

Костанайский региональный университет имени А. Байтұрсынұлы

УДК 631.37

на правах рукописи

БЕКМЫРЗА ЖҰМАШ АЙТЖАНҰЛЫ

**Совершенствование конструктивно-режимных параметров ленточного
транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами**

8D07102 Технологические машины и оборудование (машиностроение)

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
доктор технических наук,
профессор
Курманов А.К.,
доктор PhD,
профессор
Караиванов Д.П.
Республика Болгария

Республика Казахстан
Костанай, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Состояние вопроса внутрискладского транспортирования и хранения сильно засоренных зерновых культур.....	13
1.1 Классификация конвейеров.....	13
1.2 Физико-механические свойства транспортируемого сильнозасоренного зерна.....	24
1.3 Типы хранилищ зерна.....	32
1.3.1 Механизированные склады.....	36
1.3.2 Конструктивные схемы элеваторов.....	38
1.3.3 Аспирация элеваторов, конвейеров, зерносушилок, зернохранилищ.....	39
2. Теоретические исследования конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера и оборудования для хранения зерна.....	42
2.1 Производительность ленточного транспортера.....	42
2.2 Выбор типа и материала ленты.....	48
2.3 Выбор опорных узлов ленточного транспортера	50
2.4. Расчет вместимости бункеров и силосов.....	53
2.5 Определение суммарного расхода воздуха аспирационной системы.....	58
2.6 Математическая модель для определения производительности ленточного конвейера	64
2.7 Моделирование напряженно-деформированного состояния роликовых опор ленточного конвейера.....	67
3 Методика проведения экспериментальных исследований.....	72
3.1 Определение технологических характеристик транспортируемых зерновых масс	60
3.1.1 Определение насыпной плотности сильно засоренных зерновых культур.....	60
3.1.2 Определение влажности зерна	
3.2 Обоснование и расчет основных элементов емкости для хранения сильно засоренных зерновых культур.....	75
3.3 Обоснование и расчет основных элементов вентилятора.....	76
3.4 Определение основных параметров ленточного транспортера на экспериментальной установке	62
3.4.1 Определение частоты вращения приводного барабана.....	68
3.4.2 Определение энергоемкости процесса транспортирования	69
4. Результаты экспериментальных исследований.....	81
4.1 Насыпная плотность сильно засоренных зерновых культур.....	81
4.2 Определение влияния угла наклона боковых роликовых опор ленточного транспортера на производительность	81
4.3 Результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований.....	82
4.3.1 Прочие результаты экспериментальных исследований.....	82
4.4 Производственные испытания.....	82

4.5 Разработка новых устройств технологических процессов.	
сильно засоренных зерновых культур.....	83
4.5.1 Опорная рама силоса.....	83
4.5.2 Крыша силоса.....	85
4.5.3 Вентилятор для силоса.....	87
4.6 Экономическая эффективность научных исследований.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	114
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	134
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ И.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Л.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	161
ПРИЛОЖЕНИЕ Н.....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ О.....	172
ПРИЛОЖЕНИЕ П.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ Р.....	175

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Положение докторская диссертация «Докторская диссертация» П 058 - 2023
Об утверждении квалификационных требований, предъявляемых к образовательной деятельности, и перечня документов, подтверждающих соответствие им, утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 17 июня 2015 года № 391;
Об утверждении государственных общеобязательных стандартов высшего и послевузовского образования, утвержденные приказом Министра науки и высшего образования Республики Казахстан от 20 июля 2022 года № 2;
Правила присуждения ученых степеней, утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 31 марта 2011 года № 127;
Типовое положение о диссертационном совете, утвержденное приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 31 марта 2011 года № 126;
Закон РК «О науке» от 18 февраля 2011 года № 407-IV;
СО 081 - 2022. Стандарт организации. Делопроизводство;
ДП 082 - 2022. Документированная процедура. Управление документацией.
ГОСТ 6.38-90 Унифицированные системы документации. Система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов.
ГОСТ 8.417–81 - Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.
ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
ГОСТ 7.9-95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.
ГОСТ Р 15.011-96 - Патентные исследования. Содержание и порядок проведения.
ГОСТ 22646 – 77 (СТ СЭВ 1334-78). Конвейеры ленточные. Ролики. Типы и основные размеры.
ГОСТ 22644 – 77 (СТ СЭВ 1333-78). Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры.
ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия.
ГОСТ 7242-81 (СТ СЭВ 3793-82) Подшипники шариковые радиальные однорядные с защитными шайбами.
ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
ГОСТ 23270-89. Трубы-заготовки для механической обработки. Технические условия.
ГОСТ 13113-83. Штампы для листовой штамповки. Плиты-заготовки для штампов с осевым расположением направляющих узлов. Конструкция и размеры.
ГОСТ 21173-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с четырьмя направляющими узлами скольжения. Конструкция и размеры
ГОСТ Р51984-2002 Конвейеры шахтные ленточные. Общие технические условия.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ленточный транспортер представляет собой устройство непрерывного действия, в котором перемещение осуществляется за счёт движения гибкой ленты, выполняющей функции рабочего органа.

Под размерной цепью понимается совокупность последовательно расположенных линейных и угловых размеров, образующих замкнутый контур и определяющих пространственное положение поверхностей одной или нескольких деталей, либо взаимное размещение узлов в составе машины.

Технический ресурс определяется как суммарное время или объем работы объекта, начиная с момента ввода в эксплуатацию (или после соответствующего ремонта), до достижения состояния, при котором дальнейшее использование становится невозможным или недопустимым.

Срок службы – это календарный интервал, на протяжении которого объект эксплуатируется (включая периоды после восстановительного ремонта), до момента его выхода из строя или достижения предельно допустимого состояния.

Металлоконструкции – общее название конструкций из металлов и различных сплавов, используемых в различных областях хозяйственной деятельности человека: строительстве зданий, станков, масштабных устройств, механизмов, аппаратов и т. п.

Конвейерная система – специальное оборудование, собранное в определенного вида конструкцию, которая помогает перемещать, упаковывать, транспортировать грузы, продукцию.

Сфера применения – сфера использования – это пределы и области применения каких – либо объектов, процессов или концепций.

Конвейеры, относящиеся к категории машин непрерывного действия, представляют собой эффективное техническое средство, обеспечивающее автоматизацию производственных процессов путём устранения необходимости в ручной транспортировке строительных материалов, полуфабрикатов и готовых изделий между операциями.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ЛК	– ленточный конвейер;
ГОК	– горно-обогажительный комбинат;
МНТ	– машина непрерывного транспорта;
ПТМ	– подъемно-транспортные машины;
ОКР	– опытно конструкторские работы;
ГПС	– гибкие производственные системы;
РТК	– роботизированные технологические комплексы;
АРИЗ	– алгоритм решения изобретательских задач;
ТРИЗ	– теория решения изобретательских задач;
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина;
ОПР	– верхние и нижние отклонения которые находятся по ГОСТ или нормам;
Р	– параллельность.
НИОКР	– Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
РБЭ	– рабочие башни элеваторов;
ПОБ	– приемно-очистительные (отгрузочные) башни;
МОБ	– молотильно-очистительные башни;
ПБ	– перегрузочные башни;
СОБ	– сушильно-очистительные башни;
СБ	– сушильные башни;
НБ	– норийные башни.

ВВЕДЕНИЕ

«Ленточными транспортерами называют машины непрерывного транспорта, несущим и тяговым элементом которых является гибкая лента. Такие транспортеры нашли широкое распространение. Их применяют для перемещения сыпучих и штучных грузов на короткие, средние и дальние расстояния во всех областях промышленного и сельскохозяйственного производства, при добыче полезных ископаемых, в металлургии, на складах и в портах, используют в качестве элементов погрузочных и перегрузочных устройств, а также машин, выполняющих технологические функции» [1-38]. Ленточные конвейеры отличаются высокой производительностью, достигающей 20 000 т/ч при скорости движения ленты 6–8 м/с и увеличенной ширине конвейерной ленты, что на порядки превышает аналоги других типов транспортирующих систем. Конструктивные особенности оборудования обеспечивают возможность проектирования транспортных маршрутов повышенной сложности, включающих в себя прямолинейные, наклонные и изогнутые участки, проложенные в горизонтальной плоскости. Длина таких горизонтальных ленточных линий в пределах одного участка эксплуатации, как правило, составляет от 3 до 5 километров, с возможностью увеличения до 14 км в специальных случаях. Надежность оборудования обеспечивается простотой конструкции, низкими эксплуатационными требованиями и возможностью автоматизации управления, включая работу в условиях повышенных нагрузок.

Более 70 процентов эксплуатируемых ленточных транспортёров относятся к оборудованию низкой и средней мощности, не превышающей 400 кВт, с длиной транспортных линий до 500 метров. В случае использования высокопроизводительных систем, предназначенных для транспортировки на значительные расстояния, совокупная мощность приводных агрегатов может достигать 10 000 кВт. К основным ограничениям применения подобных конвейеров относят значительную стоимость ленты, которая может составлять до половины общей цены установки, а также дорогостоящие роlikоопоры, достигающие до 30% бюджета на оборудование. Дополнительными недостатками являются возможность утечки сыпучего груза за пределы ленты и затруднённая эксплуатация при перемещении пылевидных веществ, материалов с температурой выше +80 °С и тяжёлых единичных объектов. Максимально допустимый угол наклона трассы составляет 18–20°, превышение которого приводит к снижению эффективности транспортировки. Эксплуатационные параметры регламентируются требованиями к сыпучести, гранулометрии и абразивным свойствам перевозимых материалов.

Надёжная и бесперебойная работа ленточных транспортёров имеет ключевое значение для функционирования всего производственного комплекса, поскольку остановка транспортной системы ведёт к вынужденному простоему предприятия и значительным экономическим потерям. В условиях повышения производительности, усложнения конструктивных решений и ужесточения требований к экологической и трудовой безопасности, усилилось внимание к качеству компонентов транспортёров — в частности, таких как роlikоопоры, прямая и желобчатая лента, приводные станции и несущие металлоконструкции.

Особые нагрузки приходятся на ролики, расположенные в зонах загрузки, где характерны как ударные, так и переменные динамические воздействия. Несмотря на стандартизацию большинства узлов ленточных транспортёров общего назначения, именно ролики выделяются как наиболее массовые и эксплуатируемые элементы.

Качество роликов существенно влияет на работу всей транспортной системы — от долговечности ленты до энергоэффективности установки. Эксплуатационные данные показывают, что расходы на обслуживание и замену роликов могут составлять до 40% затрат на техническое обслуживание и до 30% от стоимости конвейера. При этом сама лента потребляет около 60% эксплуатационных ресурсов.

В связи с этим ролики должны обладать высокой надёжностью, быть экономически оправданными, иметь минимальное сопротивление вращению, обеспечивать точное центрирование ленты и способствовать формированию нужной желобчатой формы. Их конструктивные характеристики напрямую определяют надёжность, энергоёмкость и срок службы всего конвейера.

Засоренность — количество примесей в зерне, выраженное в процентах по массе. К категории сорной примеси относят как органические, так и минеральные включения, включающие семена дикорастущих растений, семена сельскохозяйственных культур, не входящих в зерновую примесь, повреждённые или испорченные зёрна, а также примеси, представляющие потенциальную угрозу качеству продукции.

Семена культурных растений и примесей обладают разнообразными геометрическими параметрами: длиной, шириной и толщиной. По форме выделяют четыре категории:

- семена с неравнозначными размерами (удлиненные злаковые, трехгранные гречишные);
- семена с толщиной, равной ширине (бобовые эллипсоидной формы);
- семена с толщиной, равной длине (шарообразные капустные);
- семена с шириной, равной длине (чечевица, некоторые сорные виды).

Аэродинамические свойства определяются скоростью витания — минимальной скоростью воздушного потока, обеспечивающей равновесие частицы в подвешенном состоянии. Данный параметр варьируется в зависимости от массы, плотности, геометрии и морфологии семян и примесей, что используется для их сепарации.

Состояние поверхности семян коррелирует с видом культуры, степенью зрелости и влажностью. Полновесные спелые семена характеризуются гладкой поверхностью, неполновесные — шероховатой или морщинистой, что служит критерием для разделения.

Плотность семян (γ) определяется биохимическим составом, спелостью и влажностью. Увеличение степени зрелости повышает плотность. При влажности ниже критической легкие семена ($\gamma < 1$) увеличивают плотность, тяжелые ($\gamma > 1$) — снижают; при $\gamma = 1$ плотность остается стабильной. Наличие пор с воздушными включениями (6–35% объема) снижает плотность. На основании данных характеристик возможна сепарация по массе, зрелости и влажности.

Упругость (способность к восстановлению формы после деформации) зависит от плотности и влажности: сухие и спелые семена демонстрируют более высокие показатели.

Оптические свойства, включая цвет, варьируются в зависимости от вида и сорта, что обусловлено различиями в отражении световых волн. Данный признак применяется в оптических сепарационных системах.

Абсолютная масса (масса 1000 семян) отражает усредненный запас питательных веществ, однако не является критерием для разделения смесей из-за статистической природы параметра. Насыпная масса (натура) – масса единицы объема зерновой массы – определяется плотностью семян, их укладкой, влажностью, геометрией и состоянием поверхности. Показатель используется при проектировании емкостей, оценке качества зерна и расчете технологических процессов.

В диссертации применяются современные критерии.

-Критерий целостности – рассмотрение свойств целого и частей в их неразрывном единстве;

-Критерий системности – рассмотрены элементы диссертации как системы, образованной их взаимодействием, это не допускает механического формального объединения разных элементов;

-Связность – обеспечение взаимообусловленности и соотнесенности различных фрагментов текста, что свидетельствует о эффективной последовательности выбранной автором изложения научной информации.

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию.

Актуальность темы исследования

Из анализа работы ленточных транспортеров при работе с сильно засоренными зерновыми культурами установлено, что это комплексная задача транспортирования и хранения, так как засоренность зерна значительно влияет на физико – механические, биологические, экологические свойства. Такое состояние материала требует более внимательного отношения к машинам, при этом значительно меняются условия функционирования всех механических устройств, причина названа выше – Эксплуатация транспортёров в условиях повышенной влажности и высокой концентрации пыли, а также при наличии широкого спектра посторонних включений, сопровождается негативным воздействием этих факторов на основные конструктивные элементы оборудования. Необходимо обеспечить надежное транспортирование, хранение, в том числе и совершенствование аспирационной системы. Повышение производительности ленточных транспортеров возможно совершенствованием конструктивно – режимных параметров желобчатых транспортеров как наиболее перспективных технических решений в этой области, также требуется повысить надежность функционирования силосов для хранения и вентиляторов аспирационной системы. Следовательно, совершенствование транспортеров, силосов и системы аспирации сильно засоренных зерновых культур является актуальной задачей.

Цель исследования

Совершенствование конструктивно – режимных параметров ленточного транспортера и оборудования для работы с сильно засоренными зерновыми культурами

В соответствии с целью исследования в работе были поставлены следующие задачи:

- обосновать направление совершенствования оборудования с сильно засоренными зерновыми культурами;
- обосновать конструктивно – режимные параметры ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами;
- разработать экспериментальные установки для исследования параметров ленточного транспортера;
- разработать новые конструкции узлов ленточного транспортера и других оборудования для работы с сильно засоренными зерновыми культурами;
- дать экономическую оценку проведенных исследований.

Объект исследования

Технологический процесс работы оборудования для работы с сильно засоренными культурами.

Предмет исследования

Закономерности процесса транспортирования и хранения сильно засоренных культур.

Методы исследования

Методы исследования базируются на основных положениях таких наук как подъемно-транспортные машины, техника и технология хранения зерна, машины и аппараты пищевых производств, проектирование зернохранилищ и перерабатывающих производств, методы конечно-элементного анализа.

Экспериментальная часть исследований была выполнена в лабораторных условиях предприятия по производству элеваторного оборудования «Астык».

Для осуществления регистрации электрических параметров использовалось специализированное виртуальное приложение, разработанное в графической среде программирования LabVIEW.

Для определения энергоемкости процесса транспортировки зерна использован лабораторный комплекс «ВП ТОЭ» с соответствующим программным обеспечением.

Для оценки экономической эффективности работы использована методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники.

Научная новизна:

- на основе классификации транспортеров установлены преимущества ленточных конструкций и выбрано направление их дальнейшего совершенствования;
- разработаны новые оригинальные конструкции роlikовой опоры в сборе, опорной рамы силоса, крыши силоса и вентилятора для силоса, позволяющие улучшить их основные технологические характеристики процессов с сильно засоренным зерном;
- разработана математическая модель для определения производительности ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами;
- экспериментально определена зависимость производительности ленточного транспортера от угла наклона боковых роlikов;
- обоснованы конструктивные параметры роlikовых опор для оптимального режима работы ленточного транспортера.

Практическая ценность работы

- получены патенты на полезную модель: роликовой опоры в сборе (№8458) опорной рамы силоса (№8464)), крыши силоса (№8465)и вентилятора для силоса (№8670);

- изготовлены несколько экспериментальных вариантов транспортеров при работе с сильно засоренными зерновыми культурами и транспортер для производственной проверки;

- предложены производству оптимальные конструктивно-режимные параметры транспортера при работе с сильно засоренными зерновыми культурами;

- результаты исследований внедрены в ТОО «Темте» Алтынсаринского района Костанайской области (Приложение О), а так же в учебный процесс НАО КРУ имени Ахмета Байтұрсынұлы, Костанай на кафедре машиностроения(Приложение Р).

Основные положения, выносимые на защиту

- новая конструкция роликовой опоры ленточного транспортера, состоящая из одной поддерживающей ленты роликов, которые закреплены на раме и крыле, при этом она крепится посредством пластин к ленточному транспортеру, отличающаяся тем, что рама изготовлена цельной из стального штампованного профиля;

- новая конструкция опорной рамы силоса, изготовленная из профильного металлопроката и листового металлопроката, состоящая из стоек рамы в количестве шестнадцати штук, соединителя, подрамника, двух пластин, опорного обода из шестнадцати сегментов, пластины-пятки, двух прокладок, опорных стоек, сегментов кольца в форме полумесяца, отличающаяся тем, что для усиления нижнего конуса дополнительно содержит восемь вертикальных опор подрамника, изготовленных из двутавра, с двумя диагональными связями на каждой опоре подрамника;

- новая конструкция крыши силоса, выполненная из оцинкованных элементов, состоящая из рамы и секторов, скрепляемых ребрами жесткости, отличающаяся тем, что крыша имеет конусную форму под углом 32 градуса у основания;

- математическая модель для определения производительности ленточного конвейера;

- результаты экспериментов по определению производительности ленточного транспортера и установленная зависимость производительности от параметров конструкций роликовых опор.

