,11456	4,92	+ 4,92 - 4,59
60000	0.1404; 0.1371; 0.1407; 0.1377; 0.1381; 0.1394; 0.138; 0.1405; 0.1381; 0.139; 0.1377; 0.1379; 0.1398; 0.1427; 0.1388; 0.143; 0.1402; 0.1398; 0.1421; 0.1429; 0.1418; 0.1425; 0.1392; 0.139; 0.1417; 0.1431; 0.1417; 0.1382; 0.1426; 0.1384; 0.1387; 0.1391; 0.1396; 0.1393; 0.1382; 0.1394; 0.1415; 0.1381; 0.1394; 0.139; 0.1377; 0.1392; 0.1398; 0.1399; 0.1396; 0.1413; 0.1415; 0.1401; 0.1408; 0.1415; 0.1395; 0.1404; 0.1373; 0.1411; 0.1396; 0.1423; 0.1411; 0.1412; 0.1396; 0.1421	0,140	2,2	+ 2,2 - 2,07
70000	0.1678; 0.1693; 0.1692; 0.1631; 0.169; 0.1684; 0.1687; 0.1616; 0.1637; 0.1656; 0.1678; 0.1611; 0.1617; 0.1672; 0.1679; 0.1689; 0.1674; 0.1667; 0.1647; 0.1645; 0.1654; 0.167; 0.1679; 0.1663; 0.1689; 0.1679; 0.1641; 0.166; 0.1607; 0.167; 0.1614; 0.1684; 0.1682; 0.1665; 0.1607; 0.1672; 0.1684; 0.1681; 0.1672; 0.1651; 0.1651; 0.1632; 0.1663; 0.1685; 0.1661; 0.1669; 0.1692; 0.164; 0.1638; 0.1692; 0.1633; 0.1637; 0.1669; 0.1681; 0.1663; 0.1647; 0.1631; 0.1652; 0.1673; 0.1624	0,16598	3,18	+ 2,0 - 3,18
80000	0.196; 0.1962; 0.1936; 0.191; 0.192; 0.1924; 0.1951; 0.1931; 0.194; 0.1919; 0.1911; 0.1968; 0.1949; 0.1941; 0.1909; 0.192; 0.1967; 0.1918; 0.1938; 0.1937; 0.1937; 0.1954; 0.1932; 0.1941; 0.192; 0.1947; 0.1929; 0.1918; 0.1963; 0.1923; 0.1953; 0.1947; 0.1953; 0.1958; 0.1907; 0.1969; 0.1919; 0.1924; 0.1911; 0.1914; 0.1933; 0.196; 0.1922; 0.194; 0.1918; 0.1927; 0.1952; 0.196; 0.1927; 0.1919; 0.1944; 0.1967; 0.1929; 0.1963; 0.1947; 0.1938; 0.1956; 0.1909; 0.1949; 0.193	0,19368	1,66	+ 1,66 - 1,53
90000	0.2133; 0.2217; 0.2217; 0.2133; 0.2216; 0.2214; 0.2215; 0.2217; 0.2213; 0.2155; 0.2143; 0.2216; 0.2137; 0.2154; 0.2134; 0.2213; 0.2140; 0.2171; 0.2141; 0.2151; 0.2133; 0.2141; 0.2190; 0.2133; 0.2152; 0.2161; 0.2140; 0.2133; 0.2142; 0.2181; 0.2189; 0.2133; 0.2157; 0.2156; 0.2163; 0.2191; 0.2133; 0.2191; 0.2142; 0.2172; 0.2210; 0.2142; 0.2142; 0.2170;	0,21582	2,72	+ 2,72 - 1,16

Продолжение таблицы К.1

	0.2151; 0.2151; 0.2163; 0.2195; 0.2133; 0.2171; 0.2182; 0.2142; 0.2140; 0.2217; 0.2141; 0.221-; 0.2141; 0.2210; 0.2156; 0.2147.			
100000	0.245; 0.2395; 0.2447; 0.2429; 0.2488; 0.241; 0.2429; 0.2468; 0.2439; 0.249; 0.2476; 0.2474; 0.2446; 0.2382; 0.2381; 0.2384; 0.2473; 0.243; 0.244; 0.2403; 0.2437; 0.2376; 0.249; 0.2422; 0.2431; 0.2467; 0.24; 0.2401; 0.2476; 0.2421; 0.2462; 0.2423; 0.2451; 0.2383; 0.2451; 0.2411; 0.2402; 0.2406; 0.2399; 0.238; 0.2434; 0.2439; 0.247; 0.2422; 0.2389; 0.2434; 0.2375; 0.2376; 0.2418; 0.2445; 0.2391; 0.2436; 0.2456; 0.2387; 0.2474; 0.2452; 0.2487; 0.2381; 0.2447; 0.2464	0,24298	2,47	+ 2,47 - 2,25

Приложение Л

(справочное)