Апробация работы

Международная научно – практическая конференция «Цифровизация и роботизация экономики – глобальный вызов современности.» КСТУ имени З. Алдамжара». Костанай, 2021.

Отчет по выполненной работе на заседании кафедры машиностроение, протокол № 5 от 15.05 2023 г.

Публикации

По результатам работы опубликованы статьи в журналах:

1. Analysis of grain damage by the bucket elevator during loading/unloading. Journal Communications - Scientific Letters of the University of Žilina is under evaluation for inclusion to Web of Science database. Скопys. DOI: 10.26552/com.C.2024.013 ISSN (print version): 1335-4205 ISSN (online version): 2585-7878 University of Žilina, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovakia (Приложение К)

2. Improving the design and operating parameters of the belt conveyor for working with heavily impure grain crops. <https://doi.org/10.52081/bkaku.2021.v59.i4.107>. <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/4061/3239>-СКОПУС. International Journal of GEOMATE, Sept. 2023, Vol. 25, Issue 109, pp.173-180 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2318> Geotechnique, Construction Materials and Environment. Q 3 процентиль 36 (Приложение И).

3. Шаймурунов С.Ж., Бекмырза Ж.А., Рыспаев К.С., Курманов А.К., Караиванов Д.П., Неспбаев А.А. Современные тенденции развития машиностроения. Материалы

Международной научно – практической конференции «Цифровизация и роботизация экономики – глобальный вызов современности», посвященной памяти основателя университета академика З. Алдамжар 6-7 декабря 2021 г. С. 384-388.

4. Ж.А. Бекмырза, К.С. Рыспаев. Ленточные конвейеры для сыпучих грузов. Монография. – Костанай, НАО КРУ им. А. Байтұрсынұлы, 2023 – 175 с. ISBN 978-601-356-099-1.

5. Исследование динамических характеристик ленточного транспортера для работы с сильно засоренными культурами. Вестник ВКТУ имени Д. Серикпаева. Усть-Каменогорск. №1, 2025г. С.25-39. (Приложение М).

6. Совершенствование конструктивно – режимных параметров ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами. Наука и техника казахстана. научный журнал ТОРАЙГЫРОВ Университет. № 1 (2025) ПАВЛОДАР, с. 50-69. (Приложение Н)

Структура и объем работы:

Структура диссертации включает введение, пять основных разделов, обобщённые выводы и восемь приложений. Общий объем работы составляет 105 страниц машинописного текста, в том числе перечень использованных источников, включающий 76 наименований, а также 48 иллюстраций и 40 таблиц.

Работа выполнена в рамках проекта ИРН BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

1 Общее состояние обоснования вопроса внутрискладского транспортирования и хранения сильно засоренных зерновых культур

1.1 Классификация транспортеров

Транспортер – промышленное оборудование с тяговым органом, предназначенное для непрерывного транспортирования грузов в горизонтальной плоскости или под наклоном. Объект на транспортере остается неподвижным относительно тянущего участка. Понятие транспортер более специализировано, нежели конвейер, так как последнее включает в себя не просто перемещение объекта, но и его сборку и обработку. По сути, даже сам производственный процесс, в котором предусмотрено несколько цепочек операций, можно назвать конвейером. Транспортеры делятся по типу направления перемещения груза: строго горизонтальные, наклонные с определенным углом и с переменным углом подъема груза. Производятся транспортеры стационарного типа и передвижного. Передвижной транспортер предусматривает в конструкции наличие колес для перемещения в нерабочем состоянии.

Ленточные транспортеры относятся к категории машин непрерывного действия, в конструкции которых гибкая лента одновременно выполняет функции тягового и грузонесущего элемента. Основное назначение данного типа оборудования заключается в автоматизации технологических операций, повышении производительности труда, снижении эксплуатационных затрат и обеспечении высокого уровня промышленной безопасности. Конструктивно такие устройства, как правило, состоят из двух барабанов — приводного и натяжного — между которыми натянута замкнутая лента. Для предотвращения её провисания и обеспечения стабильного движения предусмотрены системы поддерживающих роликов как для верхней, так и для нижней ветви. Лента изготавливается из синтетических материалов с высокой стойкостью к износу и растягивающим усилиям, что повышает надёжность транспортёра в сложных эксплуатационных условиях. Приведение оборудования в движение осуществляется посредством электродвигателя, вращающего приводной барабан. Что касается области применения, ленточные транспортеры используются для перемещения различных по характеристикам грузов — как сыпучих, так и штучных — на любые расстояния: от нескольких метров до нескольких километров. К таким грузам можно отнести уголь, строительные смеси, руду, металлические компоненты, тарированную продукцию и многое другое. Благодаря своей универсальности и конструкционной простоте, эти установки активно применяются в самых разных отраслях — от машиностроения и строительства до агропромышленного комплекса. «В частности, ленточные конвейеры востребованы: в металлургии, в строительстве, в портовых и складских терминалах, в горнодобывающих шахтах, на предприятиях с поточным производством и т. д. Ключевые преимущества ленточных конвейеров включают их сравнительно малую массу, простоту конструкции, высокую производительность, возможность транспортировки грузов на значительные расстояния, а также удобство визуального контроля за перемещаемым материалом. Кроме того, такие системы позволяют реализовывать как простые, так и сложные конфигурации трасс. [1-39].

Самыми распространёнными и востребованными ленточными транспортерами являются:

- Горизонтальные, перемещающие груз по прямой;
- Наклонные, транспортирующие его под различным углом наклона;
- Желобчатые, транспортерная лента которых имеет либо форму жёлоба, либо трубы;
- Поворотные, перемещающие грузы по нескольким основным линиям, расходящимся в разные стороны; Смешанного типа;
- Мобильные.

Следует заметить, что каждый из вышеперечисленных видов ленточного конвейерно-транспортного оборудования может оснащаться дополнительными устройствами и приспособлениями, которые в значительной степени могут сделать более комфортным его использование. В частности, речь идёт о бункерах, дозаторах, весах, фасовочном оборудовании и так далее (рисунок 1).



Рисунок 1. – Ленточный транспортер.

Ленточные транспортные системы предназначены для перемещения различных типов грузов — сыпучих, кусковых и штучных — на расстояния, достигающие 10 км. Перемещение осуществляется по прямолинейной траектории в горизонтальной плоскости, а в вертикальном направлении возможны участки с наклоном или сложной геометрией трассы. Рабочий орган такого устройства представлен замкнутой лентой, которая перемещается по ряду стационарных роlikоопор (см. рисунок 1).

Для транспортировки крупногабаритных материалов с острыми краями, способными повредить резиноканевое полотно стандартных ленточных механизмов, применяются пластинчатые конвейеры (см. рисунок 2). В их конструкции используется грузонесущий элемент в виде пластин, выполненных из металла, дерева или пластика, жёстко закреплённых на тяговых цепях. Такие устройства обеспечивают

надёжную эксплуатацию при перемещении тяжёлых и абразивных грузов, повышая общую устойчивость транспортной системы к механическим повреждениям. [1-39].

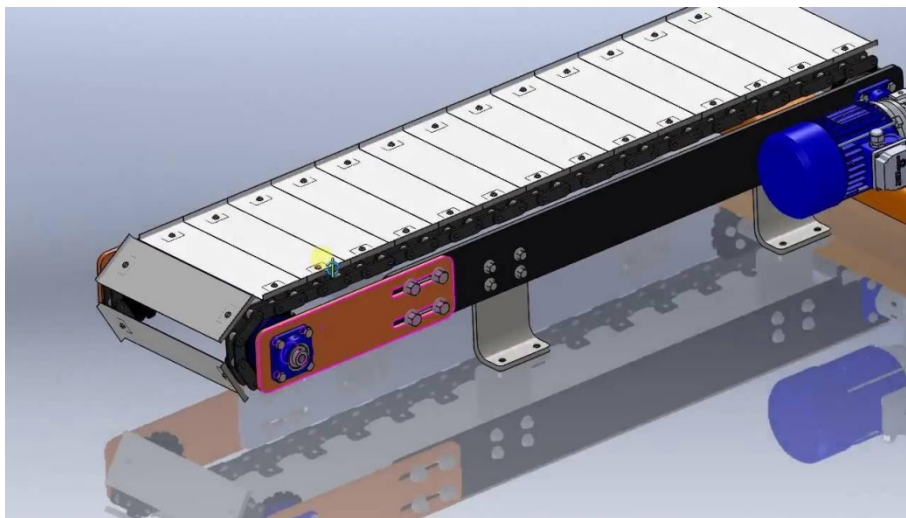


Рисунок 2 – Пластинчатые транспортеры

В связи с крупными размерами перемещаемого материала, скорость движения транспортной ленты ограничена значением не более 1,2 м/с.

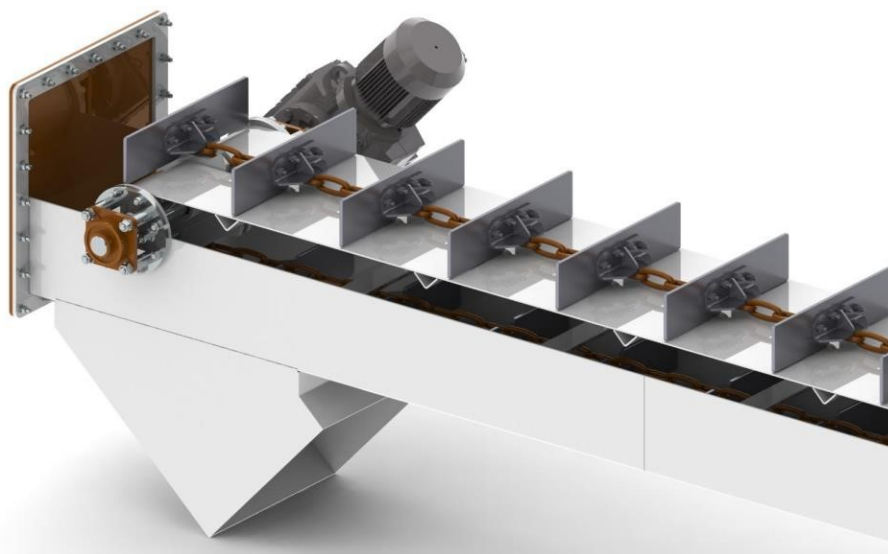


Рисунок 3 – Скребокковые транспортеры.

Скребокковые конвейеры, как правило, применяются для транспортировки сыпучих и кусковых материалов на сравнительно короткие расстояния, не превышающие 100 метров. Перемещение осуществляется посредством специальных скребков, продвигающихся внутри желоба или трубы (см. рисунок 3). Основными недостатками таких систем являются интенсивный износ контактных поверхностей, в частности желобов, а также высокий риск разрушения и измельчения транспортируемого материала. Кроме того, значительные силы трения, возникающие при работе механизма, обуславливают повышенное энергопотребление.

Современные винтовые (шнековые) транспортеры, согласно актуальным технологическим стандартам, предназначены для перемещения порошкообразных и

мелкофракционных грузов. В их конструкцию входит винтовой шнек, заключённый в герметичный металлический желоб, диаметр которого варьируется от 80 до 600 мм, а длина установки может достигать 40 метров. Подобные устройства характеризуются надёжностью и компактностью, что делает их востребованными в различных отраслях промышленности. (Рисунок 4) [1-39].



Рисунок 4- Винтовые транспортеры.



Рисунок 5 – Роликовые транспортеры.

Роликовые конвейерные системы предназначены для транспортировки штучных грузов и подразделяются на гравитационные (свободного качения) и приводные (мотор – роликовые) типы. Перемещение грузонесущего полотна обеспечивается роликами, смонтированными на подшипниковых узлах, что позволяет формировать трассы с криволинейными, откидными и поворотными секциями. Конструктивная особенность таких систем заключается в модульности,

обеспечивающей адаптацию к пространственным конфигурациям производственных линий. Приводные механизмы оснащаются индивидуальными или групповыми двигателями, в то время как гравитационные системы используют силу тяжести для перемещения грузов по наклонным участкам. (рисунок 5).

Классификация транспортёров в первую очередь основывается на типе применяемого тягового и грузонесущего элемента. В зависимости от конструкции, выделяют транспортёры, оборудованные ленточными, цепными и канатными тяговыми органами, а также системы, не содержащие тягового элемента — такие как гравитационные, винтовые и инерционные (см. рисунок 6).

Для транспортёров с тяговым элементом характерно совместное перемещение груза и исполнительного органа на рабочем участке. К данному типу относятся устройства с различными исполнениями грузонесущей части: ленточные, пластинчатые, ковшовые, люлечные, скребковые и другие. Передача тягового усилия может происходить либо непосредственно через грузонесущую ленту, либо посредством органов, продвигающих груз по неподвижным конструктивным элементам — желобам, трубам, настилам и т. д.

В отличие от них, транспортёры без тягового органа функционируют по принципу разделения движения груза и рабочих органов. Последние совершают либо круговое вращение (как в винтовых или роликовых транспортёрах), либо возвратно-поступательные движения (например, в инерционных системах).

В зависимости от способа приведения в действие, транспортёры могут оснащаться машинным приводом — преимущественно электрическим, хотя в отдельных случаях используется пневматический привод. Также существует разновидность транспортных систем, в которых перемещение груза происходит за счёт действия силы тяжести — это гравитационные транспортёры. [1-39].

«Ленточно – цепные транспортеры имели следующие основные параметры:

- производительность – 250-300 т/ч,
- длина – свыше 1000 м,
- скорость движения ленты – 1,3 м/с,
- ширина ленты – 1000 мм,
- мощность двигателя (одного привода) – 85 кВт» [1-39].



Рисунок 6. – Общая классификация транспортеров

Высокая производственная эффективность современных предприятий в значительной степени обеспечивается применением оборудования непрерывного транспортирования. Одним из наиболее востребованных вариантов является ленточный транспортер, отличающийся простой конструкцией, высокой надежностью в эксплуатации и универсальностью — он способен перемещать как сыпучие, так и штучные грузы. Для расширения функциональных возможностей такие системы нередко дополняются вспомогательными устройствами, автоматизирующими процессы подачи и разгрузки материала.

Машины непрерывного действия используются для постоянного перемещения как сыпучих, так и штучных материалов вдоль заранее определённого маршрута. Помимо функции транспортировки, они выполняют задачи по распределению груза по технологическим участкам, формированию складских запасов, а также перемещению между стадиями производственного цикла, обеспечивая его необходимую последовательность и согласованность.

Таким образом, транспортные системы интегрированы в технологическую структуру современных производств. Они задают и стабилизируют ритм производственного процесса, способствуют его упорядочению, повышают уровень механизации и автоматизации, тем самым увеличивая производительность труда и объёмы выпускаемой продукции. На участках функционирования таких транспортных линий устраиваются специализированные зоны для загрузки и выгрузки материалов. [1-39].

В зависимости от способа передачи движущей силы к транспортируемому материалу, машины для перемещения грузов подразделяются на два основных типа: с наличием тягового элемента (например, лента, цепь, канат или штанга) и без такового, к которым относятся винтовые, роликовые установки, а также системы с

вращающимися трубами. Грузонесущие части оборудования могут функционировать в различных режимах движения — прямолинейном, возвратно-поступательном, вращательном или колебательном.

Среди всех разновидностей подобных установок наибольшее распространение получил ленточный транспортер, отличающийся лаконичной конструкцией, устойчивой работой и способностью эффективно перемещать как штучные изделия, так и сыпучие материалы. В модифицированных ленточно-цепных механизмах лента выполняет роль грузонесущего элемента, тогда как одна или две цепи служат в качестве тягового органа. Однако, в условиях горнодобывающих производств, такая конструкция оказалась недостаточно эффективной — в частности, из-за сложности технического обслуживания и ограниченных скоростей движения. Это стало основанием для перехода на более производительные модели.

В процессе разработки технических и эксплуатационных требований особое внимание уделялось сокращению количества типоразмеров и унификации конструктивных элементов ленточных конвейеров. Основу модельного ряда подземных установок составляли два параметра: ширина и прочность ленты. Типоразмеры по ширине определялись согласно системе предпочтительных чисел Б20 (ГОСТ 8032-56), а прочностные характеристики — методическими указаниями НИИ резиновой промышленности.

Классификация транспортёров осуществлялась на основе ширины ленты и условий эксплуатации. Обозначение включало литеру «Л» (ленточный), при необходимости — дополнительные буквенные индексы, отражающие функциональное назначение, и числовое значение ширины ленты в сантиметрах. Это обеспечивало систематизацию типовых моделей.

Распределение моделей по назначению:

- для горизонтальных и слабонаклонных выработок: Л80, Л100, Л120;
- для наклонных выработок (только грузы): ЛУ80, ЛУ100, ЛУ120;
- для транспортировки грузов и людей: ЛЛ100, ЛЛ120;
- для бремсбергов (наклон вниз): ЛБ80, ЛБ100.

«Типоразмер типажного ленточного транспортера определяется прочностью ленты, мощностью унифицированной приводной станции и указывается арабской цифрой слева от обозначения типа, образуя обозначение модели конвейера. Номинальные производительности по углю – в т/ч - составляют ряд, представленный в зависимости от ширины и скорости движения ленты в таблице 1» [39].

Таблица 1. Рекомендуемые параметры производительности типажных ленточных транспортеров от ширины ленты и скорости.

Параметры конвейера	Ширина ленты, мм				
	800	1000		1200	
Производительность, т/ч	270,0	420,0	500,0	850,0	1100,0
Скорость ленты, м/с	1,6	1,6	2,0	2,0	3,15

Ленточные конвейеры классифицируются по углу наклона рабочей трассы:

- горизонтальные и слабо наклонные ($0...+10^\circ$);
- уклонные (от $+7^\circ$ до $+18^\circ$);
- бремсберговые (от -4° до -16°).

Допустимая длина зависит от категории наклона:

- горизонтальные и слабо наклонные участки — 500–3000 м;
- уклонные — 250–1000 м;
- бремсберги — 300–1500 м.

В целях унификации привода были разработаны модели 1ЛУ100 и 2ЛУ100 на базе 1Л100 и 2Л100, с сохранением типа ленты и мощности. Также был модернизирован грузо-людской конвейер 2ЛЛ100 с шириной ленты 1000 мм, конструктивно аналогичный 2ЛУ100. Для него применили резинотросовую ленту РТ-2000 (прочность 200 тс), изначально разработанную для КРУ-900. Однако из-за наличия тканевых прослоек и ограничений по радиусу приводных барабанов, была разработана версия без тканевых вставок.