**Таблица Л.1 – Зависимость массы навески от скорости 3000 ед/мин. при
использовании шагового электропривода**

Количество шагов электродвигателя 1ед.	Масса взвешиваемого вещества в кг (количество контрольных замеров 60 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %	Изменение погрешности взвешиваемого вещества %
10000	0.0192; 0.0176; 0.0194; 0.0181; 0.0181; 0.0203; 0.0202; 0.0189; 0.0199; 0.0191; 0.0179; 0.0181; 0.0208; 0.0203; 0.0201; 0.0184; 0.0192; 0.0196; 0.0195; 0.0185; 0.0178; 0.0181; 0.0213; 0.0208; 0.0197; 0.0203; 0.0197; 0.0202; 0.0204; 0.0184; 0.0182; 0.02; 0.0202; 0.0184; 0.0192; 0.0187; 0.0197; 0.0189; 0.0207; 0.0178; 0.02; 0.0174; 0.021; 0.0205; 0.021; 0.0203; 0.0195; 0.0199; 0.0199; 0.0199; 0.0196; 0.019; 0.0213; 0.0191; 0.0185; 0.0202; 0.0196; 0.0174; 0.0172; 0.021	0,01944	11,52	+ 9,56 - 11,52
20000	0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0372; 0.0375; 0.0393; 0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.372; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0393; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0375; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0393; 0.0371; 0.0461; 0.0372; 0.0375; 0.0393; 0.0371; 0.0372; 0.0375; 0.0393.	0,03945	16,85	+ 16,85 - 6,
30000	0.0609; 0.065; 0.0682; 0.0572; 0.0591; 0.0656; 0.0604; 0.0592; 0.073; 0.0663; 0.0623; 0.0624; 0.0612; 0.0595; 0.0635; 0.0715; 0.073; 0.0624; 0.0666; 0.0711; 0.0574; 0.0634; 0.0653; 0.0577; 0.0601; 0.0579; 0.0592; 0.0666; 0.0617; 0.0686; 0.0626; 0.0573; 0.0632; 0.0669; 0.059; 0.0659; 0.064; 0.0606; 0.0618; 0.067; 0.0604; 0.068; 0.0629; 0.0573; 0.064; 0.0679; 0.0667; 0.0697; 0.064; 0.0635; 0.0581; 0.0608; 0.0687; 0.0583; 0.0726; 0.061; 0.0645; 0.0603; 0.0699; 0.0628	0,0636	14,7	+ 14,7 - 10,06
40000	0.0843; 0.0876; 0.0868; 0.0856; 0.0846; 0.0876; 0.0915; 0.084; 0.088; 0.0846; 0.0903; 0.0916; 0.0899; 0.0859; 0.0876; 0.088; 0.0887; 0.0846; 0.0867; 0.0914; 0.0918; 0.0885; 0.0843; 0.0843; 0.0895; 0.0916; 0.0865; 0.0845; 0.0852; 0.0847; 0.0913; 0.0864; 0.085; 0.0863; 0.0907; 0.084; 0.0902; 0.0876; 0.0869; 0.0861; 0.0909; 0.0845; 0.0916; 0.0894; 0.0852; 0.0842; 0.0851; 0.0873; 0.0906; 0.0875; 0.0895; 0.0865; 0.0864; 0.091; 0.0912; 0.0839; 0.0841; 0.0847; 0.0886; 0.0871	0,08742	5,0	+ 5,0 - 4,02
50000	0.1096; 0.1109; 0.1123; 0.1146; 0.1169; 0.118; 0.1133; 0.1131; 0.1124; 0.1083; 0.1173; 0.1148; 0.1084; 0.1138; 0.1171; 0.1146; 0.1123; 0.1174; 0.1155; 0.1153; 0.1144; 0.1164; 0.1119; 0.1128; 0.1115; 0.1128; 0.11; 0.11; 0.1111; 0.1133; 0.111; 0.1102; 0.1177; 0.1178; 0.1127; 0.1132; 0.1107; 0.1114; 0.1128; 0.1091; 0.1084; 0.1082; 0.1091; 0.1119; 0.111; 0.1089; 0.1171; 0.1123; 0.116; 0.1097; 0.1107; 0.1151; 0.1093; 0.1087; 0.1087; 0.117; 0.1122; 0.1113; 0.1133; 0.1164	0,11274	4,66	+ 4,66 - 4,02
60000	0.1373; 0.1394; 0.1405; 0.1368; 0.1388; 0.1385; 0.1394; 0.1416; 0.1391; 0.1402; 0.1387; 0.14; 0.1422; 0.1408; 0.1388; 0.1385; 0.138; 0.1393; 0.1374; 0.1378; 0.139; 0.1425; 0.1417; 0.1386; 0.1389; 0.1392; 0.1371; 0.1379; 0.1377; 0.1367; 0.1374; 0.1424; 0.1376; 0.1425; 0.1405; 0.1374; 0.1375; 0.1367; 0.1372; 0.1424; 0.1399; 0.1401; 0.1399; 0.137; 0.1368; 0.1383; 0.1388; 0.1379; 0.1407; 0.1426; 0.1373; 0.14; 0.1372; 0.1395; 0.1389; 0.1393; 0.141; 0.139; 0.1412; 0.1426.	0,13922	2,42	+ 2,42 - 1,81
70000	0.1658; 0.1635; 0.1662; 0.1663; 0.1616; 0.1678; 0.1622; 0.1678; 0.1642; 0.1686; 0.1671; 0.1625; 0.1671; 0.1615; 0.168; 0.167; 0.1647; 0.1633; 0.1631; 0.1633; 0.1626; 0.1613; 0.1624; 0.1653; 0.169; 0.1681; 0.1688; 0.1643; 0.1651; 0.1611; 0.1643; 0.1679; 0.1698; 0.1676; 0.1697; 0.1622; 0.1673; 0.1648; 0.1671; 0.1657; 0.1691; 0.1656; 0.1687; 0.1702; 0.1676; 0.169; 0.1695; 0.167; 0.1629; 0.1693; 0.1667; 0.1651; 0.1678; 0.1665; 0.1681; 0.1672; 0.1661; 0.1687; 0.1623; 0.1606	0,16592	3,2	+ 2,57 - 3,2

Продолжение таблицы Л.1

80000	0.1943; 0.1949; 0.1932; 0.1905; 0.1935; 0.1969; 0.1908; 0.1906; 0.1907; 0.1968; 0.1929; 0.1911; 0.1961; 0.1926; 0.1937; 0.1925; 0.1929; 0.1947; 0.1907; 0.1964; 0.1917; 0.1916; 0.1911; 0.1934; 0.1913; 0.1912; 0.1905; 0.1914; 0.1945; 0.1967; 0.1961; 0.1956; 0.1918; 0.1926; 0.1969; 0.1919; 0.1917; 0.191; 0.1908; 0.1944; 0.193; 0.1921; 0.1938; 0.1917; 0.1904; 0.1928; 0.1939; 0.192; 0.1916; 0.191; 0.1936; 0.1935; 0.1903; 0.1918; 0.1909; 0.1907; 0.1957; 0.1929; 0.1954; 0.1949	0,19292	2,06	+ 2,06 - 1,35
90000	0.2118; 0.2145; 0.2173; 0.2141; 0.2188; 0.212; 0.2174; 0.2117; 0.2164; 0.2138; 0.22; 0.2134; 0.2137; 0.2112; 0.2197; 0.2159; 0.2156; 0.2176; 0.2132; 0.2134; 0.2199; 0.2201; 0.2154; 0.2114; 0.2185; 0.2132; 0.2112; 0.2126; 0.2151; 0.2123; 0.212; 0.2197; 0.2112; 0.219; 0.2118; 0.2104; 0.2149; 0.2181; 0.2199; 0.216; 0.2154; 0.212; 0.2195; 0.2163; 0.2124; 0.2169; 0.2156; 0.2166; 0.2167; 0.211; 0.2179; 0.218; 0.2121; 0.2118; 0.2106; 0.2188; 0.2145; 0.2197; 0.2156; 0.2164	0,21516	2,29	+ 2,29 - 2,21
100000	0.2414; 0.244; 0.2446; 0.2454; 0.2448; 0.2424; 0.2469; 0.2419; 0.2466; 0.241; 0.2381; 0.2371; 0.2425; 0.2418; 0.2404; 0.2427; 0.2441; 0.2441; 0.2448; 0.2388; 0.2428; 0.2372; 0.238; 0.2485; 0.2378; 0.2375; 0.2475; 0.2441; 0.2458; 0.2418; 0.2377; 0.2468; 0.2453; 0.2391; 0.2386; 0.2374; 0.2405; 0.2403; 0.2387; 0.2371; 0.2385; 0.2375; 0.2419; 0.2443; 0.2413; 0.2405; 0.2405; 0.2376; 0.2445; 0.2446; 0.2467; 0.2374; 0.2466; 0.2411; 0.2397; 0.2437; 0.2423; 0.246; 0.2393; 0.2381	0,24184	2,75	+ 2,75 - 1,95

Приложение М

(справочное)

Таблица М.1 – Изменение погрешности дозирования зерна от уставки включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками (масса навески 1 кг)

Частота вращения вала асинхронного электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
70	1.004; 1.002; 0.997; 1.008; 1.008; 0.995; 0.999; 1.002; 0.996; 1.008; 1.004; 1.004; 0.996; 0.994; 1.007; 0.996; 0.995; 0.993; 1.004; 1.007; 1.004; 0.998; 1.006; 0.998; 0.993; 1.0; 1.003; 0.995; 1.008; 1.006.	1,001	0,1
75	0.998; 1.013; 1.012; 1.004; 1.005; 1.022; 1.009; 1.004; 1.003; 1.021; 1.018; 1.012; 0.999; 1.022; 1.011; 1.005; 1.015; 1.001; 1.003; 1.003; 1.017; 1.007; 1.022; 1.002; 1.006; 1.017; 1.003; 1.018; 1.019; 1.009.	1,010	1,0
80	1.016; 1.021; 1.022; 0.999; 1.007; 1.019; 1.021; 1.022; 1.015; 1.004; 1.011; 1.008; 1.021; 1.019; 1.013; 1.022; 1.014; 1.005; 1.003; 1.006; 1.019; 1.021; 1.007; 1.008; 1.023; 1.022; 1.021; 1.01; 1.019; 1.002.	1,014	1,4
85	1.02; 1.027; 1.02; 1.012; 1.025; 1.029; 1.021; 1.024; 1.014; 1.024; 1.014; 1.016; 1.017; 1.033; 1.029; 1.015; 1.017; 1.014; 1.01; 1.028; 1.023; 1.022; 1.026; 1.024; 1.015; 1.014; 1.026; 1.012; 1.02; 1.009.	1,020	2,0
90	1.034; 1.058; 1.062; 1.045; 1.061; 1.055; 1.045; 1.04; 1.061; 1.042; 1.052; 1.044; 1.035; 1.036; 1.059; 1.054; 1.041; 1.032; 1.052; 1.033; 1.058; 1.053; 1.056; 1.043; 1.052; 1.042; 1.033; 1.055; 1.048; 1.059.	1,048	4,8
91	1.063; 1.053; 1.037; 1.041; 1.068; 1.066; 1.054; 1.044; 1.051; 1.048; 1.048; 1.044; 1.05; 1.047; 1.067; 1.064; 1.036; 1.04; 1.053; 1.046; 1.052; 1.06; 1.063; 1.048; 1.045; 1.054; 1.062; 1.061; 1.058; 1.067.	1,053	5,3
92	1.087; 1.094; 1.082; 1.046; 1.06; 1.072; 1.072; 1.077; 1.049; 1.074; 1.081; 1.09; 1.083; 1.084; 1.078; 1.064; 1.051; 1.056; 1.049; 1.06; 1.072; 1.095; 1.089; 1.065; 1.067; 1.082; 1.055; 1.046; 1.069; 1.081.	1,071	7,1
93	1.084; 1.07; 1.06; 1.048; 1.057; 1.075; 1.081; 1.061; 1.071; 1.085; 1.06; 1.078; 1.086; 1.069; 1.064; 1.056; 1.073; 1.079; 1.086; 1.086; 1.075; 1.084; 1.066; 1.081; 1.073; 1.083; 1.08; 1.082; 1.058; 1.079.	1,073	7,3
94	1.057; 1.08; 1.068; 1.083; 1.098; 1.058; 1.06; 1.085; 1.084; 1.059; 1.096; 1.077; 1.064; 1.079; 1.097; 1.057; 1.081; 1.055; 1.086; 1.055; 1.073; 1.058; 1.093; 1.076; 1.065; 1.066; 1.086; 1.093; 1.088; 1.073.	1,075	7,5
95	1.093; 1.09; 1.055; 1.085; 1.068; 1.089; 1.076; 1.095; 1.072; 1.074; 1.082; 1.095; 1.051; 1.073; 1.074; 1.061; 1.077; 1.082; 1.052; 1.063; 1.063; 1.091; 1.08; 1.071; 1.089; 1.067; 1.063; 1.092; 1.09; 1.067.	1,076	7,6
Частота вращения вала шагового электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
70	1.001; 1.0; 0.998; 1.003; 1.003; 1.001; 1.004; 1.001; 1.0; 1.001; 1.003; 1.002; 0.998; 1.003; 0.998; 1.003; 0.999; 0.998; 1.002; 1.002; 1.001; 0.998; 1.002; 1.002; 1.002; 0.998; 1.0; 1.001; 1.004; 1.002.	1,001	0,1
75	1.004; 1.006; 1.0; 1.006; 1.005; 1.0; 1.006; 1.002; 1.004; 1.0; 1.0; 1.005; 1.005; 1.005; 1.003; 1.0; 1.007; 1.003; 1.001; 1.005; 1.0; 1.001; 1.001; 1.002; 1.006; 1.007; 1.001; 1.003; 1.001; 1.001.	1,003	0,3
80	1.003; 0.995; 1.002; 0.998; 0.994; 1.0; 0.995; 0.996; 1.001; 1.001; 0.996; 0.997; 0.997; 0.995; 0.994; 0.996; 0.995; 1.0; 0.994; 0.994; 0.995; 1.001; 0.994; 0.993; 0.999; 0.998; 0.999; 0.997; 0.996; 0.995.	0,997	0,3
85	0.996; 1.001; 0.999; 0.999; 0.996; 0.997; 0.998; 0.994; 0.996; 1.003; 1.003; 0.999; 0.998; 1.002; 0.995; 0.994; 1.0; 1.0; 1.0; 0.995; 0.998; 0.997; 0.995; 0.999; 0.996; 0.997; 1.001; 0.995; 1.001; 0.996.	0,998	0,2
90	1.006; 1.005; 0.999; 1.007; 1.006; 1.0; 1.002; 1.004; 1.002; 1.005; 1.005; 1.005; 1.004; 1.0; 1.003; 1.006; 1.005; 0.999; 0.999; 1.004; 1.006; 1.003; 1.003; 1.004; 0.999; 1.002; 1.001; 1.002; 1.0; 1.004.	1,003	0,3
91	1.001; 0.999; 1.001; 0.998; 1.0; 0.998; 0.998; 0.999; 1.0; 1.001; 0.999; 0.996; 0.999; 0.998; 0.996; 0.997; 0.998; 0.998; 1.003; 0.996; 1.002; 1.001; 1.0; 0.998; 0.997; 1.001;	0,999	0,1

Продолжение таблицы М.1

	1.0; 1.0; 1.0; 0.996.		
92	1.007; 1.0; 1.0; 1.003; 1.007; 1.004; 1.004; 1.005; 1.006; 1.001; 0.999; 1.003; 1.007; 1.004; 1.007; 1.001; 1.005; 1.006; 1.006; 1.004; 1.004; 1.001; 1.007; 1.007; 1.003; 1.006; 1.007; 1.002; 1.004; 1.006.	1,0042	0,42
93	1.004; 1.002; 0.999; 1.005; 0.998; 1.004; 0.998; 1.0; 1.001; 1.004; 1.002; 1.004; 1.0; 1.005; 1.001; 1.005; 0.999; 1.004; 0.999; 1.002; 1.003; 1.006; 1.0; 0.999; 1.005; 1.0; 1.001; 1.001; 1.004; 1.005.	1,002	0,2
94	1.003; 1.001; 1.0; 1.004; 1.002; 1.004; 1.001; 1.004; 1.002; 0.999; 1.003; 1.0; 1.001; 0.999; 0.999; 1.003; 1.002; 0.999; 0.999; 1.001; 0.999; 1.004; 0.998; 1.0; 0.999; 1.002; 0.998; 0.999; 1.001; 1.004.	1,001	0,1

Приложение Н

(справочное)

Таблица Н.1 – Изменение погрешности дозирования соли от уставки включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками (масса навески 1 кг)