По расчётам СКБ Красноручского машиностроительного завода был создан бремсберговый конвейер 1ЛБ100 с шириной ленты 1000 мм, длиной до 1600 м при наклоне 4° и приводом 100 кВт. В нём использовалась лента К8-ЗТ с четырьмя тканевыми прокладками и один электродвигатель 100 кВт. Конвейер унифицирован с моделью 1Л100.

Нормативные длины транспортёров с шириной ленты 1200 мм, применяемых в капитальных выработках, приведены в таблице 2 [1–39]. В таблице 3 представлены проектные характеристики подземных магистральных ленточных транспортёров шириной 800, 1000 и 1200 мм [39].

В настоящем исследовании рассматриваются назначение, области применения, технические и габаритные характеристики ленточных транспортёров, типы лент и их свойства, а также графики применимости оборудования. Дополнительно проводится анализ технологических параметров, влияющих на выбор модели в зависимости от горно-геологических условий, включая:

- минутную приёмную способность транспортёра ($Q_{к.пр}$), выраженная в $\text{м}^3/\text{мин}$;
- номинальную техническую производительность (Q_k), выраженная в т/ч.

Таблица 2. – Нормирование длины типовых ленточных транспортёров с шириной ленты 1200 мм., для различных уклонов наклона

Нормированная длина конвейера, м	Типы конвейеров с шириной ленты, 1200 мм.	
	Горизонтальные и слабонаклонные	Уклонные
Максимальная (при угле наклона, град).	2500 - 3500 (0°)	900 – 1500 (7°)
Минимальная (при угле наклона, град).	700 – 1000 (10°)	500 – 700 (18°)

Таблица 3. – Основные технические характеристики подземных магистральных ленточных транспортеров с шириной ленты 800, 1000 и 1200 мм включают следующие параметры:

Наименование модели (в скобках старое наименование по типу)	Ширина ленты, мм	Скорость ленты, м/с	Производительность, т/ч	Максимальная длина, м		Лента				Суммарная мощность привода, кВт	Основное назначение
				при минимальном угле	при максимальном угле	Тип ткани или ленты	Прочность ткани кг на см. ширины	Количество прокладок	Прочность ленты Т		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1Л80* 2Л80 (Л 801)	800 800	1,6 1,6	270 270	622 1190	170 354	УЛХ УЛХ	120 120	4 5	338,5 48	40 80	Для транспортирования угля по горизонтальным участковым выработкам со средним углом наклона до 10°
1ЛБ80* 2ЛБ80 (ЛБ80)	800 800	1,6 1,6	2270 2270	1260 1500	250 400	УЛХ УЛХ	120 120	4 5	338,5 448,0	70 80	Для транспортирования угля по участковым бремсбергам с углом наклона до 16°
3Л80 (Л80П)	800	1,6	70	2540	380	К8-3Т	300	5	120	200	Для транспортирования угля по горизонтальным участковым выработкам и уклонам со средним углом наклона до 10°
3ЛУ80 (Л80П)	800	1,6	270	593	312	К8-3Т	300	4	96	100	Для транспортирования угля по участковым уклонам с углом наклона от 7 до 18°
1Л100 (Л1801)	1000	1,6	420	2150	565	К8-3Т	300	4	120	200	Для транспортирования угля по горизонтальным участковым выработкам и уклонам со средним углом наклона до 10°

«Под приёмной способностью понимается количество угля, которое может принять в единицу времени (минуту) движущаяся лента при наибольшем допустимом заполнении её грузом. Величина приёмной способности устанавливается по ГОСТ Р 51042-97» [40]. Для каждого типоразмера ленточного транспортёра приёмная способность представляет собой фиксированное значение, которое определяется геометрическими параметрами ленты и скоростью её движения. В то же время техническая производительность системы рассчитывается на основе характеристик тягового элемента, включая его мощность и прочность. В отличие от приёмной способности, производительность является переменной величиной и зависит от таких факторов, как общая длина трассы, угол её наклона, а также наличие криволинейных участков на маршруте перемещения.

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1ЛБ100 (ЛБ100)	1000	1,6	420	160	450	К8-3Т	300	4	120	100	Для транспортирования угля по участковым и капитальным бремсбергам с углом наклона до 16°
1ЛУ100	1000	1,6	420	600	250	К8-3Т	300	4	120	200	Для транспортирования угля по участковым и капитальным уклонам с углом наклона от 7 до 18°
2Л100 (1Л100П)	1000	2,0	500	3100	900	К8-3Т	300	6	180	500	Для транспортирования угля по горизонтальным участковым выработкам и уклонам со средним углом наклона до 10°
2ЛБ100***	1000	2,0	500	---	1200	К8-3Т	300	6	180	250	Для транспортирования угля по капитальным бремсбергам с углом наклона до 16°
2ЛУ100 (2Л100)	1000	2,0	500	1140	585	К8-3Т	300	6	180	500	Для транспортирования угля по участковым капитальным уклонам с углом наклона от 7 до 18°
2ЛЛ100 (3Л100)	1000	2/1	500	1100	570	РТ	2000	---	200	500	То же, для угля и перевозки людей
1Л120 (1Л120П)	1200	2	850	2540	710	К8-3Т	300	6	216	500	Для транспортирования угля по капитальным горизонтальным выработкам и уклонам со средним углом наклона до 10°
1Л120 (1Л1201)	1200	2	850	970	500	К8-3Т	300	8	290	500	Для транспортирования угля по капитальным уклонам с углом наклона от 7 до 18°

Продолжение таблицы 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2Л120 (2Л120)	1200	3,15	1100	3920	1150	РТ	2000	---	240	1200	Для транспортирования угля по капитальным горизонтальным выработкам и уклонам со средним углом наклона до 10°
2ЛУ120*	1200	3,15	1100	1500	800	РТ	3000	---	360	1200	Для транспортирования угля по капитальным уклонам с углом наклона от 7 до 18°
2ЛЛ120 (3Л120)	1200	3,15/ 1	1100	1500	800	РТ	4000	---	480	1200	То же, для угля и перевозки людей

Примечание: Для конвейеров 2ЛЛ100 и 2ЛЛ120 в числителе указана скорость транспортирования груза, а в знаменателе скорость транспортирования людей

В таблице 4 представлены основные технические параметры подземных ленточных конвейеров параметрического ряда, разработанных во втором варианте конструктивного исполнения. Приведённые данные отражают ключевые характеристики транспортёров, включая ширину ленты, допустимую длину трассы, скорость движения, производительность, а также типы приводных и натяжных устройств. Данный параметрический ряд был сформирован с учётом условий эксплуатации в подземных горных выработках различного профиля и степени наклонности. [41].

Таблица 4. – Основные параметры подземных конвейеров параметрического

ряда.

Обозначение модели	Приёмная способность конвейера м³/мин		Ширина ленты, мм	Скорость ленты, м/с	Пределы рационального использования производительности		Суммарная мощность привода, кВт	Основное назначение	Завод изготовитель
	Стационарная установка	Полустационарная установка			Минимум т/ч	Максимум т/ч			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1Л80	7,2 9,3	6,5 6,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	40	Для участков выработок с углами от -3 до +6°	Александровский
1ЛТ80	- -	6,5 6,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	40	Для участков выработок с углами от -3 до +6°, непосредственно примыкающих к лаве	--«--
1ЛБ100	7,2 9,3	6,5 8,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	40	Для участков бремсбергов с углами наклона от -3 до -16°	--«--
2Л80	7,2 9,3	6,5 8,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	До 110	Для участков выработок с углами от -3 до +6°	--«--

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2ЛТ80	- -	6,5 8,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	До 110	Для участков выработок с углами от -3 до +6°, непосредственно примыкающих к лаве	--«--
2ЛБ80	7,2 9,3	6,5 8,4	800	1,6 2,0	100 150	330 420	До 110	Для участков бремсбергов с углами наклона от -3 до -16°	Александровский
1ЛН80	4.7/3,5	---	800	1,6	50	200	200	Для уклонов с углами наклона от +18 до +25°	--«--
1Л100	11,2	---	1000	1,6	150	530	200	Для выработок с углами наклона от -6 до +6°	--«--
1ЛТ100	---	10,1 15,7	1000	2,5	150 500	530 840	До 300	Для выработок с углами наклона от -10 до +10°, непосредственно примыкающих к лавам	Краснолучский
1ЛУ100	11,2	---	1000	1,6	200		200	Для уклонов с углами наклона от +6 до +18°	--«--
1ЛБ100	11,2	10,1	1000	1,6	150	530	100	Для бремсбергов с углами наклона от -3 до -16°	--«--
1Л100К	11,2	10,1	1000	1,6	150	530	100	Для участков выработок с углами от -3 до +18°	--«--
1ЛУ100	13,3	---	1000	2,0	250	680	500	Для капитальных уклонов с углами наклона от +6 до +18°	--«--

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2ЛТ100	---	15,7	1000	2,5	500	840	500	Для выработок с углами наклона от -12 до +10°, непосредственно примыкающих к лавам	--«--
2ЛЛТ100	11,2	---	1000	1,6		550	500	Для капитальных уклонов с углами наклона от +6 до +18°	--«--
1ЛУ120	25	---	1200	2,5	450	1200	500	Для капитальных выработок с углами наклона от 0 до +18°	Александровский
2ЛБ120	31,6	---	1200	3,15	300	1400	1000	Для капитальных выработок с углами наклона от -3 до -16°	--«--
2ЛУ120А Б В	31,6	---	1200	3,15	700	1400	1000	Для капитальных выработок с углами наклона от 0 до +18° и наклонных стволов с углами наклона до 18°	--«--
	31,6	---	1200	3,15	700	1400	1500		
	31,6	---	1200	3,15	700	1400	1000		
2ЛУ160 А Б В	53,0	---	1600	3,15	1000	3000	1000	--«--	Сызранский
	53,0	---	1600	3,15	1000	3000	1500		
	53,0	---	1600	3,15	3000	3000	2000		

Примечания. Для конвейеров, устанавливаемых в выработках с углами наклона от -12° до +10°; от -3 до +18° и от -3 до -16°, в таблице дана приёмная способность при установке в выработках с углом от 0° до +6°. При установке в выработках с большим углом наклона приёмная способность должна быть уменьшена на 5%. Выпускается модификация конвейера 1ЛУ100 с резинотросовой лентой, при тех же остальных параметрах с обозначением 1ЛУ100М.

В отечественной практике проектирования шахтных ленточных конвейеров реализован подход поблочной (модульной) унификации приводных узлов, направленный на повышение технологичности сборки, ремонтпригодности и стандартизации конструктивных компонентов. В рамках данной концепции для всех типов и модификаций транспортёров применяется унифицированная система маркировки, отражающая ключевые параметры оборудования — в частности, ширину ленты (в миллиметрах или сантиметрах), функциональное назначение установки и её типоразмер. Данная система обеспечивает упорядоченность номенклатуры и способствует рациональному подбору технических решений в соответствии с условиями эксплуатации.

Маркировка типа «1Л80У» расшифровывается следующим образом: «1» — типоразмер, «Л» — ленточный транспортер, «80» — ширина ленты в сантиметрах, «У» — предназначен для угольных шахт. Если в обозначении присутствует «П» (например, «1ЛПТ1200»), это указывает на промежуточный привод, а «Т» — на наличие телескопического натяжного механизма, позволяющего изменять длину транспортера. Двойная «П» (например, «2ЛПП1000А») означает возможность применения двух промежуточных приводов, один из которых выполняет функцию разгрузочного барабана («ложный сброс»).

Александровским машиностроительным заводом выпускаются также шахтные ленточные транспортеры серии ЛТА с шириной ленты от 800 до 1400 мм, производительностью 600–2600 т/ч и возможностью телескопического выдвижения ленты до 200 м при угле наклона от -3° до +12°.

Таблица 5. — Основные технические данные ленточных транспортеров ОАО

«Александровский машиностроительный завод»

Тип конвейера	Максимальная производительность, т/ч	Скорость движения ленты, м/с	Приемная способность, м³/мин	Ширина ленты, мм	Суммарная мощность привода, кВт	Крупность кусков горной массы, не более, мм	Угол наклона установки конвейера (от ...до), град
1	2	3	4	5	6	7	8
1Л80У	420	2,0	8,2	800	55	300/150	-10+10*
1Л80У	520	2,5	10,2	800	55	300/150	-3...+6
1ЛТ80У (двух модификаций)	420/520	2,0/2,5	8,2/10,2	800	55	300/150	-3...+6
1ЛТП80У (двух модификаций)	420/520	2,0/2,5	8,2/10,2	800	55	300/150	-3...+6
2Л80У	420	2,0	8,2	800	2x55	300/150	-16+18
2Л80У-01	520	2,5	10,2	800	3x55	300/150	-16+18
2ЛТ80У	420	2,0	8,2	800	2x55	300/150	-10+10
2ЛТ80У-01	520	2,5	10,2	800	3x55	300/150	-3+18
2ЛТП80У (двух модификаций)	420/520	2,0/2,5	8,2/10,2	800	2x55	300/150	-10+10
1Л1000А	710	2,0	14,0	1000	2x55	500/300	-10+10
1Л1000А-01 (с дополнительным приводным блоком)	890	2,5	17,5	1000	3x55	500/300	-3+10
1ЛТ1000А	710	2,0	14,0	1000	2x55	500/300	-10+10
1ЛТ1000А-1 (с дополнительным приводным блоком)	890	2,5	13,4	1000	3x55	500/300	-3+18

Продолжение таблицы 5.

1	2	3	4	5	6	7	8
2Л1000А; 2ЛК1000А (с жестким или канатным ставом),	710	2,0	14,0	1000	2x110	500/300	-16+18
2Л1000А-01; ЛК1000А-01 (с жестким или канатным ставом и дополнительным приводным блоком),	890	2,5	17,5	1000	3x10	500/300	-3+18
2ЛТ1000А; 2ЛТК1000А(с жестким или канатным ставом),	710	2,0	14,0	1000	2x110	500/300	-10+10*)
2ЛТ1000А-01; 2ЛТК1000А-01 (с жестким или канатным ставом и дополнительным приводным блоком)	890	2,5	13,4	1000	3x110	500/300	-3+10
3Л1000А (двух модификаций)	70/840	2,0/2,5	14,0/17,5	1000	2x250	500/300	-3+18
3Л1000А-01 (с дополнительным приводным блоком)	1060	3,15	22	1000	3x250	500/300	-3+18
3ЛЛ1000А	840	2,5	17,5	1000	2x250	500/300	-3+18
3ЛЛ1000А-01 (с дополнительным приводным блоком)	1060	3,15	22	1000	3x350	500/300	-3+18
3ЛН1000А	710	2,0	22	1000	2x250	400/200	+25
3ЛК1000А (двух модификаций)	710/840	2,0/2,5	13,0/16,5	1000	2x250	500/300	-3+18

Также производятся модификации стационарных ленточных транспортёров серии ЛА, предназначенных для промышленного применения. Эти установки комплектуются лентами шириной 1000, 1200, 1400 и 1600 мм, при этом их производительность варьируется в пределах от 1500 до 3200 тонн в час. Конструкцией предусмотрена возможность работы под углами от -10° до +12°, что обеспечивает гибкость применения в различных условиях. Дополнительно предусмотрена

установка промежуточного привода типа «ложный сброс», а также интеграция телескопического натяжного механизма, обеспечивающего регулировку длины транспортной трассы.

1.2 Физико-механические свойства транспортируемого сильно засоренного зерна

Зелёные растения преобразуют солнечную энергию в органические вещества посредством фотосинтеза, используя углекислый газ и воду. Этот процесс лежит в основе жизнеобеспечения человека и животных. Особую значимость имеют сельскохозяйственные культуры, формирующие сухие плоды — злаки, бобовые, масличные и др. Созревшие зерновки содержат 7–17 % влаги, остальное приходится на сухие вещества (около 90 % массы), включающие белки, углеводы, жиры, минералы и витамины, жизненно важные для питания.

В аграрной практике под «культурой» понимается вид растения, а под «зерном» — его урожай. Учёт сырья ведётся по партиям, представляющим собой однородную по качеству и количеству массу зерна.

Обобщённо термин "зерно" применяется к семенам злаков и бобовых. При этом понятие «зерновая масса» часто используется для обозначения смеси семян и примесей (вороха), собранной в ходе уборки урожая и поступающей из бункеров зерноуборочной техники. [43]. С позиций обеспечения устойчивого и длительного хранения зерна критически важным является текущее состояние зерновой массы, определяемое совокупностью её фундаментальных характеристик. К числу таких характеристик относят:

- Физические параметры, включающие геометрические размеры зерновок и примесей, показатель сыпучести, выраженность самосортировки, насыпную плотность и скважистость, обусловленную пористостью зерновой массы;
- Физико-химические свойства, среди которых особую роль играют сорбционная способность, влагоудерживающие характеристики, теплопроводность, температуропроводность, а также показатели термо- и массопереноса, отражающие интенсивность миграции тепла и влаги;
- Физиологическое состояние, выражающееся в интенсивности дыхания, активности послеуборочного дозревания, способности к прорастанию, степени поражённости микроорганизмами и вредителями, а также в склонности зерновой массы к самосогреванию в результате биохимических и микробиологических процессов.

Таким образом, состояние зерновой массы представляет собой комплексное отражение её физико-химического и биологического статуса, зависящего от зрелости и свежести зерна, уровня влажности, засоренности и травмированности, температуры, наличия вредителей и последствий воздействия фитопатогенных факторов, в том числе самосогревания и термического воздействия при сушке. Характеристики зерна могут быть существенно улучшены за счёт целенаправленного применения технологических процедур, таких как сушка и очистка. Именно управление этими параметрами с целью обеспечения надёжного хранения и является одной из приоритетных задач в системе хранения зерновой продукции.

Оценка качества зерна основывается на комплексе технологических и биологических свойств, определяющих соответствие продукции действующим нормативам или прогнозируемым требованиям в условиях хранения и переработки. В зависимости от природы показателей, они группируются по определённым критериям (см. таблицу 7).

Гранулометрические параметры, такие как длина, ширина, толщина и диаметр зерновок, являются основополагающими при разработке и настройке сепарационных систем. В случае, если максимальный размер зерновки составляет менее 3 мм, такое зерно квалифицируется как мелкосеменное. Эти данные играют решающую роль при выборе технических элементов для сортировочного оборудования — в частности, сит зерноочистительных машин и ячеек триерных цилиндров.

Кроме того, объёмные свойства — включая объём одной зерновки, скважистость и насыпную плотность — опосредованно влияют на параметры очистки и переработки. Так, скважистость, обусловленная пористостью зерновой массы, учитывается при проектировании аэрационных систем и корректировке режимов технологической обработки.

Морфологические свойства включают выполненность и щуплость зерна, зависящие от степени налива. Выполненные зерна характеризуются высокой плотностью, крупными размерами и глянцевой поверхностью, что коррелирует с повышенным содержанием питательных веществ. Щуплые зерна, напротив, имеют уменьшенные размеры, морщинистую поверхность и сниженную биологическую ценность. Причинами щуплости выступают агротехнологические факторы: засуха, термические повреждения (подгар), грибковые и вирусные инфекции, а также фитосанитарные нарушения (вредители).

Таблица 7 – Классификация показателей качества зерна

Ботанико-физиологические показатели	Органолептические и физико-химические показатели	Технологические свойства
– Культура (род растения), вид, форма (озимая, яровая); – Сортные, морфологические и анатомические особенности; – Цвет, запах, вкус (характерные); – Всхожесть и энергия прорастания.	– Цвет; – Запах; – Вкус; – Влажность; – Форма, крупность; – Выполненность; – Выравненность по крупности; – Скважистость; – Масса 1000 зерен; – Стекловидность; – Натура; – Зольность; – Содержание сорной и зерновой примеси; – Плотность; Прочность; – Пленчатость и лузжистость; – Количество и качество клейковины; – Химический состав и др.	– Мукомольные; – Хлебопекарные; – Крупажные; – Макароны; – Другие свойства в зависимости от назначения зерна как сырья для переработки.

«Выравненность – понятие, характеризующее степень однородности отдельных зерен в зерновой массе (партии зерна) по размерам, цвету, влажности, химическому составу и по другим показателям» [43]. В практической агротехнологии термин «выравненность» трактуется как степень однородности зерновой массы по фракционному составу, то есть по размеру отдельных зерновок. Количественно данный параметр определяется отношением массы фракции, прошедшей сквозь сито, к массе остатка на его поверхности. Существенным морфометрическим показателем, отражающим как размер, так и плотностные характеристики зерна, является масса 1000 зерен. Этот параметр отражает массу стандартной выборки и служит индикатором крупности зерна, демонстрируя заметные колебания даже в пределах одного вида сельскохозяйственных культур.

Стекловидность зерна — важный сортовой признак, особенно для пшеницы. Она определяется генетикой, агроклиматическими условиями и особенностями уборки. По внутренней структуре зерно может быть стекловидным, мучнистым или смешанным с разной степенью стекловидности. Количественная оценка проводится в процентах содержания стекловидных зерен в исследуемой массе. Данный показатель имеет важное значение в оценке технологических качеств зерна, особенно в аспекте выхода муки и содержания крупитчатой фракции.

Пленчатость и лужистость — морфологические характеристики, отражающие долю оболочек в составе зерновки. Пленчатость обусловлена цветковыми, плодовыми или семенными оболочками (ячмень, овёс, просо, рис, гречиха, клещевина). У масличных культур, таких как подсолнечник и сафлор, используется термин лужистость, отражающий содержание шелухи, влияющее на переработку и питательные свойства сырья.

В случае масличных культур (подсолнечник, сафлор) для аналогичной характеристики используется термин «лужистость». Чем выше содержание этих оболочек, тем ниже пищевая ценность зерна и тем сложнее его переработка. Высокая степень пленчатости затрудняет технологические процессы и увеличивает затраты на производство продуктов переработки.

Плотность и масса оболочек также оказывают влияние на конечный выход крупы: чем тяжелее и толще плёнки, тем меньше доля съедобной части. Количественные значения содержания оболочек в зерне зависят от вида культуры и могут значительно колебаться, что обязательно учитывается при проектировании линий очистки и переработки.

Овес.....	18–46	Рис.....	16–24
Ячмень	7,5–15	Гречиха.....	18–28
Просо	12–25	Подсолнечник.....	35–78

Объёмная масса (натура) зерна представляет собой массу одного литра зерновой массы с учётом объёма, занимаемого межзерновыми пустотами. Этот параметр является одним из ключевых при оценке качества зерна различных

сельскохозяйственных культур. Значения натуры по основным культурам представлены в таблице 8.

На величину натуры оказывают влияние целый ряд факторов, включая форму зерновок, степень их крупности, влажность, содержание оболочек (пленчатость), плотность структуры, степень выравненности, а также присутствие посторонних примесей. От этого показателя во многом зависит выход готовой продукции при переработке. При прочих равных условиях, зерно с более высокой натурой считается более ценным с технологической и хозяйственной точки зрения.

Таблица 8– Натура зерна

Культура	Натура, г/л		
	высокая	средняя	низкая
Пшеница	Свыше 785	746–785	745 и ниже
Рожь	Свыше 715	676–715	675 и ниже
Ячмень	Свыше 605	546–605	545 и ниже
Овес	Свыше 510	461–510	460 и ниже
Подсолнечник	Свыше 460	431–460	430 и ниже

Скорость витания зерна [43]. При выполнении технологических операций с зерновой массой — таких как очистка, сушка и вентиляция — необходимо учитывать её аэродинамические свойства. В частности, важным параметром является коэффициент аэродинамического сопротивления, который зависит от формы, размеров и текстуры поверхности зерна. Одним из ключевых показателей выступает скорость витания — это скорость воздушного потока, при которой сила аэродинамического сопротивления уравновешивает силу тяжести, действующую на зерновку или примесь. Знание этого параметра важно для корректной настройки воздушных сепараторов и других машин, работающих по принципу пневмосортировки.

При уборке, транспортировке и переработке зерно подвергается механическим повреждениям: трещинам, царапинам, деформации зародыша, сплющиванию и разрушению оболочки. Эти дефекты ухудшают посевные и технологические качества, особенно критичны для семенного материала. Даже мелкие, незаметные трещины могут снизить жизнеспособность. Повреждённость измеряется в процентах и влияет на выход готовой продукции.

Зерно всегда содержит примеси, попадающие в массу при уборке, транспортировке и хранении. Они ухудшают перерабатываемость и качество продукции, поэтому подлежат обязательному удалению. Примеси делятся на сорные (непригодные к использованию и вредные) и зерновые (сниженной ценности, пригодные для кормовых или технических нужд).

Нарушение санитарных условий способствует появлению вредителей, которые повреждают зерно, загрязняют его и могут повредить хранилища. Борьба с ними требует системных мер: дезинфекции, санитарной обработки и соблюдения гигиенических норм.

Крысы, мыши и птицы поедают зерно и загрязняют его, распространяя инфекции. Необходимы профилактические меры: герметизация складов,

отпугивающие средства и дератизация. Всё это входит в обязательную систему сохранения зерна. Засорённость зерна представляет собой количественный показатель, выраженный в процентах, который отражает содержание различных примесей в общей массе зерна. В эту категорию входят органические и минеральные включения, семена дикорастущих растений и культур, не относящиеся к целевому зерну, повреждённые или испорченные зёрна, а также потенциально опасные (вредные) примеси.

Определение степени засорённости осуществляется путём ручного анализа проб зерна, с применением сита для ускорения и облегчения процесса. Специалисты Алтайского филиала ФГБУ «Центр оценки качества зерна» подчёркивают, что зерновая масса по своей природе неоднородна, так как при уборке, транспортировке и хранении в неё могут попадать различные посторонние включения. Наличие этих примесей снижает общее качество продукции, увеличивает объёмы технологической очистки и, соответственно, повышает себестоимость переработки.

Кроме того, определённые виды примесей могут содержать токсичные вещества, представляющие опасность для здоровья человека и животных. Именно по этой причине строгое ограничение на содержание посторонних элементов в зерне является важным требованием как с технологической, так и с санитарной точки зрения. [43,44].

Содержание сорных примесей влияет и на количество микроорганизмов в зерне. Зерно после уборки имеет влажность от 7 до 30 процентов, а сорные примеси могут иметь влажность от 40 до 80 процентов, поэтому на их поверхности присутствует очень много микроорганизмов. Эти микроорганизмы могут попадать с примесей на зерно. Кроме того, при транспортировке зерна, особенно при перемещении его на хранение, происходит процесс самосортирования, в результате сорная примесь собирается на периферийных участках зерновой насыпи, то есть около стенок бункера, а именно периферийные участки наиболее подвержены перепадам температур, вследствие которых образуется конденсат. Наличие влаги способствует активному развитию микроорганизмов и самосогреванию (увеличению температуры зерновой массы, связанному с дыханием зерна), – рассказывают специалисты.

Значительная часть примесей в зерновой массе состоит из плодов и семян сорных растений, которые растут на полях среди культурных культур. Сорные растения наносят значительный ущерб, отбирая у ценных культур воду и питательные вещества, что приводит к снижению урожайности.

Несмотря на борьбу с сорняками на полях (агротехнические методы: вспашка, прополка; введение карантина), при сборе урожая плоды и семена сорняков попадают в зерновую массу, что влечет за собой проблемы при хранении и переработке зерна.

«Углом естественного откоса ϕ насыпного груза называется угол между образующей конуса из свободно насыпанного груза и горизонтальной плоскостью. Этот угол зависит от взаимной подвижности частиц груза. Например, у воды он равен нулю» [43]. При транспортировании сыпучих материалов, таких как зерно, наблюдается снижение значения угла естественного откоса вследствие частичного нарушения устойчивого состояния насыпи. Угол естественного откоса в движении (ϕ_e)

определяется как доля угла откоса в состоянии покоя (φ) и количественно выражается в следующем виде:

$$\varphi_d = (0,45 \div 0,5) \cdot \varphi$$

Где:

φ_e — угол естественного откоса материала в движении,

φ — угол естественного откоса в покое.

Подвижность частиц сыпучего груза обусловлена совокупностью сил сцепления между отдельными фракциями и силы трения, возникающей при их относительном перемещении. В зависимости от этих характеристик материалы подразделяются на три группы: с высокой, средней и низкой подвижностью. Значения угла естественного откоса φ для различных материалов варьируются в пределах 30–60°. Для зерновых культур, таких как пшеница, ячмень и рожь, характерны следующие физико-механические параметры:

- **Насыпная плотность (ρ):** 0,6–0,8 т/м³;
- **Угол естественного откоса в покое (φ):** 30–35°;
- **Коэффициент трения в состоянии покоя:**
 - по стальной поверхности — 0,6;
 - по резиновой поверхности — 0,7;
- **Абразивность:** группа А (высокая), что указывает на интенсивное абразивное воздействие на элементы транспортного оборудования.

Указанные характеристики являются ключевыми при проектировании ленточных транспортеров и расчете их эксплуатационных параметров.

«Плотностью груза называется отношение его массы к занимаемому объему.

Различают плотность груза свободно насыпанного (разрыхленного), механически уплотненного, а также в естественном плотном массиве» [43]. Механическое уплотнение сыпучих материалов может быть достигнуто посредством равномерного обжатия или применения вибрационных воздействий (виброуплотнения). В результате подобных мероприятий плотность материала может возрасти в пределах от 5 до 50 % в зависимости от его физико-механических свойств.

Плотность в естественном массиве отражает состояние груза в его природной, неразрыхлённой форме. Для количественной оценки степени разрыхления материала применяется **коэффициент разрыхления (k_p)**, определяемый соотношением:

$$k_{px} = \rho_m / \rho \quad (2)$$

Где:

ρ_m — плотность груза в массиве, т/м³;

ρ — плотность груза в разрыхлённом состоянии, т/м³.

Плотность сыпучих грузов зависит от размеров частиц (гранулометрического состава) и их влажности, вследствие чего коэффициент разрыхления для различных материалов принимает индивидуальные значения.

Влажность насыпного груза определяется как отношение массы воды, содержащейся в пробе, к массе абсолютно сухого материала, полученной в

результате высушивания при температуре 105 °С. Величина влажности выражается в процентах и рассчитывается по формуле:

$$W_B = (m_B - m_C) / m_C * 100\% \quad (3)$$

Где:

m_B — масса влажного груза, кг;

m_C — масса груза после полного высушивания, кг.

Данные параметры играют ключевую роль при расчётах транспортных, погрузочно-разгрузочных и складских операций, влияя на выбор оборудования и режимов его работы.

Термин «зерновая масса» обозначает совокупность зёрен сельскохозяйственных культур (злаковых, бобовых, масличных), а также содержащихся в ней примесей, воздуха (или другой газовой среды), заполняющего межзерновое пространство, и микроорганизмов. Кроме того, в состав могут входить вредители хлебных запасов, продукты их жизнедеятельности и различные инородные включения.

С физической точки зрения зерновая масса является двухфазной сыпучей системой, состоящей из твёрдой фазы (зерна и примесей) и газообразной среды (воздуха), заполняющего межзерновое пространство и активно взаимодействующего с твёрдой составляющей.

Для целей хранения важнейшее значение приобретают физические свойства данной системы. К числу таких характеристик относят:

- сыпучесть — способность массы свободно перемещаться под действием силы тяжести;

- склонность к самосортировке — изменение структуры массы в процессе перемещения, при котором происходит разделение по фракциям;

- скважистость — доля пустот между зёрнами, влияющая на тепло- и влагообмен;

- аэродинамические свойства — определяют сопротивление движению воздуха внутри зерновой толщ;

- сорбционные свойства — отражают способность зерна и примесей поглощать и отдавать влагу;

- тепло- и массообменные характеристики — описывают поведение зерновой среды

Совокупность этих параметров формирует хранительную способность — способность зерна сохранять свои свойства в течение длительного времени.

Сыпучесть обусловлена структурой массы: зерно состоит из множества подвижных частиц. Например, в одной тонне пшеницы насчитывается около 30–40 млн зерновок, а в таком же объёме проса — до 150–190 млн.

Одним из главных показателей, описывающих поведение сыпучей массы, является угол трения — минимальный угол наклона поверхности, при котором начинается скольжение зерна. Если скольжение происходит «зерно по зерну», то это называется углом естественного откоса — он равен углу между основанием и наклонной стороной насыпи, образующейся при свободном падении зерна на горизонтальную плоскость.

Коэффициент плотности укладки зерна при его загрузке определяется как отношение объема твёрдой фазы (зерна) к полному объёму, занимаемому зерновой массой, и вычисляется по следующей формуле:

$$K = V_T / V \quad (4)$$

Где:

V_T – объем твердой фазы зерновой массы, м^3 ;

V – общий объем зерновой массы, м^3 .

Скважистость зерновой массы является важным физическим параметром, определяющим объём межзернового пространства и существенно влияющим на процессы хранения, вентилирования и сушки зерна. Степень скважистости обусловлена способом укладки частиц и их геометрическими характеристиками.

Коэффициент скважистости определяется как отношение объёма межзерновых пустот к полному объёму зерновой массы и рассчитывается по следующей формуле:

$$S = (V - V_T) / V \quad (5)$$

Где:

S – коэффициент скважистости (безразмерная величина);

V – общий объём зерновой массы, м^3 ;

V_T – суммарный объём твёрдой фазы (зёрен) внутри данной массы, м^3 .

Скважистость зерновой массы формируется под воздействием совокупности факторов, включая геометрические параметры зерновок, характер и объём примесей, а также особенности укладки. Данный показатель отражает степень пористости зерновой насыпи и оказывает существенное влияние на процессы воздухо- и влагообмена, протекающие в толще зерна при хранении и переработке. Самосортирование представляет собой явление, заключающееся в нарушении исходной однородности зерновой массы, возникающее при её транспортировке (в том числе посредством ленточных конвейеров), а также в процессе загрузки в ёмкости хранения, железнодорожные и автомобильные вагоны, контейнеры и другие транспортные средства. Подобное перераспределение обусловлено различиями в удельной массе, плотности, аэродинамических характеристиках, а также в форме и степени парусности отдельных частиц — как основного зерна, так и примесей. В результате самосортирования происходит фракционное расслоение материала, что может привести к неоднородности технологических и качественных показателей зерна в различных участках насыпи.

Аэродинамическое сопротивление зерновой массы определяет её взаимодействие с воздушным потоком и влияет на толщину обрабатываемого слоя, которая может варьироваться от миллиметров до метров в зависимости от технологических задач. Сорбционные свойства отражают способность зерна поглощать и выделять влагу, газы и летучие вещества. Обмен влагой прекращается при достижении равновесной влажности — состояния, при котором парциальное давление водяного пара зерна и воздуха уравнивается.

Теплофизические свойства важны при хранении: теплоёмкость характеризует количество тепла, необходимое для изменения температуры зерна, а

теплопроводность — его способность передавать тепло. Из-за органической природы и пористой структуры теплопроводность зерна остаётся низкой. При повышении влажности до 18 % она возрастает, но при дальнейшем увлажнении снова снижается.

Температуропроводность определяет скорость нагрева или охлаждения массы. Она увеличивается с ростом теплопроводности и уменьшается при повышении теплоёмкости и плотности зерна.

Термовлагопроводность зерна — это способность перераспределять влагу внутри зерновой массы под воздействием температурного градиента. Влага перемещается из более тёплых областей в холодные, даже при низкой общей влажности, что влияет на равномерность увлажнения и устойчивость зерна в процессе хранения.

Термостойкость зерна определяется биохимическим составом и биологической природой материала. Отдельные вещества, входящие в состав зерна, проявляют высокую чувствительность к температурным воздействиям, демонстрируя различную реакцию на нагревание. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании процессов сушки и хранения.

Хранительная способность зерна характеризует временной интервал, в течение которого зерновая масса сохраняет свои исходные физико-химические и технологические свойства, позволяющие использовать её по прямому назначению. Данный показатель зависит от уровня зрелости, влажности, микробиологического состояния и условий хранения, и, как правило, оценивается в месяцах или годах.

Жизнедеятельность зерновой массы обусловлена активностью живых организмов, находящихся в её составе. В свежееубранном зерне продолжают биологические процессы, включая послеуборочное дозревание, которое протекает при благоприятных внешних условиях. Этот этап сопровождается дыханием — аэробным или анаэробным распадом веществ. Научные исследования подтверждают, что свежееубранные партии часто не соответствуют посевным и технологическим требованиям, однако в процессе хранения происходят биохимические преобразования, улучшающие их качество.

Послеуборочное дозревание семян представляет собой совокупность внутренних преобразований, происходящих на молекулярном уровне в свежееубранных семенах определённых видов и сортов растений. Эти процессы обеспечивают переход из состояния покоя к активной жизнедеятельности, включая активацию ферментативной системы и повышение физиологической активности. В то же время, преждевременное прорастание в условиях хранения крайне нежелательно, поскольку оно приводит к значительной потере посевной и питательной ценности зерна.