Частота вращения вала асинхронного электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
50	1.013; 1.003; 1.021; 1.006; 1.015; 0.999; 1.015; 1.001; 1.017; 1.007; 1.017; 1.004; 1.001; 1.008; 1.017; 1.005; 1.013; 1.003; 1.009; 1.004; 1.015; 1.019; 1.009; 1.0; 1.014; 1.001; 1.013; 1.012; 1.0; 1.009.	1,009	0,9
51	1.017; 1.007; 1.017; 1.006; 1.026; 1.017; 1.021; 1.023; 1.012; 1.02; 1.007; 1.017; 1.025; 1.017; 1.004; 1.01; 1.005; 1.006; 1.009; 1.008; 1.008; 1.005; 1.018; 1.009; 1.014; 1.011; 1.025; 1.016; 1.025; 1.015.	1,014	1,4
52	1.016; 1.014; 1.022; 1.018; 1.025; 1.009; 1.008; 1.025; 1.018; 1.024; 1.019; 1.012; 1.007; 1.025; 1.015; 1.021; 1.021; 1.017; 1.023; 1.008; 1.025; 1.017; 1.021; 1.02; 1.009; 1.019; 1.012; 1.01; 1.022; 1.008.	1,017	1,7
53	1.032; 1.025; 1.017; 1.01; 1.012; 1.013; 1.009; 1.021; 1.013; 1.015; 1.021; 1.027; 1.015; 1.024; 1.023; 1.03; 1.034; 1.013; 1.023; 1.009; 1.026; 1.018; 1.011; 1.015; 1.032; 1.014; 1.016; 1.033; 1.015; 1.034.	1,020	2,0
54	1.031; 1.012; 1.021; 1.018; 1.016; 1.032; 1.009; 1.023; 1.027; 1.029; 1.022; 1.034; 1.011; 1.016; 1.019; 1.017; 1.013; 1.023; 1.016; 1.034; 1.026; 1.022; 1.031; 1.015; 1.011; 1.03; 1.01; 1.016; 1.019; 1.027.	1,021	2,1
55	1.03; 1.026; 1.029; 1.032; 1.024; 1.036; 1.033; 1.011; 1.011; 1.013; 1.02; 1.011; 1.037; 1.012; 1.029; 1.017; 1.018; 1.012; 1.035; 1.023; 1.018; 1.03; 1.019; 1.027; 1.011; 1.022; 1.014; 1.033; 1.025; 1.032.	1,023	2,3
60	1.012; 1.03; 1.014; 1.021; 1.035; 1.013; 1.023; 1.024; 1.014; 1.035; 1.031; 1.011; 1.013; 1.014; 1.017; 1.014; 1.028; 1.016; 1.018; 1.031; 1.018; 1.03; 1.027; 1.019; 1.025; 1.018; 1.021; 1.031; 1.028; 1.029.	1,022	2,2
64	1.023; 1.029; 1.046; 1.026; 1.044; 1.023; 1.026; 1.022; 1.035; 1.02; 1.027; 1.019; 1.032; 1.038; 1.033; 1.042; 1.031; 1.032; 1.034; 1.022; 1.019; 1.032; 1.036; 1.029; 1.026; 1.036; 1.02; 1.044; 1.028; 1.026.	1,03	0,3
65	1.044; 1.041; 1.03; 1.028; 1.034; 1.025; 1.038; 1.03; 1.053; 1.051; 1.052; 1.028; 1.037; 1.049; 1.036; 1.051; 1.025; 1.05; 1.034; 1.046; 1.027; 1.029; 1.051; 1.032; 1.048; 1.047; 1.025; 1.032; 1.049; 1.048.	1,039	3,9
66	1.042; 1.044; 1.049; 1.042; 1.06; 1.053; 1.042; 1.043; 1.044; 1.049; 1.044; 1.04; 1.043; 1.038; 1.051; 1.057; 1.037; 1.06; 1.043; 1.056; 1.036; 1.037; 1.046; 1.062; 1.038; 1.054; 1.059; 1.04; 1.058; 1.043.	1,047	4,7
Частота вращения вала шагового электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
50	1.001; 0.999; 1.001; 1.001; 0.999; 0.999; 0.998; 1.001; 1.001; 0.999; 1.001; 1.003; 0.999; 1.0; 0.999; 1.002; 1.001; 1.0; 0.998; 1.002; 0.998; 1.002; 0.999; 1.0; 1.001; 1.002; 1.002; 1.001; 1.0; 0.999.	1,00075	0,025
51	0.993; 0.994; 0.998; 0.994; 0.993; 1.0; 0.998; 0.997; 0.995; 0.998; 0.995; 0.995; 0.998; 0.995; 0.995; 0.997; 0.998; 0.996; 0.997; 0.993; 0.996; 0.994; 0.994; 1.0; 0.999; 0.997; 0.993; 0.999; 0.994; 0.9.	0,996	0,4
52	1.0; 1.0; 1.0; 0.998; 0.996; 1.001; 1.002; 0.998; 1.0; 1.003; 0.998; 1.002; 0.995; 0.999; 1.0; 1.001; 1.001; 0.996; 0.997; 1.0; 1.001; 1.002; 0.997; 0.996; 1.001; 1.0; 0.996; 1.002; 1.0; 1.003.	0,9995	0,05
53	1.001; 1.002; 1.0; 1.003; 1.001; 1.003; 1.003; 1.003; 1.002; 1.0; 0.999; 0.999; 0.999; 1.002; 1.003; 1.001; 1.001; 1.004; 1.003; 1.004; 1.002; 1.0; 1.002; 0.999; 0.999; 1.003; 1.002; 1.004; 1.0; 1.001.	1,0015	0,15
54	1.001; 0.997; 0.999; 1.004; 1.0; 1.003; 0.997; 1.004; 0.999; 0.998; 1.0; 1.001; 0.998; 0.999; 1.0; 0.998; 0.996; 1.002; 0.997; 1.001; 1.0; 1.002; 1.001; 0.999; 1.003; 0.998; 1.0; 0.999; 1.001; 1.003.	1,0	0
55	0.995; 0.994; 1.0; 0.995; 0.996; 1.001; 0.996; 0.996; 0.995; 0.998; 0.998; 1.0; 0.994; 0.995; 0.995; 0.998; 0.997; 0.999; 0.998; 0.994; 0.996; 0.998; 0.996; 0.998; 0.999; 0.998;	0,997	0,3

Продолжение таблицы Н.1

	1.002; 0.999; 0.994; 0.996.		
60	0.996; 0.998; 0.998; 0.999; 0.992; 0.993; 0.994; 0.997; 0.997; 0.998; 0.992; 0.995; 0.998; 0.996; 0.997; 0.992; 0.995; 0.993; 0.996; 0.992; 0.995; 0.998; 0.992; 0.994; 0.995; 0.994; 0.993; 0.994; 0.993; 0.994.	0,995	0,5
64	0.997; 0.997; 1.0; 0.998; 0.998; 0.999; 0.998; 0.999; 0.997; 0.998; 1.002; 1.002; 1.002; 0.999; 0.998; 1.002; 0.998; 0.999; 0.997; 0.997; 0.998; 0.998; 0.999; 0.997; 1.001; 0.998; 1.001; 1.002; 1.001; 0.998.	0,999	0,1
65	0.995; 0.998; 0.996; 0.998; 0.996; 0.996; 0.994; 0.995; 0.996; 0.995; 0.994; 0.994; 0.994; 0.995; 0.997; 0.996; 0.997; 0.997; 0.995; 0.996; 0.997; 0.995; 0.997; 0.998; 0.998; 0.995; 0.995; 0.998; 0.995; 0.998.	0,996	0,4
66	0.993; 0.992; 0.992; 0.998; 0.994; 0.996; 0.994; 0.996; 0.995; 0.993; 0.995; 0.997; 0.992; 0.995; 0.997; 0.994; 0.992; 0.992; 0.995; 0.995; 0.993; 0.998; 0.999; 0.993; 0.995; 0.992; 0.992; 0.998; 0.994; 0.994.	0,9945	0,55

Приложение О

(справочное)

Таблица О.1 – Изменение погрешности дозирования мела от уставки включения второго шнека в режиме дозирования двумя шнеками (масса навески 1 кг)