Микробиологическая обсеменённость зерновой массы является типичным явлением, обусловленным контактом растений с микрофлорой окружающей среды в период вегетации. При этом значительная часть микроорганизмов сохраняется на поверхности и внутри зерна, оказывая влияние на его хранение.

Одним из критических процессов, развивающихся в условиях хранения, является самосогревание зерновой массы — следствие активации метаболизма зёрен, размножения микроорганизмов, а также жизнедеятельности насекомых и клещей. Эти

процессы сопровождаются выделением тепла, что способствует росту температуры внутри насыпи и может привести к потере потребительских свойств.

Особую опасность представляет плесневение зерна, сопровождающееся развитием микроскопических грибов. Помимо ухудшения органолептических и технологических характеристик, плесневые грибы продуцируют микотоксины — высокотоксичные соединения, обладающие канцерогенным действием. Их наличие в зерне представляет угрозу как для здоровья человека, так и для животных, что требует строгого контроля условий хранения.

«Единственный способ борьбы с появлением плесеней при хранении — поддержание рекомендуемых режимов (влажность, температура, аэрация, толщина насыпи, профилактика зараженности и др.) в зернохранилищах и постоянный контроль состояния хранящегося зерна» [45].

1.3 Типы хранилищ зерна

«В соответствии с назначением каждое зернохранилище способно выполнять определенный комплекс операций с зерном (рисунок 7). В общем виде к основным операциям с зерном и семенами масличных культур, осуществляемым на зернохранилищах относятся: приемка; размещение; обеззараживание; очистка; сушка; хранение (наблюдение за зерновыми массами; активное вентилирование; аэрация (охлаждение); перемещение; контроль качества; обеспыливание; охрана); формирование заданных товарных партий; обогащение (классификация); отпуск; инвентаризация (взвешивание); операции с побочными продуктами и отходами, получаемыми при обработке зерна и семян; другие операции, обусловленные спецификой отдельных культур и качественными характеристиками зерна» [43]. Элеваторно-складской комплекс обеспечивает приём, обработку и надёжное хранение зерна с сохранением его качества и минимизацией потерь.



Рисунок 7 – Основные операции с зерном на зернохранилищах

Промежуточные зернообрабатывающие предприятия предназначены для приёма, очистки, сушки, хранения и отгрузки оперативных запасов зерна, поступающего с железнодорожного и водного транспорта. Как правило, они

размещаются вблизи крупных транспортных узлов и формируют однородные партии продукции для дальнейшего распределения.

К таким объектам относятся и элеваторы, предназначенные для хранения государственных резервов, где предъявляются повышенные требования к качеству зерна, что увеличивает объём операций по его обработке.

Производительность технологических линий и приёмно-транспортного оборудования определяется уровнем загрузки предприятия. К промышленным объектам относят портовые и распределительные элеваторы, а также базы снабжения.

На всех предприятиях элеваторного типа выполняются основные технологические процессы: очистка, сушка, газация, охлаждение и освежение зерна — преимущественно в поточном режиме, что способствует улучшению качества продукции.

Предприятия элеваторного типа классифицируются в зависимости от способа хранения зерновой продукции и степени механизации технологических процессов. В качестве дополнительного критерия используется продолжительность хранения. Выделяют два основных метода:

- начальное хранение, осуществляемое в напольных складах высотой 5–6 метров;
- силосное хранение, при котором зерновая масса размещается в вертикальных емкостях (силосах) высотой до 40 метров (см. рисунок 8).

В условиях повышенной нагрузки на зернохранилища, характерной для периода массового поступления урожая, применяется также временное хранение, заключающееся в складировании зерна в виде насыпи.



Рисунок 8 – Элеватор для хранения зерна

В зависимости от уровня технического оснащения зерновые склады классифицируются на немеханизированные и механизированные [43]. Основным преимуществом первых является относительно низкая стоимость их строительства. В отличие от них, элеваторы представляют собой высокоавтоматизированные комплексы, отличающиеся высокой степенью технической оснащённости, что позволяет обеспечивать надёжную и долговременную сохранность зерновой продукции.

Рациональное функционирование зернохранилищ предполагает не только достижение высокой производительности труда, но и сокращение временных затрат на выполнение технологических операций, включая очистку и сушку зерна. На производственной территории предусматривается наличие специализированных зон для оперативного управления зерновыми потоками, а также резервных площадок, предназначенных для временного хранения зерна в условиях массового поступления продукции.

Как объекты пищевой промышленности, зернохранилища подчиняются строгим санитарно-гигиеническим нормативам. В частности, в санитарно-защитной зоне запрещается размещение потенциально опасных объектов — бойней, полигонов твёрдых бытовых отходов, складов горюче-смазочных материалов и химических реагентов, кладбищ, медицинских и иных учреждений, способных негативно повлиять на санитарно-экологическое состояние хранилищ.

Элеваторные, хлебоприёмные и зерноперерабатывающие предприятия, как правило, размещаются в пределах населённых пунктов или в непосредственной близости от них, а также вдоль основных транспортных артерий — автомобильных и железнодорожных магистралей, судоходных рек и в морских портах. Такая пространственная организация объясняется масштабами перевозок зерновых грузов, представляющих собой продукцию межрегионального и экспортного значения [43].

Широкое распространение зерновых складов как неотъемлемых элементов зернохранилищ на территории Республики Казахстан обусловило значительные земельные затраты под инфраструктуру предприятий по приёму, переработке и длительному хранению зерна. Однако в современных условиях рыночной экономики такие пространственные издержки утрачивают экономическую целесообразность и требуют рационализации проектных решений.

Площадки, выделяемые под размещение объектов зернохранения, подлежат обязательному инженерно-геологическому и гидрологическому обследованию. Особое внимание уделяется уровню залегания грунтовых вод — в соответствии с нормативными требованиями он не должен быть менее 2 метров от поверхности земли. При проектировании сооружений в составе проектной документации обязательно предусматриваются мероприятия по устройству дренажной системы, рациональному зонированию территории с учётом функционального назначения объектов (основных и вспомогательных), а также по обеспечению удобного доступа автомобильного и железнодорожного транспорта.

Санитарно-защитная зона между зернохранилищем и ближайшими жилыми либо сельскохозяйственными постройками устанавливается не менее 100 метров. Эта норма призвана обеспечить выполнение требований санитарной и экологической безопасности.

К числу ключевых конструктивных компонентов, формирующих инфраструктуру зернохранилищ, относятся следующие элементы:

1. Зернохранилища (резервуары для хранения):

- Стационарные — представляют собой капитальные сооружения, к которым относятся склады, силосные башни и силосные корпуса, предназначенные для длительного хранения зерновой массы;
- Оперативные — включают бункеры, лари и специализированные контейнеры, используемые для кратковременного хранения и перераспределения зерна в рамках текущего производственного процесса;
- Временные — это открытые площадки и иные приспособленные пространства, предназначенные для временного накопления зерна в периоды повышенного поступления, когда стационарные мощности оказываются недостаточными.

2. Стационарные рабочие башни (РБ):

- Элеваторные рабочие башни (РБЭ) — служат для подъёма и распределения зерна по силосам;
- Приёмно-очистительные и отгрузочные башни (ПОБ) — обеспечивают первичный приём зерна, его очистку и последующую отправку;
- Молотильно-очистительные башни (МОБ) — предназначены для выполнения операций по обмолоту и последующей очистке зерновой массы;
- Перегрузочные (ПБ), сушильно-очистительные (СОБ) и сушильные башни (СБ) — обеспечивают перегрузку, сушку и очистку зерна в процессе технологического цикла;
- Норийные башни (НБ) — оборудованы вертикальными транспортёрами (нориями) для вертикального перемещения зерна;
- Открытые механизированные комплексы зернообработки — применяются для комплексной переработки зерна в условиях открытых пространств с использованием мобильного и стационарного оборудования.

3. Конвейерные галереи:

- наземные и подземные;
- проходные и непроходные;
- секционно-разборные конструкции.

4. Приёмные устройства, обеспечивающие поступление зерна:

- с автотранспорта;
- с железнодорожных платформ;
- с водного транспорта.

5. Отгрузочные системы, предназначенные для отпуска зерна:

- на автомобильные средства;
- на железнодорожные вагоны;
- на речные и морские суда.

6. Склады для хранения отходов (включая цеха и отдельные участки).

7. Лаборатория, осуществляющая контроль качества поступающего и хранящегося зерна.

8. Электроподстанция для обеспечения электроснабжения всех технологических узлов.

9. Подсобно-вспомогательные помещения, необходимые для обслуживания и ремонта оборудования.

10. Противопожарные объекты, включающие системы обнаружения, тушения и аварийного оповещения.

11. Административно-управленческий блок, обеспечивающий руководство и контроль за функционированием объекта.

В дополнение к основным конструктивным элементам зернохранилищ в их комплектацию включаются различные передвижные и стационарные технические средства, такие как установки активной вентиляции, зерносушильное оборудование, вспомогательные агрегаты, специализированный инвентарь и приборы контроля. Эти устройства предназначены для осуществления операций по перемещению, обработке, хранению зерна, а также для оперативного мониторинга его качественных характеристик и текущего состояния [43].

Ключевое значение в структуре зернохранилищ имеют рабочие башни, которые выполняют функцию центральных технологических узлов. В их пределах размещается основное технологическое оборудование: вертикальные транспортёры (нории), головные и хвостовые части ленточных и других видов конвейеров, системы автоматического взвешивания (в том числе ковшовые весы), устройства для очистки зерновой массы, интегрированные зерносушильные установки, элементы управляющей автоматики, аспирационные агрегаты, вентиляторы, электрооборудование, противопожарные системы и сигнализационные устройства.

Таким образом, рабочие башни формируют центральное звено в технологической цепочке, обеспечивая высокую степень механизации и автоматизации производственных процессов, связанных с приёмом, первичной обработкой, перераспределением и подготовкой зерна к длительному хранению.

Транспортная доступность и подъездные пути. Нормальное функционирование объектов элеваторной промышленности невозможно без эффективно организованной транспортной инфраструктуры. От работы автомобильного, железнодорожного и водного транспорта напрямую зависит своевременное поступление зерна на предприятие. Поэтому при разработке генеральной схемы размещения зданий и сооружений особое внимание уделяется удобству подъезда всех видов транспортных средств.

Организация транспортной инфраструктуры предприятий элеваторного типа играет ключевую роль в обеспечении эффективного функционирования систем приёма, обработки и хранения зерна. Автомобильные дороги, предусмотренные на территории предприятий, проектируются с надёжным дорожным покрытием, обеспечивающим круглогодичную эксплуатационную пригодность. В непосредственной близости от въездных ворот, как правило, располагается лаборатория оперативного контроля качества, осуществляющая предварительную оценку поступающего зерна.

Задолго до начала приёмной кампании разрабатываются схемы размещения зерна, что позволяет рационализировать логистику и исключить заторы автотранспорта. В пределах 10–12 метров от въездной зоны устанавливаются автомобильные весы, предназначенные для контроля массы транспортных средств до и после разгрузки. Проектирование подъездных путей к приёмным узлам осуществляется с учётом необходимости обеспечения высокой пропускной способности в условиях наибольшей транспортной загрузки. Автомобильные дороги на территории предприятия прокладываются таким образом, чтобы исключить

пересечение транспортных потоков. При этом их ширина определяется исходя из возможности одновременного движения колонн в обоих направлениях и составляет, как правило, не менее 5–6 метров.

Железнодорожные пути также проектируются с необходимой пропускной способностью, обеспечивающей бесперебойную подачу и отгрузку вагонов. Планировка включает достаточную протяжённость путей, наличие сигнального оборудования и технических сооружений, что обуславливает относительную дороговизну железнодорожной инфраструктуры. Перевозка зерна осуществляется преимущественно маршрутными поездами, направляемыми от пунктов погрузки к конечным потребителям без промежуточной перегрузки.

При размещении производственных объектов в непосредственной близости от водных путей сообщения необходимо учитывать нормативные требования к гидротехнической инфраструктуре. К таким требованиям относятся обеспечение безопасного подхода и швартовки судов, наличие причальных сооружений достаточной длины, а также оснащение причалов соответствующими средствами механизации, позволяющими одновременно осуществлять операции по приёму и отгрузке грузов с водного транспорта.

1.3.1 Механизированные склады

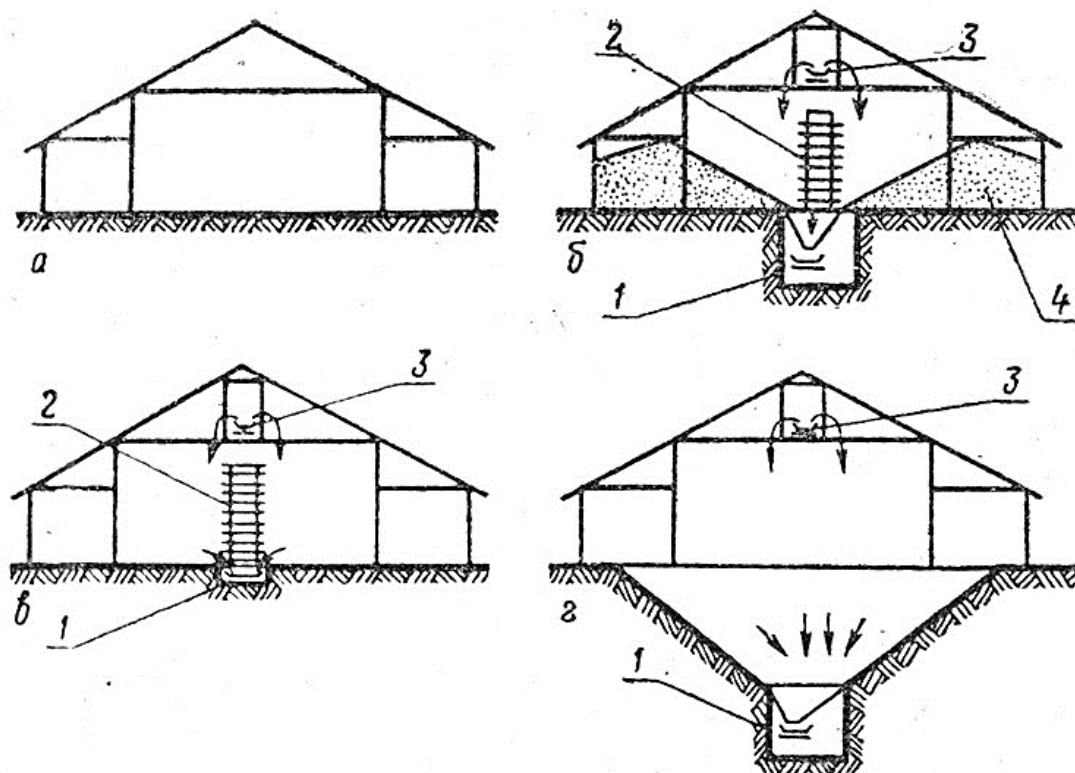
Зерносклады представляют собой специальные хранилища, в которых зерновая масса размещается непосредственно на полу, прилегающем к стенам, с возможностью укладки в насыпь на горизонтальной либо наклонной поверхности. Эти сооружения классифицируются по нескольким параметрам: способу загрузки и выгрузки зерна, уровню механизации технологических операций, продолжительности хранения, а также типу строительных конструкций и используемых материалов.

На практике преимущественно применяется линейная схема размещения зданий, обеспечивающая упрощённую логистику и удобство перемещения зерна между отдельными элементами производственного комплекса. При этом между параллельно расположенными хранилищами прокладываются реверсивные ленточные конвейеры, позволяющие организовать поток зернового материала от любого склада к технологическим узлам — очистке, сушке или погрузке — через центральную механизированную башню.

Технологические процессы осуществляются с применением как стационарного, так и мобильного оборудования. В частности, использование передвижных разгрузчиков и конвейеров позволило оптимизировать размещение технических средств и обеспечить их максимальную эффективность на всех этапах работы. При засыпке зерно укладывается естественным откосом, формируя устойчивую насыпь, а в процессе выгрузки продукт самотёком поступает к нижним транспортёрам, откуда перемещается посредством механизированных устройств — таких как механические скребки или пневмотранспортные каналы, что позволяет свести к минимуму применение ручного труда.

Стоит подчеркнуть, что в настоящее время строительство новых зерноскладов ведётся крайне редко. Существующие сооружения постепенно заменяются более компактными и технологичными металлическими силосами, что обеспечивает сокращение занимаемой территории хранения в 2–3

В составе комплекса механизации предусмотрены устройства для приёмки зерна, организованные в виде технологически взаимосвязанных систем с одинаковой производительностью. Реализация принципов комплексной механизации сопровождается внедрением дистанционного управления и элементов автоматизации, что обеспечивает высокую согласованность технологических операций.



а – немеханизированный; б – механизированный с проходной галереей; в – механизированный с непроходной галереей; г – с наклонными полами; 1 – разгрузочный транспортер; 2 – предохранительная колонка; 3 – верхний разгрузочный транспортер; 4 – зерно

Рисунок 9 – Типы складов для зерна

Основные эксплуатационные требования, предъявляемые к приёмным устройствам для зерна, доставляемого автотранспортом, включают высокую пропускную способность, предотвращающую образование очередей и задержек, возможность изолированного приёма различных партий без их взаимного смешения, а также максимально рациональное использование установленных технологических средств. Соблюдение этих условий обеспечивает бесперебойную работу логистической и перерабатывающей инфраструктуры зернохранилища.

Среди конструктивных решений приёмных устройств, применяемых на элеваторах, широкое распространение получили системы с промежуточными накопительными ёмкостями. Такие бункеры позволяют последовательно подавать индивидуальные партии зерна в основное технологическое здание посредством одного ленточного транспортёра, соединённого с загрузочной норией башни. Альтернативной конфигурацией является устройство с четырьмя-шестью приёмными линиями и малогабаритными бункерами, откуда зерно транспортируется с помощью ленточных конвейеров к двум основным вертикальным подъёмникам.

Процедура разгрузки автотранспорта, доставляющего зерно, осуществляется при помощи высокопроизводительных автомобилеразгрузчиков, способных обеспечить подачу материала с производительностью до 175 т/ч.

Разнообразие технических решений, реализуемых в приёмно-разгрузочных устройствах, позволяет адаптировать их к различным условиям размещения: они могут быть установлены у механизированных башен, вдоль торцевых участков складов или вблизи элеваторных корпусов. Для передачи зерна в рабочее здание элеватора используется система подземных ленточных транспортёров, обеспечивающих устойчивый поток зерновой массы в поточной технологической схеме.

Важным технологическим решением является поточечная очистка зерна при приёме, позволяющая значительно сократить затраты времени, трудовых ресурсов и финансовых средств, так как зерно не требует повторного перемещения для очистки.

Приемка зерна с водного транспорта, в том числе с барж, реализуется двумя основными способами — механическим и пневматическим. Механический метод включает использование стационарных отпускных норий, передвижных норий для барж и грейферных кранов. Пневматическая разгрузка осуществляется с помощью стационарных установок, создающих разрежение и транспортирующих зерно по трубопроводам. Во всех случаях организация приёма зерна должна соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам, обеспечивающим безопасность хранения и дальнейшей переработки продукции.

1.3.2 Конструктивные схемы элеваторов

Отличительной чертой элеваторных сооружений по сравнению с другими промышленными объектами является их конструктивная интеграция с технологическим и транспортным оборудованием, что обеспечивает единую функциональную архитектуру и устойчивое выполнение производственных операций [43]. Элеватор можно охарактеризовать как полностью автоматизированное хранилище зерновых культур, в котором последовательно реализуются процессы приёмки, транспортировки, обработки и длительного хранения зерна. В этом смысле он представляет собой комплексную систему, включающую:

- здание технологического назначения, оснащённое основными механизмами и транспортными системами;
- блок силосов, объединённый с инженерной инфраструктурой и средствами перемещения материала;
- узлы приёма зерна с различных видов транспорта (автомобильного, железнодорожного, водного), а также оборудование для выгрузки и подачи на переработку;
- секции для обработки отходов и побочной продукции;
- системы аспирации и удаления загрязняющих компонентов.

Элеватор функционирует как единый производственный организм, в котором строительные элементы, оборудование и инфраструктура взаимосвязаны и работают в рамках согласованной технологической схемы. Перемещение зерна осуществляется по установленным логистическим маршрутам. Ключевую роль в организации всего процесса играет центральное рабочее здание (башня), выполняющее функции

координационного центра для всех технологических блоков, включая ёмкости, бункеры и очистные устройства.

Основным средством вертикального транспортирования в элеваторе служат нории, посредством которых реализуется вся совокупность технологических перемещений. Для каждого этапа технологической цепи предусмотрена своя последовательность операций и движение зерновой массы по ёмкостям и оборудованию. Эта траектория обозначается как маршрут перемещения зерна [47].

Технологическая структура работы элеваторного комплекса базируется на принципе последовательной обработки зерна от момента его поступления до размещения в хранилищах или направления на последующую переработку (см. рисунок 10). При несоответствии производительности транспортного оборудования возможностям по очистке и сушке в схеме предусмотрено применение промежуточных накопительных ёмкостей, выполняющих роль буферов. Также в состав схемы входят устройства, обеспечивающие измерение количественных и качественных параметров зерновой массы.

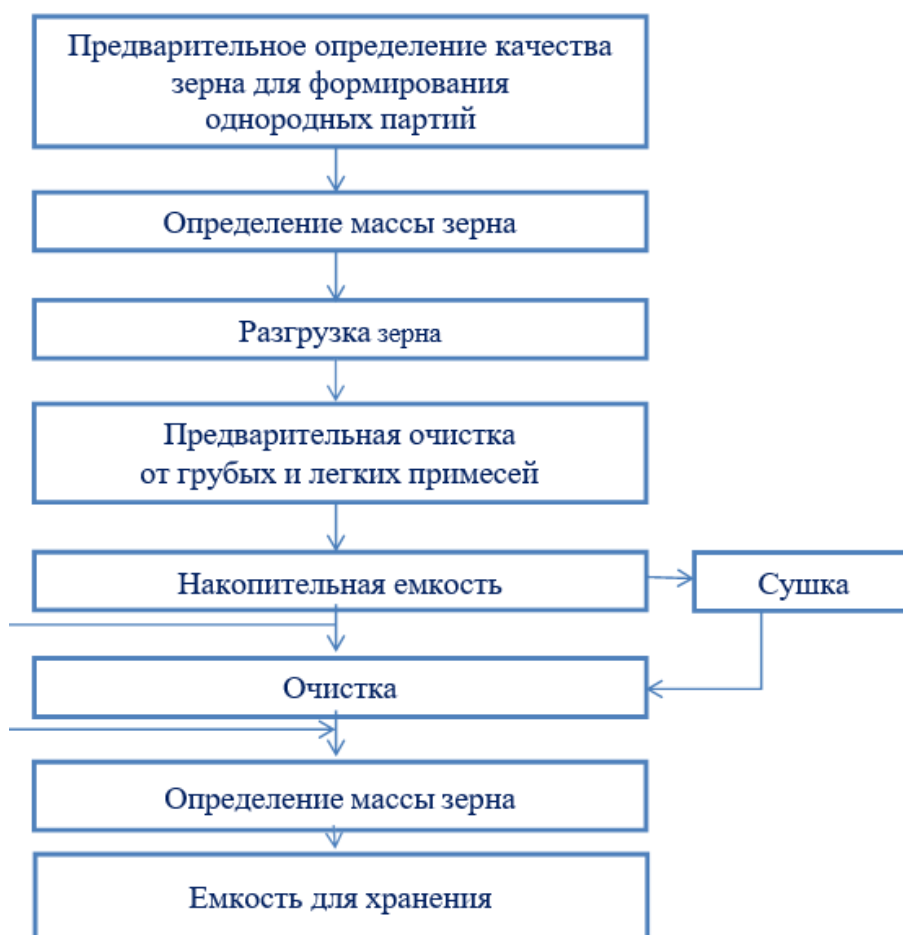


Рисунок 10 – Последовательность основных этапов технологического процесса на предприятиях по приёму, очистке, сушке и хранению зерна.

1.3.3 Аспирация элеваторов, конвейеров, зерносушилок, зернохранилищ

«Сохранение зерна – принципиальная задача, которая позволяет повысить его экономическую ценность» [48]. Во время активной фазы уборочной кампании закупочные цены на зерновые культуры, как правило, находятся на минимальном уровне. В таких условиях становится экономически целесообразным направить

собранный урожай на хранение, чтобы реализовать его позднее, в период наивысших рыночных цен. Однако для сохранения качества зерна и недопущения потерь необходимо строго соблюдать технологические мероприятия и условия хранения. Ключевым элементом этой системы выступает вентиляционное оборудование, обеспечивающее поддержание требуемых параметров среды.

При соблюдении оптимального температурного режима (в пределах 10–25 °С) и поддержании постоянной влажности зерна на уровне 10–13 %, продукция может храниться длительное время, сохраняя всхожесть до 5–10 лет. Обеспечение стабильности микроклимата внутри зерносклада — основная задача системы вентиляции. Помимо основной функции, такие системы также:

- обеспечивают охлаждение и консервирование зернового материала;
- способствуют снижению влажности;
- поддерживают необходимую циркуляцию воздуха;
- удаляют загрязнённый воздух и пылевые остатки, образующиеся при хранении.

В отличие от большинства промышленных и сельскохозяйственных объектов, где вентиляция является одной из инженерных коммуникаций, в зерноскладах вентиляционная система выступает в роли главного элемента обеспечения технологического режима. Нарушение температурно-влажностного баланса может привести к резкому ухудшению качества зерна из-за активизации микроорганизмов, начала прорастания, слеживания массы и поглощения посторонних запахов.

Особенность вентиляции зернохранилищ заключается в сочетании общеобменной принудительной вентиляции с аспирационными системами, предназначенными для удаления из помещения мелкодисперсной пыли. Такая пыль представляет потенциальную взрывоопасность при достижении определённой концентрации, что требует её своевременного удаления из среды.

Правильная организация начального этапа хранения зерна после уборки имеет решающее значение. В этот период зерно находится в нестабильном состоянии, и его подготовка к длительному хранению занимает от нескольких недель до одного месяца. В этот временной промежуток происходит естественное дозревание продукта, связанное с регулированием влажности (до 13–14 %) при температуре воздуха в пределах 20–30 °С.

Параллельно с процессом дозревания осуществляется естественное обеззараживание зерновой массы. За счёт снижения влажности активность микроорганизмов снижается до минимального уровня, они переходят в анабиотическое состояние. Такой метод является предпочтительным, так как полное уничтожение микрофлоры сопряжено с риском повреждения самого зерна.

Для регулирования температурных условий в хранилищах также применяется вентиляционное оборудование с рекуперацией тепла. В таких системах тёплый отработанный воздух используется для предварительного нагрева приточного потока, поступающего в склад. Это позволяет значительно снизить энергозатраты на подогрев, тем самым делая процесс сушки более экономически выгодным.

Несмотря на то, что в современных multifunctional зерновых хранилищах материал подвергается двум основным типам обработки – механической и термической – именно аспирация пыли и сорных частиц играет критическую роль, и вот почему:

Удаление мелкой пылевой (зерновой / злаковой) фракции и крупной сорной механики (камушки, песок, грязь и другие включения) регламентируется стандартами и обуславливает качество сырья, а следовательно, и цену на отгружаемую продукцию, (аспирация имеет важное значение и в разрезе фертильности / всхожести семян, если речь идет о заготовке материала на посевную);

Взрывоопасность пыли – внедрение обеспыливающей вентиляции сводит к минимуму возможность детонации микродисперсных частиц, которое может привести к разрушению систем элеватора, увечьям и жертвам среди персонала;

Системы аспирации зерноочистителей, зернохранилищ и очистка пыли элеватора значительно увеличивает ресурс работы механических узлов, исключает пылевую «забивку» технологических сочленений транспортировочного и иного оборудования;

Фильтрация зернового материала перед его подачей на сушку драматически увеличивает удельный и общий КПД зерносушителей – в силу сепарации влагосодержащего «балластного» сора, который так же забирает на себя часть энергии нагрева [48]. Таким образом, просушка очищенного от нежелательных примесей зерноматериала происходит более быстро и эффективно, улучшается качество / класс и выход чистого зерна и – как следствие – прибыльность производства.

1.4 Выводы по разделу

1. Проведена классификация типов транспортирующих машин, на основе которой обоснованы преимущества применения ленточных транспортеров для транспортировки зерновых культур.

2. Рассмотрены проблемы процесса транспортировки сыпучих материалов с сильно засоренными зерновыми культурами, выявлены недостатки в эксплуатации ленточных транспортеров, такие как потеря сыпучих материалов, ограничения при перемещении пылевидных, горячих или тяжелых штучных грузов, а также при транспортировке по наклонным трассам.

3. В работе подробно проанализирован состав примесей сильно засорённой зерновой массы с целью выявления направлений модернизации и технического совершенствования ленточных транспортеров.

4. На основе результатов анализа источников литературы предложены меры по усовершенствованию хранения: модернизация конструкций зернохранилищ, механизированных складских комплексов и элеваторных установок, а также оптимизация работы систем аспирации.

2 Теоретические исследования конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера и оборудования для хранения зерна

2.1 Производительность ленточного транспортера

Производительность машин, используемых в транспортно-технологических процессах, определяется количеством материала, перемещаемого за единицу времени. Эта характеристика может выражаться в объемных или массовых показателях в зависимости от задач расчета. Основополагающими параметрами, влияющими на производительность, являются удельный объем транспортируемого материала (q , м³/м), удельная масса ($m = \rho \cdot q$, кг/м) и скорость перемещения (V , м/с). В инженерной практике производительность подразделяется на техническую и эксплуатационную. При расчёте эксплуатационного значения учитываются дополнительные факторы: коэффициент загрузки транспортирующего органа, степень использования оборудования по времени, а также физико-механические свойства перемещаемого материала.

Объёмную техническую производительность при перемещении зерна с высоким содержанием примесей можно определить по выражению:

$$Q_{\text{то}} = 3600 \cdot q_{\text{сз}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (6)$$

Где:

$q_{\text{сз}}$ – удельный объем перемещаемого груза, м³/м;

V – линейная скорость движения, м/с.

Соответственно, массовая техническая производительность рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{тм}} = 3600 \cdot q_{\text{сз}} \cdot \rho \cdot V, \text{ т/ч} \quad (7)$$

Где:

$q_{\text{сз}}$ – удельный объем перемещаемого сильно засоренного зерна (на 1 метр длины), м³/м;

ρ – плотность перемещаемого груза, т/м³;

V – скорость перемещения груза, м/с.

Для учёта реальных условий эксплуатации (таких как уклон транспортной трассы, трение и прочие факторы), вводится поправочный коэффициент $k_{\text{э}}$ (<1), снижающий теоретическое значение производительности:

$$Q_{\text{эм}} = k_{\text{э}} \cdot Q_{\text{тм}}, \text{ т/ч} \quad (8)$$

В общем случае, производительность транспортного оборудования определяется как функция двух переменных: удельной нагрузки по длине грузонесущего органа и его скорости. При заданных требованиях к производительности и известной скорости можно переходить к проектному определению параметров ленты — ширины, формы и геометрии.

Транспортировка сыпучих материалов может осуществляться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, при этом конечная точка перемещения может находиться выше или ниже начальной. Для количественной

оценки сопротивлений в таких системах применяется коэффициент сопротивления движению:

$$k_c = W_c / G \quad (9)$$

Где:

W_c – суммарная сила сопротивления движению грузонесущего органа, кН;

G – сила тяжести перемещаемого груза, кН.

Использование данного коэффициента позволяет отдельно учитывать затраты энергии на преодоление трения и на изменение высоты положения груза. В зависимости от направления перемещения по вертикали соответствующий компонент может быть положительным, отрицательным или нулевым.

Совокупная мощность привода ленточного транспортёра определяется как сумма двух составляющих:

$$N_{пр} = N_n + N_c \quad (10)$$

Где:

N_n – мощность, затрачиваемая на подъём груза, кВт;

N_c – мощность, необходимая для преодоления сопротивления движению транспортной ленты, кВт.

Мощность привода, необходимая для подъема груза, рассчитывается по формуле:

$$N_{пр} = Q_{эм} * H / 3.6, \text{ кВт} \quad (11)$$

Где:

$Q_{эм}$ – эксплуатационная массовая производительность, т/ч,

H – высота подъема, м.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивлений движению, определяется по формуле:

$$N_c = W_c * V \quad (12)$$

Где:

W_c – суммарное сопротивление движению ленты (кН), учитывающее трение и сопротивление в узлах транспортёра.

V – рабочая скорость транспортировки, то есть скорость перемещения ленты, м/с.

Сопротивление движению ленты определяют как:

$$W_c = 9,8 * q * \rho * L_{kc}, \text{ кН} \quad (13)$$

Где:

q - удельный объём транспортируемого материала, $\text{м}^3/\text{м}$ (объём, приходящийся на один метр длины ленты);

ρ - плотность перемещаемого груза, $\text{т}/\text{м}^3$;

L – общая протяжённость трассы транспортёра, м ;

k_c – коэффициент сопротивления движению, учитывающий потери на трение и сопротивление механических узлов.

В случае, если начальная и конечная точки транспортировки расположены на одном уровне, т.е. транспортёр работает в горизонтальной плоскости, работа по подъёму груза не требуется. Следовательно, вся мощность привода направляется исключительно на преодоление сил сопротивления движению, вызванных трением, механическими потерями и другими факторами, не связанными с изменением высоты. В этом случае расчётная мощность привода определяется только по сопротивлению движения.

$$N_{\text{пр}} = N_c. \quad (14)$$

На практике расчет необходимой мощности привода ленточного транспортёра осуществляется с учетом условий его эксплуатации. В соответствии с установленной классификацией, различают пять основных режимов функционирования: очень лёгкий, лёгкий, средний, тяжёлый и крайне тяжёлый. При определении режима учитываются следующие параметры: продолжительность работы оборудования (разделяется на пять классов), уровень производительности, а также диапазон тяговых усилий, подразделяемый на три категории. Такой подход позволяет обеспечить надёжную и энергоэффективную работу транспортной системы с учётом её фактической загрузки и условий применения.

$$Q_{\text{уд.}} = Q_{\text{ТМ}}/N_{\text{пр}} \quad (15)$$

После преобразований, подстановки промежуточных формул в конечную, приравняв промежуточное число 35,28 к 36 получаем конечную зависимость:

$$Q_{\text{уд.}} = Q_{\text{ТМ}}/N_{\text{пр}} \approx 360/(100k_c + k_c), \quad (16)$$

т.е «производительность, приходящаяся на 1 кВт энергии привода зависит от коэффициента сопротивления движению и эксплуатационного коэффициента, учитывающего условия транспортирования такие как угол наклона транспортера, коэффициент трения и другие» [49].

Определение необходимой ширины грузонесущей ленты производится с учётом расчётной производительности транспортной установки, физико-механических свойств транспортируемого груза, а также специфики условий эксплуатации оборудования. При транспортировке штучных предметов данный параметр вычисляется по следующему выражению:

$$B = L + 2(75 \dots 100) \quad (17)$$

Где:

L – максимальный поперечный размер перемещаемого объекта, мм.

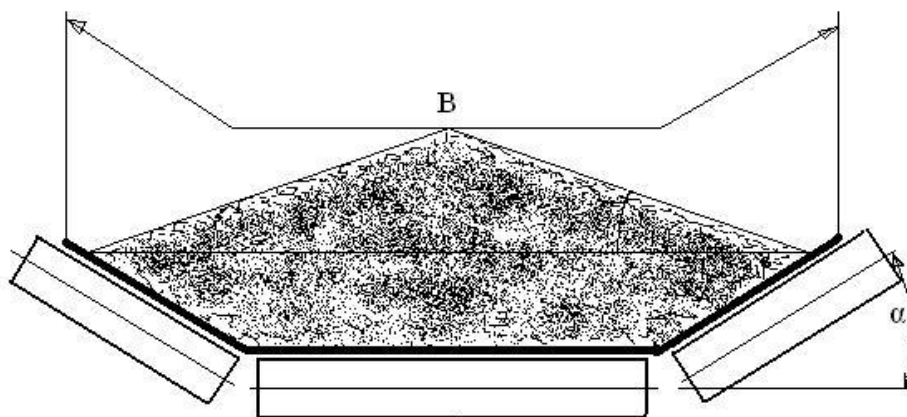


Рисунок 11– Профиль поперечного слоя транспортируемого материала при использовании желобчатых роlikоопор.

«При расположении ленты на опорах в виде желоба площадь поперечного сечения груза складывается из суммы площадей равнобедренного треугольника и трапеции, стороны которой определяются шириной ленты B , длиной роликa B_1 и углом их наклона α » (рисунок 11,12) [49,50].