Частота вращения вала асинхронного электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
70	1.002; 1.0; 1.0; 0.997; 0.998; 0.999; 1.001; 1.001; 1.0; 1.002; 1.001; 0.997; 0.998; 1.0; 0.997; 0.995; 0.995; 0.998; 1.0; 1.0; 1.001; 0.999; 1.0; 1.0; 0.996; 0.997; 1.002; 0.996; 1.0; 0.998.	0,999	0,1
75	1.001; 1.002; 1.001; 1.0; 1.004; 1.003; 1.001; 1.005; 1.0; 1.005; 1.004; 1.001; 1.0; 1.006; 1.003; 0.999; 1.001; 1.002; 1.006; 1.0; 1.0; 1.0; 1.001; 1.003; 1.004; 1.0; 1.004; 1.003; 1.001.	1,002	0,2
80	0.992; 0.992; 1.0; 1.0; 0.998; 0.998; 1.0; 0.999; 0.992; 0.997; 0.998; 0.997; 0.992; 0.999; 1.001; 1.001; 0.994; 1.0; 0.992; 0.998; 0.999; 0.993; 0.998; 0.998; 0.995; 0.998; 0.997; 0.998; 0.993; 1.001.	0,997	0,3
85	0.999; 1.0; 1.002; 1.0; 0.996; 0.999; 1.002; 0.997; 0.997; 0.993; 1.002; 0.999; 0.999; 0.998; 0.994; 0.993; 0.996; 0.997; 0.998; 1.0; 0.997; 0.993; 0.997; 1.0; 1.001; 1.001; 1.002; 0.999; 0.994; 0.995.	0,998	0,2
90	0.993; 0.999; 0.999; 0.996; 0.995; 0.995; 0.993; 0.995; 0.995; 1.0; 0.998; 0.995; 1.001; 0.998; 0.999; 0.998; 0.993; 0.997; 0.992; 0.999; 0.995; 1.0; 0.995; 0.999; 1.0; 0.999; 1.0; 0.995; 0.998; 0.999.	0,997	0,3
95	0.997; 0.998; 0.998; 0.993; 0.992; 0.994; 0.993; 0.997; 0.995; 0.992; 1.0; 0.989; 0.995; 0.992; 0.99; 0.998; 0.995; 0.994; 0.99; 0.994; 0.992; 0.993; 1.0; 0.999; 0.991; 0.997; 1.0; 0.998; 0.997; 0.997.	0,995	0,5
99	0.999; 0.993; 0.992; 1.0; 0.998; 0.998; 0.997; 0.999; 0.993; 0.997; 0.994; 1.0; 1.001; 1.0; 0.996; 0.998; 0.995; 1.0; 0.999; 0.998; 0.996; 0.995; 0.993; 0.997; 0.996; 0.998; 0.994; 1.0; 0.994; 1.0.	0,997	0,3
Частота вращения вала шагового электродвигателя, Гц.	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)	Средняя масса навески, кг	Погрешность дозирования %
70	0.992; 0.992; 0.991; 0.992; 0.993; 0.992; 0.991; 0.993; 0.993; 0.993; 0.993; 0.991; 0.993; 0.993; 0.993; 0.993; 0.991; 0.991; 0.993; 0.99; 0.993; 0.992; 0.992; 0.991; 0.991; 0.991; 0.993; 0.991; 0.99; 0.993.	0,992	0,8
75	0.992; 0.991; 0.992; 0.992; 0.992; 0.994; 0.993; 0.993; 0.992; 0.991; 0.993; 0.992; 0.991; 0.992; 0.991; 0.992; 0.991; 0.991; 0.991; 0.993; 0.991; 0.992; 0.993; 0.992; 0.993; 0.991; 0.992; 0.994; 0.992; 0.991.	0,992	0,8
80	0.993; 0.995; 0.994; 0.995; 0.995; 0.993; 0.994; 0.994; 0.994; 0.993; 0.993; 0.995; 0.993; 0.993; 0.994; 0.994; 0.995; 0.994; 0.995; 0.995; 0.995; 0.993; 0.994; 0.993; 0.994; 0.994; 0.995; 0.993; 0.995; 0.993.	0,994	0,6
85	0.988; 0.988; 0.988; 0.99; 0.989; 0.988; 0.989; 0.989; 0.989; 0.988; 0.989; 0.989; 0.989; 0.988; 0.99; 0.99; 0.988; 0.989; 0.99; 0.991; 0.989; 0.989; 0.988; 0.988; 0.991; 0.988; 0.989; 0.989; 0.991; 0.988.	0,989	1,1
90	0.987; 0.986; 0.987; 0.985; 0.987; 0.985; 0.985; 0.987; 0.986; 0.985; 0.986; 0.986; 0.986; 0.986; 0.985; 0.987; 0.987; 0.985; 0.986; 0.987; 0.985; 0.986; 0.986; 0.988; 0.985; 0.986; 0.987; 0.986; 0.985; 0.985.	0,986	1,4
95	0.988; 0.987; 0.99; 0.989; 0.988; 0.989; 0.988; 0.989; 0.989; 0.99; 0.991; 0.988; 0.987; 0.989; 0.989; 0.987; 0.989; 0.99; 0.99; 0.989; 0.989; 0.991; 0.99; 0.99; 0.989; 0.988; 0.988; 0.989; 0.991; 0.989.	0,989	1,1
99	0.989; 0.989; 0.991; 0.988; 0.991; 0.988; 0.987; 0.987; 0.989; 0.99; 0.989; 0.988; 0.989; 0.988; 0.99; 0.99; 0.991; 0.991; 0.99; 0.987; 0.987; 0.989; 0.99; 0.988; 0.988; 0.988; 0.99; 0.987; 0.991; 0.99.	0,989	1,1

Приложение II

(справочное)

Таблица П.1 – Изменение производительности при дозировании зерна в зависимости от массы навески

Наименование дозирующего устройства	Масса навески, кг	Время дозирования, с (количество контрольных замеров 30 ед.)	Среднее время навески заданной массы, с	Производительность, кг/ч
ММД 1,5 х 4 шнек ДШ 100	1,0	9.77; 9.74; 9.73; 9.67; 9.4; 9.22; 9.62; 9.51; 9.47; 9.43; 9.78; 9.55; 9.6; 9.62; 9.77; 9.54; 9.69; 9.78; 9.37; 9.73; 9.79; 9.75; 9.52; 9.66; 9.64; 9.47; 9.63; 9.66; 9.38; 9.81	9,61	320
	5,0	14.48; 14.34; 14.87; 14.61; 13.96; 14.6; 14.08; 14.21; 14.01; 14.86; 14.28; 14.61; 14.0; 14.75; 14.86; 14.32; 14.41; 14.72; 14.52; 14.82; 13.92; 14.84; 14.07; 14.42; 14.07; 14.2; 14.56; 14.21; 14.59; 14.11	14,41	1156
	10,0	20.8; 20.04; 20.03; 19.94; 20.03; 19.87; 19.9; 20.57; 20.65; 19.97; 20.19; 20.34; 20.16; 20.65; 19.96; 20.16; 19.88; 20.51; 21.05; 20.7; 20.4; 20.74; 19.85; 20.02; 20.32; 20.65; 20.22; 20.39; 20.09; 20.02	20, 27	1620
Двухшнековый дозатор сухих сыпучих компонентов комбикорма	1,0	9.28; 9.64; 9.1; 9.21; 9.34; 9.16; 9.26; 9.28; 9.26; 9.09; 9.25; 9.32; 9.07; 9.39; 9.24; 9.35; 9.35; 9.25; 9.47; 9.34; 9.32; 9.67; 9.25; 9.45; 9.42; 9.74; 9.22; 9.33; 9.2; 9.35	9,32	352
	5,0	4.25; 14.22; 14.32; 14.5; 14.58; 14.4; 14.01; 14.59; 14.72; 14.39; 13.9; 14.37; 14.63; 14.2; 14.23; 14.6; 14.07; 14.43; 14.4; 14.25; 14.05; 14.33; 14.69; 14.4; 14.72; 14.69; 14.44; 14.34; 14.49; 13.89	14, 37	1296
	10,0	20.33; 20.07; 20.04; 20.83; 19.89; 20.52; 21.0; 20.65; 19.98; 20.32; 20.18; 20.37; 20.09; 19.98; 20.02; 20.38; 19.79; 20.06; 20.36; 20.22; 20.11; 20.22; 19.82; 20.28; 20.02; 20.71; 19.73; 20.38; 19.98; 20.57	20,23	1863