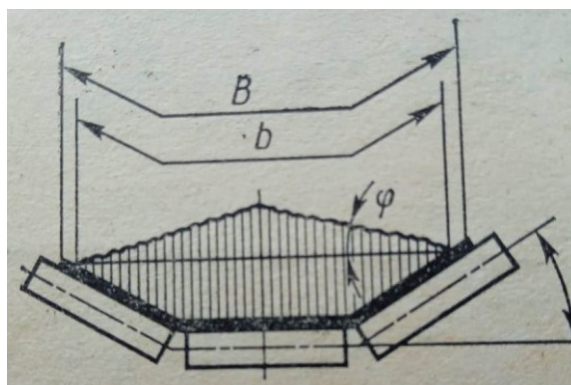


Рисунок 12. – Профиль транспортера и ширины ленты

Поперечное сечение насыпанного материала на ленте конвейера проектируется таким образом, чтобы его ширина была меньше полной ширины ленты. Это необходимо для предотвращения просыпания груза за пределы ленты в процессе транспортирования и обеспечения надёжности работы транспортной системы.

$$b = (0,9B - 0,05), \text{ м} \quad (18)$$

Используя формулу (7) и формулу для определения производительности транспортера:

$$Q = 3600 \cdot S_{\text{гр}} \cdot V \cdot \rho \cdot K_{\beta}, \quad (19)$$

Где:

$S_{\text{гр}}$ - площадь поперечного сечения слоя транспортируемого груза на ленте, м^2 ;

V – скорость перемещения ленты, м/с ;

ρ – насыпная плотность материала, т/м^3 ;

K_β - коэффициент, учитывающий влияние угла наклона транспортирующей трассы, обозначив произведение $3600 \cdot S_{гр}/b^2$, как k_n – отражающий взаимосвязь между площадью поперечного сечения груза, шириной ленты, её конфигурацией и физико-механическими свойствами материала, можно записать формулу для определения требуемой ширины ленты.

$$B = 1,1 \left(\sqrt{\frac{Q}{V \cdot \rho \cdot K_n \cdot K_\beta}} + 0,05 \right) \quad (20)$$

Где:

Q – требуемая производительность ленточного транспортёра, т/ч;

V – линейная скорость движения транспортирующей ленты, м/с;

ρ – насыпная плотность перемещаемого материала, т/м³.

k_n – параметрический коэффициент, учитывающий взаимосвязь между геометрическими характеристиками поперечного сечения потока материала и шириной ленты, а также влиянием формы ленты и физико-механических свойств груза;

k_β - поправочный коэффициент, отражающий влияние уклона трассы на рабочие параметры транспортёра.

Фактическая расчётная производительность транспортной установки определяется с учетом эксплуатационных поправок по следующей зависимости:

$$Q_p = Q \cdot K_n / K_b \cdot K_r \quad (21)$$

Где:

Q – расчетная (номинальная) производительность транспортёра, т/ч;

$K_n = 1,25 \dots 2,0$ - коэффициент, учитывающий колебания интенсивности подачи материала и степень неравномерности загрузки;

$K_b = 0,8 \dots 0,95$ - коэффициент, характеризующий фактическое время использования оборудования по отношению к его потенциальной продолжительности работы;

$K_r = 0,96$ - коэффициент технической готовности, отражающий надёжность и работоспособность транспортного средства в заданных условиях эксплуатации.

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05. [50, с.369]$$

Уравнения для определения производительности для частных случаев приняты из [50] (таблица 9)

Таблица 9- Определение производительности транспортера

Угол наклона боковых роликов, град.	Уравнения для расчета производительности транспортера Q, т/ч	Производительность транспортера Q, т/ч
20	Для $B_1=0,18$ $B=0,5183$ $b^2_{кр} \nu (245+840 \operatorname{tg} \varphi)$	58,07
	Для $B_1=0,23$ $B=0,662$	99,83

	Для $B_1=0,30$ $B=0,8638$	177,2
30	Для $B_1=0,18$. $B=0,492$ $b^2_{крв}(345+770tg \varphi)$	60,45
	Для $B_1=0,23$ $B=0,628$	104,36
	Для $B_1=0,30$ $B=0,8196$	185,7
45	Для $B_1=0,18$. $B=0,4345$ $b^2_{крв}(470+610tg \varphi)$	52,48
	Для $B_1=0,23$ $B=0,555$	91,15
	Для $B_1=0,30$ $B=0,724$	163,348
60	Для $B_1=0,18$ $B=0,36$ $b^2_{крв}(505+430tg \varphi)$	33,14
	Для $B_1=0,23$ $B=0,46$	53,32
	Для $B_1=0,30$ $B=0,6$	106,04

B_1 -ширина (м) транспортера по краю роликов, определяется на основании законов тригонометрии из рисунков 11,12.

k -коэффициент характеризует степень подвижности в зависимости от угла наклона транспортера к горизонтали (таблица 10). Для зерна, относящегося к средней группе насыпной плотности ($\rho=0,6-1,6$ т/м³) [50, с.365,371]:

Таблица 10- коэффициента степень подвижности

Группа подвижности частиц насыпного груза	Угол наклона транспортера				
	1-5°	6-10°	11-15°	16-20°	21-24°
Средняя	1,0	0,97	0,95	0,9	0,85

φ -угол естественного откоса в движении, град. (φ примем 15 град.)

V - скорость движения ленты, м/с;

ρ – насыпная плотность груза, т/м³ ;

Используя исследования Александрова М.П. [50] и законы подобия функций определим промежуточные значения производительности (Таблица 11)

Таблица 11- Определение расчетной производительности транспортера

Угол наклона боковых роликов, град.	Уравнения для расчета производительности транспортера Q, т/ч	Производительность транспортера Q, т/ч
27	Для $B_1=0,30$ $B=0,8346$ $b^2_{крв}(315+791tg \varphi)$	172,694
28	Для $B_1=0,30$ $B=0,8298$ $b^2_{крв}(325+784tg \varphi)$	185,154
29	Для $B_1=0,30$ $B=0,825$ $b^2_{крв}(335+777tg \varphi)$	185,566

30	Для $B_1=0,30$ $B=0,8196$ $b^2_{крв}(345+770\text{tg } \varphi)$	187,7
31	Для $B_1=0,30$ $B=0,8142$ $b^2_{крв}(353,3+759,3\text{tg } \varphi)$	184,923
32	Для $B_1=0,30$ $B=0,808$ $b^2_{крв}(361,66+748,66\text{tg } \varphi)$	1841,1
33	Для $B_1=0,30$ $B=0,803$ $b^2_{крв}(370+738\text{tg } \varphi)$	183,155

Максимум производительности при угле наклона роликов $\alpha=30$ градусам (рисунок 13).

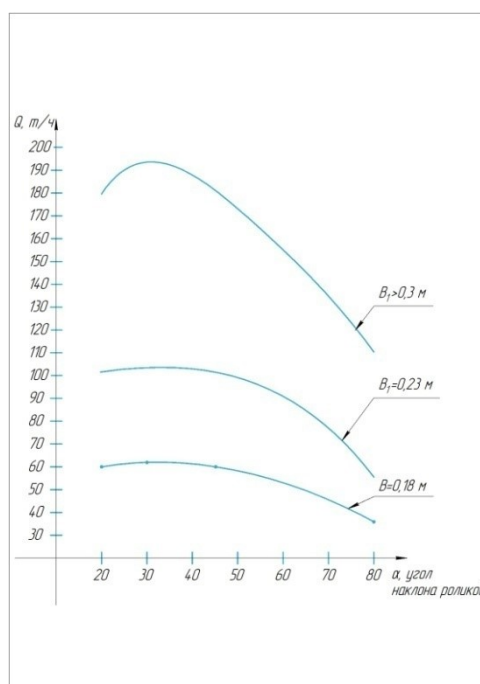


Рисунок 13-Графическая зависимость производительности ленточного транспортера от угла наклона роликов

Из рисунка 11:

$$B=B_1*(1+2\cos \alpha), \quad (22)$$

Где:

B_1 -длина ролика

φ -угол естественного откоса в движении, град. ($\varphi = 15$ град.)

Таблица 12 – Рекомендуемые значения скорости ленты при перемещении сыпучих материалов [11].

Характер груза	Скорость движения ленты, м/с при ее ширине, м			
	0,4	0,5 0,65	0,8 1,0	1,2
Группы абразивности А, В; допускается их крошение (торф, уголь, глина, песок)	1,0...1,6	1,25...2,0	1,6...2,5	2,0...4,0
Зерновые и бобовые (рожь, пшеница, горох)	1,25...1,6	1,6...2,5	2,5...3,0	3,0...4,0

Таблица 13 - Значения коэффициента k_β

Угол откоса в движении φ_d , град.	Подвижность частиц груза	Угол наклона конвейера β , град.				
		1...5	6...10	11...15	16...20	21...24
10...15	Легкая	0,95	0,9	0,85	0,8	-
15...20	Средняя	1,0	0,97	0,95	0,9	0,85
20...25	Малая	1,0	0,98	0,97	0,95	0,9

Примечание: угол естественного откоса материала в движении (φ_d) рассчитывается как доля от угла откоса груза в состоянии покоя (φ) и обычно составляет 45–50% от его величины, т.е. $\varphi_d = (0,45...0,5) \times \varphi$, где φ — угол естественного откоса материала в покое.

Таблица 14 - Значения коэффициента k_α

Роликоопора	Угол наклона боковых роликов α_p , град.	Подвижность частиц груза		
		легкая	средняя	малая
Прямая	0	158	240	328
Желобчатая трёхроликовая	20	393	470	550
	30	480	550	625
	45	580	633	692

2.2 Выбор типа и материала ленты

Выбор типов конвейерных лент для эксплуатации в различных условиях осуществляется в соответствии с регламентом, установленным нормативным документом ГОСТ 20–76[49]. Основные характеристики универсальных лент, а также информация о материалах, применяемых в их изготовлении, систематизированы в таблице 15.

Определение подходящего типа ленты зависит от физических свойств транспортируемого груза и его категории. Например, ленты, относящиеся ко второму типу, оптимально применяются для транспортировки сыпучих материалов с мелкой и средней степенью дисперсности, относящихся к группам абразивности А, В, С и D.

Таблица 15 – Технические характеристики резиноканевых транспортерных лент универсального применения

Тип ленты	Характеристика ленты	Вид тягового каркаса		Прочность тягового каркаса, Н/мм ширины каркаса	Класс прочности резины наружных обкладок	Предел прочности резины обкладок на разрыв, МПа
		Основа и уток из комбинированных нитей (полиэфир и хлопок)	Основа и уток из полиамидных нитей			
2	Двусторонняя резиновая обкладка	БКНЛ-65	-	65	Б В	20 15
		БКНЛ-65-2	-	100		
		БКНЛ-100	ТА-100, ТК-100	100		
		БКНЛ-150	ТА-150, ТК-150	150		
		-	ТК-200-2	200		
3	Односторонняя резиновая обкладка	БКНЛ-65	-	65	В	15
		БКНЛ-65-2	-	100		
		БКНЛ-100	-	100		
4	Двусторонняя резиновая обкладка, одна или две прокладки каркаса	БКНЛ-65	-	65	С	10
		БКНЛ-65-2	ТА-100, ТК-100	100		
		БКНЛ-100	ТА-100, ТК-100	100		

Предварительная оценка общей толщины транспортной ленты
После выбора соответствующего типа транспортной ленты и задания её конструкционного материала, осуществляется расчет её полной толщины с использованием следующего соотношения:

$$\delta = t \cdot i + \delta_1 + \delta_2, \text{ мм} \quad (23)$$

Где:

t - расчетное значение толщины одного слоя тканевой тяговой прокладки, мм (уточняется по данным таблицы 16);

i - число тканевых слоёв, обеспечивающих прочность каркаса ленты (определяется по таблице 17);

δ_1, δ_2 - толщина защитных резиновых покрытий с внешней (рабочей) и внутренней (тыльной) сторон ленты соответственно, мм (значения выбираются из таблицы 18 в зависимости от условий эксплуатации).

Такой подход позволяет с высокой точностью определить конструкционную толщину ленты, соответствующую условиям её эксплуатации и предполагаемым нагрузкам.

Таблица 16 - Номинальные значения толщины тканевых прокладок, применяемых в каркасах транспортных лент

Номинальная прочность прокладки на основе, Н/мм, не менее	Толщина тканевой прокладки t , мм	
	с резиновой прослойкой	без резиновой прослойки
	Основа и уток из синтетического волокна	Основа и уток из комбинированных нитей
200	1,4	1,6
150	1,3	1,4
100	1,2	1,3
65	1,2	1,2

Таблица 17 - Количество тяговых прокладок в составе каркаса лент различных типов

Ширина ленты B , мм	Количество тяговых прокладок i для лент типов 2, 3, 4 при различной удельной номинальной прочности, Н/мм							
	2				3		4	
	200	150	100	65	100	65	100	65
300...500	-	-	3	3...5	-	3...5	1...2	1...2
650	-	3...4	3...5	3...6	3...4	3...6	1...2	1...2
800	3...6	3...6	3...8	3...8	3...5	3...8	1...2	1...2
1000	3...6	3...8	3...8	3...8	3...6	3...8	1...2	1...2

Таблица 18 - Толщина наружных резиновых обкладок конвейерной ленты

Тип ленты	Поверхность ленты	Номинальная толщина наружных обкладок для различных классов прочности резины, мм							
		Б				В			С
2	рабочая	8,0	6,0	4,5	3,0	6,0	4,5	3,0	3,0
	нерабочая	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	1,5
3	рабочая	-				2,0			3,0; 2,0
4	рабочая	-				-			3,0 2,0 1,0
	нерабочая								1,0 1,0 1,0

2.3 Выбор опорных узлов ленточного транспортера

Конструктивные решения опорных элементов ленточного транспортёра.

В конструкции ленточных конвейеров для поддержки ленты вдоль трассы применяются различные опорные элементы: роликовые устройства, сплошной настил либо их комбинации. При транспортировке сыпучих материалов на рабочей ветви преимущественно используют желобчатые роlikоопоры, состоящие из трёх или пяти роликов, число которых выбирается исходя из ширины ленты. В частности, при ширине конвейерной ленты 300–400 мм применяются двухроликовые опоры.

На холостой ветви, а также в зонах разгрузки — например, при использовании плужковых сбрасывателей — целесообразно применение прямых (горизонтальных) роlikоопор. Такие опоры также используются при небольшой производительности транспортной системы (до 25 м³/ч), где применение желобчатых конструкций может быть нецелесообразным.

Для обеспечения устойчивости положения ленты на протяжённых транспортёрах (длиной более 40–50 м) в конструкции предусматриваются центрирующие роlikоопоры. Эти устройства выполняют функцию автоматического выравнивания положения ленты в случае её смещения относительно центральной оси роlikоопорной системы.

Обобщённые сведения о видах роlikоопор и их функциональном назначении приведены в таблице 19, а характеристики используемых роlikов — в таблице 20.

Таблица 19 – Типы роlikоопор

Роlikоопора		Обозначение роlikа	Назначение	Область применения в конвейерах
тип	обозначение			
Верхняя: прямая	П	Г	Для поддержания рабочей ветви ленты	С плоской лентой шириной $B=300\ldots2000$ мм
Желобчатая	Ж			С желобчатой лентой шириной $B = 400\ldots3000$ мм
Желобчатая центрирующая	ЖЦ			С желобчатой лентой шириной $B = 400\ldots3000$ мм для центрирования хода ленты
Нижняя: прямая	Н, НЛ	Н и НЛ	Для поддержания холостой ветви	С лентой шириной $B = 300\ldots2000$ мм
Прямая центрирующая	НЦ, НЛ			С лентой шириной $B = 400\ldots2000$ мм для центрирования хода ленты
Желобчатая	НЖ НЖЛ			С лентой шириной $B = 800\ldots3000$ мм
Дисковая	НД НДЛ	ДиДЛ		С лентой шириной $B = 400\ldots3000$ мм

Амортизирующие роlikоопоры специального назначения монтируются в зоне размещения загрузочных устройств и предназначены для поглощения ударных нагрузок, возникающих при падении груза на ленту, с целью снижения механического воздействия на конструктивные элементы конвейера.

Таблица 20 - Основные типы роликов (по ГОСТ 22646-77)

Тип	Исполнения		Обозначение
	по рабочей поверхности	по концам оси	
Верхний	Гладкий	Со сквозной лыской	Г
	Футерованный		Ф
Нижний	Гладкий	Со сквозной лыской	Н
	Футерованный		НФ
	Дисковый		Д
	Гладкий	С глухой лыской	НЛ
	Футерованный		НФЛ
	Дисковый		ДЛ

Расстояние между роликоопорами (см. рисунок 14) определяется исходя из характеристик транспортируемого материала.

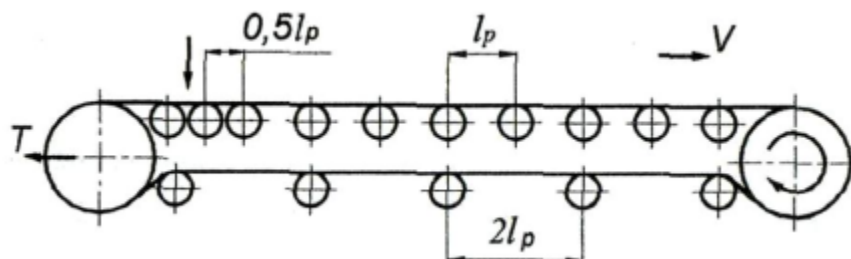


Рисунок 14 – Конфигурация трассы горизонтального ленточного транспортера

«При транспортировании насыпного груза расстояние между роликами принимают по таблице 21. Расстояние между роликоопорами в зоне загрузки ленты принимают . На холостой ветви расстояние между роликоопорами обычно равно , рекомендуется принимать» [49].

Таблица 21 - Максимально допустимое межосевое расстояние между роликами, установленными на рабочей ветви ленточного конвейера при транспортировке сыпучих материалов

Насыпная масса груза ρ , т/м ³	Расстояние l_p , мм, при ширине ленты B , мм					
	400	500	650	800	1000	1200
≤ 1	1600	1500	1400	1300		1200
1...2	1500	1400	1300	1200		1100
≥ 2	1400	1300	1200	1100		1000

Для корректной работы системы центрирования ленты на магистральных конвейерах рекомендуется установка центрирующих роликоопор с межосевым интервалом в пределах 20–25 метров. При этом начальная опора центрирующего типа должна располагаться на расстоянии 3–4 метров от приводного барабана, что

обеспечивает своевременное устранение возможных отклонений ленты от заданного положения и минимизирует риск её схода.