Приложение Р
(справочное)

Таблица Р.1 – Результаты производственных испытаний при дозировании
Руменфита для высокопродуктивного загона при $n_1 = 30,3 \text{ Гц}$, $t = 11,9\%$;

$n_2 = 40,9 \%$ от n_1 (12,42 Гц), (масса навески 5 кг)

Этап № 1	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)					Среднее значение по повторностям, кг	Относительная погрешность, %
№ повторности	1	2	3	4	5	4, 9927	0,15
Результат, кг	4,990	4,994	4,994	4,996	4,991		
№ повторности	6	7	8	9	10		
Результат, кг	4,993	4,993	4,991	4,992	4,994		
№ повторности	11	12	13	14	15		
Результат, кг	4,994	4,996	4,992	4,993	4,993		
№ повторности	16	17	18	19	20		
Результат, кг	4,995	4,992	4,991	4,990	4,993		
№ повторности	21	22	23	24	25		
Результат, кг	4,996	4,991	4,993	4,995	4,991		
№ повторности	26	27	28	29	30		
Результат, кг	4,990	4,993	4,994	4,990	4,991		

Таблица Р.2 – Результаты производственных испытаний при дозировании
Магнифата для высокопродуктивного загона при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 =$
40,9 % от n_1 (12,42 Гц), (масса навески 10 кг)

Этап № 2	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)					Среднее значение по повторностям, кг	Относительная погрешность, %
№ повторности	1	2	3	4	5	9, 9925	0,074
Результат, кг	9,993	9,991	9,994	9,996	9,992		
№ повторности	6	7	8	9	10		
Результат, кг	9,987	9,991	9,993	9,996	9,988		
№ повторности	11	12	13	14	15		
Результат, кг	9,997	9,991	9,990	9,995	9,995		
№ повторности	16	17	18	19	20		
Результат, кг	9,991	9,990	9,989	9,990	9,996		
№ повторности	21	22	23	24	25		
Результат, кг	9,989	9,993	9,996	9,999	9,992		
№ повторности	26	27	28	29	30		
Результат, кг	9,990	9,993	9,991	9,992	9,996		

Таблица Р.3 – Результаты производственных испытаний при дозировании мела для высокопродуктивного загона при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), (масса навески 9 кг)

Этап № 3	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)					Среднее значение по повторностям, кг	Относительная погрешность, %.
№ повторности	1	2	3	4	5	8 ,992	0,083
Результат, кг	8,992	8,994	8,992	8,994	8,990		
№ повторности	6	7	8	9	10		
Результат, кг	8,991	8,994	8,993	8,993	8,997		
№ повторности	11	12	13	14	15		
Результат, кг	8,989	8,991	8,991	8,996	8,994		
№ повторности	16	17	18	19	20		
Результат, кг	8,994	8,993	8,987	8,994	8,991		
№ повторности	21	22	23	24	25		
Результат, кг	8,994	8,991	8,990	8,995	8,994		
№ повторности	26	27	28	29	30		
Результат, кг	8,996	8,991	8,995	8,989	8,990		

Таблица Р.4 – Результаты производственных испытаний при дозировании Иммуно Фертила для высокопродуктивного загона при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), (масса навески 10 кг)

Этап № 4	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)					Среднее значение по повторностям, кг	Относительная погрешность, %
№ повторности	1	2	3	4	5	9, 993	0,067
Результат, гр.	9,995	9,996	9,993	9,997	9,995		
№ повторности	6	7	8	9	10		
Результат, кг	9,995	9,992	9,996	9,994	9,990		
№ повторности	11	12	13	14	15		
Результат, кг	9,991	9,994	9,996	9,989	9,996		
№ повторности	16	17	18	19	20		
Результат, кг	9,996	9,994	9,991	9,991	9,996		
№ повторности	21	22	23	24	25		
Результат, кг	9,993	9,989	9,994	9,990	9,992		
№ повторности	26	27	28	29	30		
Результат, кг	9,991	9,996	9,989	9,995	9,993		

Продолжение Приложения Р

Таблица Р.5 – Результаты производственных испытаний при дозировании Иммуно Фертила для молодняка при $n_1 = 30,3$ Гц, $t = 11,9\%$; $n_2 = 40,9\%$ от n_1 (12,42 Гц), масса навески = 1,050 кг (масса навески 1,050 кг)

Этап № 5	Фактическая масса навески в кг (количество контрольных замеров 30 ед.)					Среднее значение по повторностям, кг	Относительная погрешность, %
№ повторности	1	2	3	4	5	1,04	0,95
Результат, кг	1,038	1,039	1,043	1,042	1,044		
№ повторности	6	7	8	9	10		
Результат, кг	1,037	1,039	1,037	1,037	1,038		
№ повторности	11	12	13	14	15		
Результат, кг	1,041	1,037	1,038	1,037	1,04		
№ повторности	16	17	18	19	20		
Результат, кг	1,038	1,045	1,047	1,045	1,039		
№ повторности	21	22	23	24	25		
Результат, кг	1,042	1,038	1,041	1,041	1,037		
№ повторности	26	27	28	29	30		
Результат, кг	1,044	1,037	1,037	1,043	1,039		

Приложение С

(справочное)

Расчет технико-экономических показателей

Совокупность всех финансовых затрат равна [30]:

$$I_{с.з} = I + I_{к.п} + I_{у.т} + I_{э}, \quad (5.1)$$

где I – прямые финансовые затраты, связанные с эксплуатацией, руб./т;

$I_{к.п}$ – финансовые затраты, зависящие от изменения качества готового продукта и его количества, руб./т;

$I_{у.т}$ – финансовые затраты, связанные с условиями труда персонала, проводящего обслуживание оборудования, руб./т;

$I_{э}$ – финансовые затраты, связанные с негативным влиянием на окружающую среду, руб./т.

Прямые финансовые затраты, связанные с эксплуатацией, рассчитываются по формуле [30]:

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

где $З$ – финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание оборудования, руб./т;

$Г$ – финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии, руб./т;

$Р$ – финансовые затраты, идущие на ремонт и ТО, руб./т;

$А$ – финансовые затраты, идущие на амортизацию, руб./т;

$Ф$ – прочие прямые финансовые затраты, идущие на основные и вспомогательные материалы, руб./т.

Финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание оборудования [30]:

$$З = \frac{1}{W_{ЭК}} Л \tau K_3, \quad (5.3)$$

где $W_{ЭК}$ – производительность оцениваемой установки, т/ч;

$Л$ - число людей, связанных с обслуживанием установки, чел;

τ - оплата труда людей, связанных с обслуживанием установки, руб./чел-ч
($\tau = 175$ руб./чел-ч);

K_3 - коэффициент начислений на зарплату.

Рассчитываем финансовые затраты, идущие на оплату труда персонала, проводящего обслуживание оборудования:

Для ММД 1.5х4 затраты составят:

$$З_{мд} = \frac{1}{0,32} \cdot 1 \cdot 175 \cdot 1,3 = 709,8 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов денежные затраты составят:

$$З_{дд} = \frac{1}{0,352} \cdot 1 \cdot 175 \cdot 1,3 = 646,1 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии [30]:

$$\Gamma = q_{Э} \cdot Ц_{Э}, \quad (5.4)$$

где $q_{Э}$ – расход электроэнергии, приведенный к единице готовой продукции кВт·ч/т;

$Ц_{Э}$ – цена за 1 кВт·ч электроэнергии, ($Ц_{Э} = 9$ руб./кВт·ч).

Вычисляем финансовые затраты, идущие на оплату электроэнергии для ММД 1.5х4:

$$\Gamma_{\text{мд}} = 2,5 \cdot 9 = 22,5 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов получим следующее значение:

$$\Gamma_{\text{дд}} = 6,4 \cdot 9 = 57,6 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на ремонт и ТО, вычисляем по формуле [30]:

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

где B – балансовая цена сравниваемых образцов, руб.;

$W_{\text{ЭК}}$ – производительность сравниваемых образцов, т/ч;

r_p – коэффициент, связанный с отчислениями, предназначенными для ремонта и ТО, $r_p = 0,13$ [30];

T_3 – годовая загрузка сравниваемых образцов, ч.

Для ММД 1.5х4 получим следующее:

$$P_{\text{мд}} = \frac{178000 \cdot 0,13}{0,32 \cdot 1979} = 36,54 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов имеем:

$$P_{\text{дд}} = \frac{213700 \cdot 0,13}{0,352 \cdot 1979} = 39,88 \text{ руб./т.}$$

Финансовые затраты, идущие на амортизацию дозаторов, равны [30]:

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

где a – коэффициент, учитывающий отчисления, связанные с амортизацией сравниваемых образцов, ($a = 0,167$) [30].

Для ММД 1.5х4 получим следующее значение данного показателя:

$$A_{\text{мд}} = \frac{178000 \cdot 0,167}{0,32 \cdot 1979} = 46,94 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов имеем:

$$A_{\text{дд}} = \frac{213000 \cdot 0,167}{0,352 \cdot 1979} = 51,06 \text{ руб./т.}$$

Прочие прямые финансовые затраты, идущие на основные и вспомогательные материалы вычисляем как [30]:

$$\Phi = \sum h_i C_{mi}, \quad (5.7)$$

где h_i – расход i -го материала, приведенный к единице готового продукта, кг/т;

C_{mi} – стоимость единицы i -го вида расходуемого материала, руб.

$$\Phi = 0 \text{ руб./т.}$$

Все расчетные значения подставляем в (5.2).

Тогда для ММД 1.5х4 будем иметь:

$$I_{\text{ммо}} = 709,8 + 22,5 + 36,54 + 46,94 = 815,78 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов:

$$I_{\text{до}} = 646,1 + 57,6 + 39,88 + 51,06 = 794,64 \text{ руб./т.}$$

Затраты труда на дозирование тонны продукции вычисляли по формуле [30]:

$$Z_T = \frac{L}{W_{\text{изм}}}, \quad (5.8)$$

Для ММД 1.5х4:

$$Z_{T\text{ммо}} = 1/0,32 = 3,12 \text{ чел.-ч/т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов получим:

$$Z_{T\text{до}} = 1/0,352 = 2,84 \text{ чел.-ч/т.}$$

Удельная остаточная стоимость дозаторов определялась по формуле [30]:

$$C_{\text{ост}} = \frac{B(\lambda_{m.p} - \lambda_{a.p})}{\lambda_{m.p} T_3 W_{\text{ЭК}}}, \quad (5.9)$$

где $\lambda_{m.p}$ – прогнозируемый ресурс установок, ч;

$\lambda_{a.p}$ – реальный ресурс установок, ч;

Для ММД 1.5х4:

$$C_{\text{ост ммо}} = \frac{178000 \cdot (15900 - 15000)}{15900 \cdot 1979 \cdot 0,32} = 15,9 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов:

$$C_{OCT\partial\partial} = \frac{213700 \cdot (15900 - 150000)}{15900 \cdot 1979 \cdot 0,352} = 17,36 \text{ руб./т.}$$

Годовую наработку сравниваемых дозаторов вычисляли по формуле [30]:

$$B_3 = W_{ЭК} \cdot T_3, \quad (5.10)$$

Для ММД 1.5х4:

$$B_{3\text{ ммд}} = 0,32 \cdot 1979 = 633,28 \text{ т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов:

$$B_{3\partial\partial} = 0,352 \cdot 1979 = 696,6 \text{ т.}$$

$$I_{К.П} = 0 \text{ руб.}$$

Затраты средств, учитывающие количество и качество продукции при дозировании в обоих случаях составляют $I_{У.Т} = 0$.

Затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду $I_{Э} = 0$ руб, так как приводом в дозаторах являются электродвигатели.

Рассчитанные значения ставим в (5.1).

Для ММД 1.5х4 будут иметь:

$$I_{С.З\text{ ммд}} = 815,78 + 0 + 0 + 0 = 815,78 \text{ руб./т.}$$

Для двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов:

$$I_{С.З\partial\partial} = 794,64 + 0 + 0 + 0 = 794,64 \text{ руб./т.}$$

Годовая экономия совокупных затрат денежных средств вычисляется по выражению: [30]:

$$\mathcal{E}_{Г.Н} = B_3 \cdot ((I_{С.З.Б} - C_{OCT.Б}) - (I_{С.З.Н} - C_{OCT.Н})). \quad (5.12)$$

Подставляем известные значения в формулу (5.12):

$$\mathcal{E}_{Г.Н} = 696,6 \cdot ((815,78 - 15,9) - (794,64 - 17,36)) = 15743,16 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, рассчитывали по формуле [30]:

$$T_{OK} = \frac{B_{уэжк} - B_{кнч}}{\mathcal{E}_{Г.Н.}} \quad (5.13)$$

$$T_{OK} = \frac{213700 - 178000}{15743,16} = 2,26 \text{ года}$$

Верхний предел цены двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов рассчитывается по выражению [30]:

$$Ц_{Л} = \frac{\mathcal{E}_{Г.од}}{\alpha_H} + B_{од}, \quad (5.14)$$

где α_H – коэффициент отчисления на амортизацию двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов:

$$Ц_{Л} = \frac{15743,16}{1,04} + 213700 = 224945,11 \text{ руб.}$$

Таблица С.1 – Результаты расчета технико-экономической эффективности применения двухшнекового дозатора для сухих сыпучих компонентов комбикорма (в ценах 2024 года)

№ п.п.	Показатель	Расчетная формула	Значение показателя	
			Базовый	Новый
1.	Расходы денежных средств, относящиеся к оплате труда обслуживающего персонала, руб./т.	$З = \frac{1}{W_{ЭК}} ЛтК_3,$	709,8	646,1
2.	Расходы денежных средств, требуемые на оплату электроэнергии, руб./т.	$\Gamma = q\mathcal{E} \cdot Ц\mathcal{E}$	22,5	57,6
3.	Затраты средств, требуемые на техническое обслуживание и ремонт, руб./т.	$P = \frac{B \cdot r_p}{W_{ЭК} \cdot T_3}$	36,54	39,88
4.	Затраты денежных средств на амортизацию дозирующего устройства, руб./т.	$A = \frac{B \cdot a}{W_{ЭК} \cdot T_3}$	46,94	51,06

Продолжение таблицы С.1

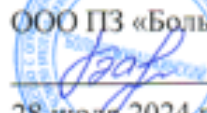
5.	Прочие прямые затраты денежных средств, связанные с приобретением основных и вспомогательных материалов	$\Phi = \sum h_i C_{mi}$	0	0
6.	Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, руб./т.	$И = З + Г + Р + А + \Phi$	815,78	794,64
7.	Затраты труда на дозирование тонны продукции, чел.-ч/т.	$З_T = \frac{Л}{W_{ИЗМ}}$	3,12	2,84
8.	Удельная остаточная стоимость дозирующих устройств, руб./т.	$C_{OCT} = \frac{B(\lambda_{m.p} - \lambda_{a.p})}{\lambda_{m.p} T_3 W_{ЭК}}$	15,9	17,36
9.	Зональную годовую наработку дозирующих устройств, т.	$B_3 = W_{ЭК} \cdot T_3$	633,28	696,6
10.	Затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду, руб./т.	$ИС = B_3 + qCM^* + НЭК^* + ИЭ^*$	0	0
11.	Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб.	$Э_{г.н.} = T_3 \cdot ((И_{с.д.д} - C_{ост.д.д}) - (И_{с.м.м.д} - C_{ост.м.м.д}))$		15743,16
12.	Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, год.	$T_{OK} = \frac{B_{д.д} - B_{м.м.д}}{Э_{г.д.д.}}$		2,26
13.	Верхний предел цены нового дозирующего устройства, руб.	$C_{Л} = \frac{Э_{г.д.д.}}{a_H} + B_{д.д.}$		224945,11

*- qCM - расход топлива, кг/т (qCM = 0); НЭК - норма затрат на охрану окружающей среды, руб./кг (НЭК = 0 руб./кг). Так как при производственном процессе по дозировании продукции затрачивается электроэнергия, то ИЭ = 0 руб.

Приложение Т (справочное)

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе
и инновационному развитию
к.э.н., доцент

Д.В. Ганин
28 июля 2024 года

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
ООО ПЗ «Большемурашкинский»

С.И. Бобровских
28 июля 2024 года

АКТ

апробации в ООО ПЗ «Большемурашкинский» Большемурашкинского района Нижегородской области двухшнекового дозатора компонентов комбикорма

Комиссия в составе представителей ООО ПЗ «Большемурашкинский»: исполнительного директора Бобровских С.И., главного зоотехника Корюкина А.В. и представителей ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»: доктора технических наук, профессора Булатова С.Ю., аспиранта Пронина А.Н. составили настоящий акт о том, что в июле 2024 года в ООО ПЗ «Большемурашкинский» Большемурашкинского района Нижегородской области проведена апробация двухшнекового дозатора компонентов комбикорма разработанного и изготовленного инженерным факультетом ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет».

Апробация двухшнекового дозатора компонентов комбикорма (рисунок 1) проводилась в цехе по приготовлению рассыпных комбикормов в составе технологической линии по производству комбикорма для крупнорогатого скота, включая молодняк.

Экспериментальный двухшнековый дозатор компонентов комбикорма (изготовлен по патенту РФ № 2813794) состоит из рамы с встроенными в нее тензодатчиками на которые опирается приемная площадка. Две отдельно стоящие металлические конструкции с загрузочными бункерами, в которых располагаются шнеки, имеющие различия по конструкционным параметрам,

соединенные посредством червячных редукторов с электроприводами, которые осуществляют вращение шнеков.

Приводимый шаговым электроприводом шнек ДШ-60 имеет следующие конструкционные параметры: наружный диаметр шнека (по касательной спирали) 53 мм, высота пера спирали 11 мм, шаг витков 24 мм, внутренний диаметр кожуха шнека 60 мм. Приводимый асинхронным электроприводом шнек ДШ-120 имеет следующие конструкционные параметры: наружный диаметр шнека (по касательной спирали) 116 мм, высота пера спирали 38 мм, шаг витков 115 мм, внутренний диаметр кожуха шнека 120 мм.

Система управления представляет из себя электрический коммутационный шкаф со встроенным сенсорным монитором.



а



б

Рисунок 1: а – Двухшнековый дозатор компонентов комбикорма;
б – Шкаф управления со встроенным сенсорным монитором

Для оценки точности дозирования двухшнекового дозатора компонентов комбикорма применялись методики представленные в ГОСТ 8.610 - 2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Методы испытаний и ГОСТ

8.523-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Дозаторы весовые автоматические дискретного действия.

Оценка работоспособности дозатора осуществлялась при дозировании четырех компонентов с разными физико-механическими свойствами: руменфит, магнифат, мел, иммуно фертил. Масса навесок микрокомпонентов для кормления сельскохозяйственных животных устанавливалась согласно разработанным рецептам в хозяйстве.

В результате испытаний установлено, что во время эксплуатации двухшнекового дозатора компонентов комбикорма при дозировании руменфита массой навески 5000 г погрешность составляет всего лишь 0,15%, при дозировании магнифата массой навески 10000 гр. погрешность составила 0,074 %, при дозировании мела массой навески 9000 гр. погрешность составила 0,083 %, при дозировании иммуно-фертила массой навески 10000 г и 700 г погрешность составила 0,067% и 0,93 % соответственно. Во время дозирования всех исследуемых компонентов отмечалось влияние массы навески на погрешность дозирования. При увеличении массы навески взвешиваемых компонентов погрешность дозирования снижалась. При этом, погрешность на всех этапах производственных испытаний находилась в допустимом диапазоне 0,5 % и не превышала 1 % для всех дозируемых компонентов.

Работа двухшнекового дозатора компонентов комбикорма позволяет осуществлять высокоточное дозирование необходимых компонентов согласно заданной рецептуре, а также удовлетворяет требованиям и нормам ГОСТ в полном объеме при дозировании макро и микрокомпонентов. Двухшнековый дозатор компонентов комбикорма представляет интерес как для крупных хозяйств, так и небольших фермерских хозяйств, а также других предприятий технологическим процессом которых предусмотрено дозирование сухих сыпучих компонентов. Двухшнековый дозатор может интегрироваться в состав технологических линии, а также использоваться отдельно при

производстве комбикорма и прочей продукции, поэтому рекомендуется к серийному производству.

Д.т.н, профессор

Кафедры «Технический сервис»

Аспирант

Главный зоотехник



С.Ю. Булатов

А.Н. Пронин

А.В. Корюкин

Приложение У

(справочное)



8 800 200 24 76 (звонок по России бесплатный)
office@dozaagro.ru
Нижний Новгород, шоссе Жиркомбината, 20
+7 (831) 242 05 00

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ООО «ДОЗА-АГРО»
Т.А. Гаринова
«10» августа 2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ в производство

результатов научно-исследовательской работы по созданию и оптимизации двух-
шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма

Настоящий акт подтверждает, что ООО «ДОЗА-АГРО» переданы от ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» материалы разработки и исследований двухшнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма, созданного на кафедре технического сервиса.

Дозатор предназначен для дозированной подачи сухих сыпучих компонентов комбикорма.

Дозатор состоит из приемного бункера, входного и выходного патрубков, шнека ДШ-60 соединенного посредством редуктора с шаговым электроприводом, шнека ДШ-100 соединенного посредством редуктора с асинхронным электроприводом (технические данные представлены в таблице № 1, шкафа управления с сенсорным монитором, приемной площадки с весоизмерительным устройством, оборудованным тремя тензодатчиками).

Таблица №1 - Технические данные двухшнекового дозатора

Наименование шнека	Внутренний диаметр кожуха шнека, мм	Наружный диаметр шнека (по касательной спирали), мм	Высота пера спирали, мм	Шаг витков, мм	Тип электродвигателя	Мощность /напряжение электродвигателя, Вт/В	Обороты двигателя, мин ⁻¹
ДШ-60	60	53	11	24	Шаговый Leadshine 86CME85 NEMA34	0.75 кВт/220 V	3000
ДШ-120	120	116	38	115	Асинхронный	2.2 кВт/380 V	1420

Результаты научно-исследовательской работы использованы при проектировании и изготовлении серийно выпускаемых модулей макродозирования ММД-1,5×4, предназначенных для подачи заданной порции отдельных компонентов комбикорма в соответствии с установленной рецептурой.

От ГБОУ ВО НГИЭУ
Профессор кафедры д.т.н.
С.Ю. Булатов
Аспирант
А.Н.Пронин

От ООО «Доза-Агро»
Технический директор
И.А.Снегирев
Ведущий конструктор
С.А. Крылов