Геометрические параметры роlikоопор подбираются в соответствии с нормативными регламентами и техническими рекомендациями, обеспечивающими их надёжную эксплуатацию. Выбор диаметров роlikов осуществляется с учётом условий транспортирования, массы ленты и транспортируемого материала, данные об этом представлены в таблице 22. Ключевые габаритные характеристики роlikоопорных узлов, приведённые в соответствии с рисунком 15, обобщены в таблице 23, что позволяет унифицировать конструктивные решения при проектировании ленточных конвейеров.

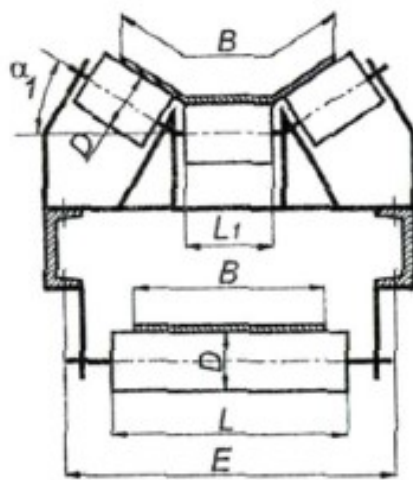


Рисунок 15 – Конструкции роlikоопор

Таблица 22 – Диаметры роlikов

Диаметр ро- лика D , мм	Ширина ленты B , мм	Насыпная масса транспортируемого груза ρ , т/м ³ , не более	Скорость дви- жения ленты V , м/с, не более
63	300-800	$\leq 1,00$	$\leq 1,25$
89	400...650 800	1,60	2,00
		1,60	1,60
108	400...650	2,00	2,5
	800...1200	1,60	2,5
133	800...1200	2,00	2,5
159	800...1200	3,5	4,0

Таблица 23 – Основные размеры роlikоопор

Ширина ленты B , мм	Диаметр ролика D , мм	Длина ролика		Ширина конструкции E , мм	Угол наклона боковых роликов α_1 , град	Масса роlikоопоры (ориентировочно) m_p , кг	
		L , мм	L_p , мм			желобчатая	Прямая
300	63	400	-	600	-	15	10
400	63, 89 108	500	160	700	10, 20, 30	15...22	12
500		600	200	800		18...24	12...15
650	63, 89, 108, 133	750	250	950		20...35	15...24
800	89, 108, 133, 159, 194	950	315	1150	10, 20, 30, 45	35...95	25...36
1000	89, 108,	1150	380	1350		48...108	32...48
1200	133, 159 194	1400	465	1600		50...132	38...52

2.4. Расчет вместимости бункеров и силосов

Силосы располагают рядами в зависимости от вместимости силосного корпуса, увязки его с рабочим зданием и максимального числа над- и подсилосных транспортеров. Высота силосов для типовых проектов принята 30 м [51]. Объем силоса складывается из трёх составляющих:

- E_1 - объёма верхней части, образующейся естественным путём за счёт насыпного конуса с углом естественного откоса α_1 ;
- E_2 - объёма средней, цилиндрической части;
- E_3 - объёма нижнего выпускного конуса с углом забутовки α_2 .
- Обычно выпускные конуса силосов изготавливаются из металлического листа сравнительно небольшой толщины. Для увеличения прочности полость под ним заполняют бетоном. Раньше её заполняли бутовым камнем - отсюда и такое название угла нижнего конуса [51].
- При проектировании силосного корпуса стараются максимально использовать его объём. В местах примыкания силосов между собой и к стенам корпуса образуются дополнительные полости, которые используются как оперативные ёмкости. Их называют силосами-звёздочками (рисунок 16).

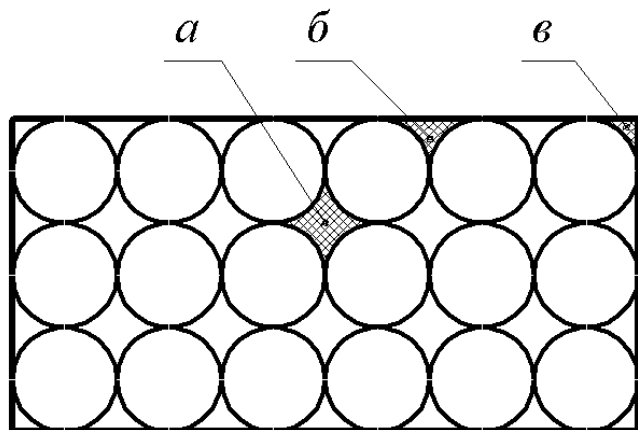


Рисунок 16. Пример сетки силосного корпуса а - внутренний силос-звёздочка; б - краевой силос-звёздочка; в - угловой силос-звёздочка

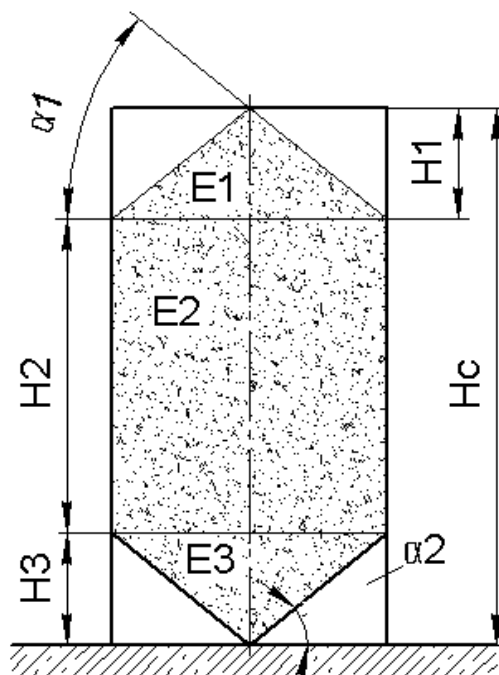


Рисунок 17. Расчётная схема ёмкости силоса

Вместимость (т) силоса определяют по формуле:

$$E_c = \gamma \cdot [F_c \cdot H_c - (V_1 + V_3)], \quad (24)$$

Где:

γ - насыпная плотность зернового материала, т/м³. Для различных культур она варьируется в следующих пределах: пшеница — 0,68...0,82; рожь — 0,58...0,78; кукуруза в початках — 0,45...0,65; кукуруза в зерне — 0,70...0,80; ячмень — 0,48...0,72; овёс — 0,54...0,67; рис (зерно) — 0,56...0,65; гречиха — 0,46...0,58; просо — 0,70...0,80; горох — 0,80...0,83; подсолнечник — 0,30...0,45;

F_c - площадь поперечного сечения внутреннего объёма силосной ёмкости, м²;

H_c - вертикальное расстояние от перекрытия надсилосного пространства до выпускного отверстия, м;

V_1 - объём верхней части силоса, не занятый зерновой массой, м³;

V_3 - объём нижней засыпной части силоса (так называемой «забутки»), м³ [51].

При угле естественного откоса зерна $\alpha = 26$ значения V_1 следующие:

- для круглого силоса $V_1 = K_1 \cdot D_3$;

при угле наклона днища силоса $\alpha = 36$ значения V_3 следующие:

- для круглого силоса $V_3 = K_2 \cdot D_3 - \Delta$;

где K_1, K_3 - коэффициенты, зависящие от расположения загрузочного отверстия в плане; K_2, K_4 - коэффициенты, зависящие от расположения выпускного отверстия в плане (таблицы 2...4); D - внутренний диаметр силоса, м; Δ - поправка на действительный размер выпускного отверстия круглого силоса; d - диаметр разгрузочного отверстия, м.

$$\Delta = 0,285535 d - 0,0951 d^3 \quad (25)$$

Геометрические соотношения, по которым находятся соответствующие коэффициенты в таблицах 24-26, вычисляются по схемам расположения выпускных отверстий на рисунках 18 и 19.

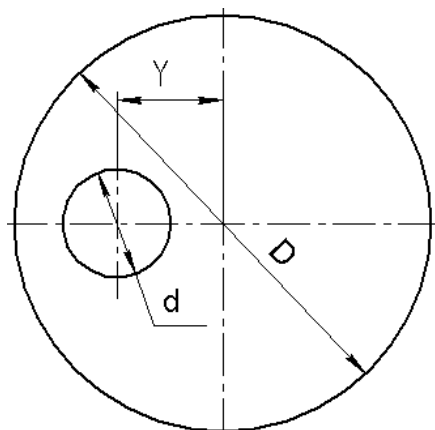


Рисунок 18- Схема расположения выпускного окна для круглых силосов

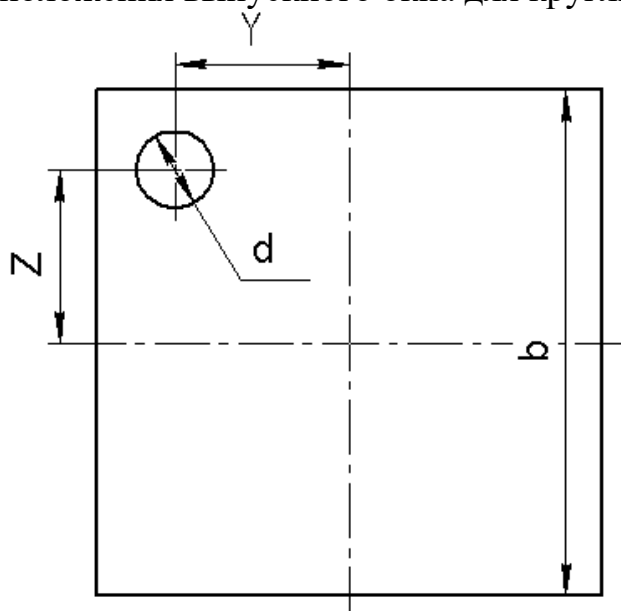


Рисунок 19- Схема расположения выпускного окна для квадратных силосов

Таблица 24-Значение коэффициентов K_1 и K_2

Y/D	$K_1(\alpha_1)$	$K_2(\alpha_2)$	Y/D	$K_1(\alpha_1)$	$K_2(\alpha_2)$
0,00	0,1278	0,1902	0,30	0,1614	0,2404
0,05	0,1288	0,1917	0,35	0,1731	0,2579
0,10	0,1315	0,1959	0,40	0,1864	0,2776
0,15	0,1364	0,2031	0,45	0,2010	0,2993
0,20	0,1429	0,2125	0,50	0,2167	0,3229
0,25	0,1512	0,2253			

Примечание: ($\alpha_1=26$ (для K_1) - угол естественного откоса зерна вверху силоса; $\alpha_2=36$ (для K_2) - угол наклона днища силоса в градусах [51].

Таблица 25-Значение коэффициента K_3

Z	Значение величины Y					
	0,0..1,0	0,1..0,9	0,2..0,8	0,3..0,7	0,4..0,6	0,5
0,0..1,0	0,373	0,344	0,321	0,303	0,293	0,289
0,1..0,9	0,344	0,313	0,287	0,269	0,258	0,254
0,2..0,8	0,321	0,287	0,260	0,241	0,229	0,225
0,3..0,7	0,303	0,269	0,241	0,220	0,208	0,203
0,4..0,6	0,293	0,258	0,229	0,208	0,195	0,191
0,5	0,289	0,254	0,225	0,203	0,191	0,187

Таблица 26-Значение коэффициента K_4

Z	Значение величины Y					
	0,0..1,0	0,1..0,9	0,2..0,8	0,3..0,7	0,4..0,6	0,5
0,0..1,0	0,566	0,513	0,478	0,452	0,436	0,430
0,1..0,9	0,513	0,466	0,428	0,400	0,384	0,378
0,2..0,8	0,476	0,428	0,388	0,359	0,341	0,335
0,3..0,7	0,452	0,400	0,359	0,328	0,310	0,302
0,4..0,6	0,436	0,384	0,3419	0,310	0,292	0,285
0,5	0,430	0,378	0,335	0,302	0,285	0,276

Вышеприведенными формулами пользуются, если силос имеет загрузку в выпуск не по центральной части. При подаче и выпуске зерна из силоса по центральной части вместимость силоса можно определить по формуле:

$$E_c = E_1 + E_2 + E_3, \quad (26)$$

$$E_1 = \gamma \cdot \pi \cdot R^2 H_1 / 3 \quad (27)$$

$$E_2 = \gamma \cdot \pi \cdot R^2 H_2 \quad (28)$$

$$E_3 = \gamma \cdot \pi \cdot R^2 H_3 / 3 \quad (29)$$

Здесь R - внутренний радиус силоса, м; H_1 , H_2 , H_3 - соответственно высота верхней конусной, цилиндрической и нижней конусной частей силоса, м.

$$H_1 = R \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (30)$$

$$H_2 = R \cdot \operatorname{tg} \alpha_2, \quad (31)$$

где α_1 - угол естественного откоса зерна при заполнении силоса зерном ($\alpha_1 = 26^\circ$); α_2 - угол забутки днища (для сухого зерна $\alpha_2 = 36^\circ$, для сырого $\alpha_2 = 45^\circ$)[51].

Если $\alpha_2 = 45^\circ$, то формула вместимости силоса принимает вид:

$$E_c = \gamma \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \left(\frac{H_1}{3} + H_2 + \frac{H_3}{3} \right). \quad (32)$$

Вместимость силоса - звёздочки можно определить по формулам:
Для центрального расположения выпуска:

$$E_{зс} = (4 \cdot \pi - 1/4) \cdot H_c \cdot R^2; \quad (33)$$

Для любого расположения выпуска:

$$E_{зс} = \gamma \cdot \pi \cdot R_s^2 \cdot \left(\frac{H_1'}{3} + H_2' + \frac{H_3'}{3} \right), \quad (34)$$

где R_s - эквивалентный радиус ($R_s = 0,262D$); H_1' , H_2' , H_3' - высота верхней, средней и нижней частей силоса, м.

$$H_1' = R_s \cdot \operatorname{tg} \alpha_1; \quad (35)$$

$$H_2' = H_c \cdot R_s \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2); \quad (36)$$

$$H_3' = R_s \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \quad (37)$$

Вместимость бункеров вычисляется по формуле:

$$E_b = \varphi' \cdot \gamma \cdot F_b \cdot H_b \quad (38)$$

где φ' - коэффициент использования объема (таблица 27); F_b - площадь поперечного сечения бункера в снегу (этот термин эквивалентен выражению "площадь поперечного сечения бункера", но в начале прошлого века крестьянин был поголовно неграмотен и выражение "сечение в снегу" для него было намного понятнее), м; H_b - высота забутки, м².

Таблица 27-Значение коэффициента φ'

а	Значения б						
	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Hб = 6м							
2,0	0,83	0,82	0,80	0,76	0,72	0,67	0,61
2,5	0,82	0,78	0,76	0,73	0,69	0,64	0,58
3,0	0,80	0,76	0,74	0,70	0,66	0,61	0,56
3,5	0,79	0,74	0,72	0,67	0,63	0,58	0,52
4,0	0,76	0,73	0,70	0,65	0,61	0,56	0,50
Hб = 8м							
2,0	0,90	0,87	0,85	0,82	0,79	0,75	0,70
2,5	0,87	0,84	0,83	0,79	0,76	0,72	0,67
3,0	0,85	0,83	0,81	0,77	0,73	0,68	0,63
3,5	0,84	0,82	0,80	0,74	0,70	0,65	0,60
4,0	0,82	0,80	0,78	0,73	0,67	0,61	0,58
Hб = 10м							
2,0	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,76
2,5	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,78	0,72
3,0	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,74	0,70
3,5	0,87	0,85	0,83	0,80	0,78	0,70	0,67
4,0	0,86	0,84	0,82	0,76	0,74	0,67	0,64
Hб = 12м							
2,0	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84
2,5	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86	0,84	0,82
3,0	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,80
3,5	0,89	0,88	0,86	0,83	0,81	0,77	0,75
4,0	0,88	0,87	0,85	0,80	0,79	0,74	0,70

2.5 Определение суммарного расхода воздуха аспирационной системы

Общий расход воздуха находят как сумму расходов воздуха всего аспирируемого оборудования [52-54]:

$$Q_{сети} = Q_{общ} = \sum_{i=1}^n Q_i, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (39)$$

где Q_i - расход воздуха от i –ой машины (точке отсоса), $\text{м}^3/\text{час}$ или $\text{м}^3/\text{мин}$; n – количество точек отсоса входящих в аспирационную установку (сеть). С учетом 5% подсоса воздуха в воздухопроводах запишем выражение (39) в следующем виде

$$Q_{сети} = Q_{общ} = 1,05 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots Q_n) \quad (40)$$

В формуле (40): 1,05 – подсос воздуха в воздухопроводах принимают

ориентировочно 5 % от полезного расхода $\sum_{i=1}^n Q_i$. Величина Q_i – расход воздуха от i –ой машины (точки отсоса) принимается из справочной литературы согласно нормативам, установленным для каждого вида оборудования индивидуально [52,53]

2.6 Математическая модель для определения производительности ленточного конвейера

Математическая модель описывает расчёт производительности ленточного транспортёра Q в зависимости от геометрических, физических и технологических параметров. В основе лежит определение массы сыпучего материала, перемещаемого лентой за единицу времени, с учётом формы насыпи, создаваемой под действием боковых роликов.

Для начала определяется эффективная ширина зоны насыпи груза b , которая приближённо выражается через полную ширину ленты B следующим образом:

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05$$

где B — ширина ленты в метрах. Это приближённое значение учитывает уменьшение полезной площади из-за загиба ленты боковыми роликами.

Затем определяется производительность транспортёра через выражение, учитывающее:

- сечение насыпи,
- коэффициент заполнения k ,
- насыпную плотность материала ρ ,
- скорость движения ленты v ,
- угол естественного откоса материала φ ,
- угол наклона боковых роликов β , который влияет на форму насыпи через эмпирические коэффициенты.

Общая формула производительности в тоннах в час имеет вид:

$$Q = b^2 \cdot k \cdot \rho \cdot v \cdot (A(\beta) + B(\beta) \cdot \tan \varphi)$$

где:

- Q производительность транспортёра (т/ч),
- b эффективная ширина (м),
- k коэффициент заполнения (доли от 0 до 1),
- ρ насыпная плотность (т/м³),
- v скорость ленты (м/с),
- φ угол естественного откоса материала (°),
- $\tan \varphi$ тангенс угла откоса,
- A(β) и B(β) эмпирические коэффициенты, зависящие от угла наклона боковых роликов

Значения коэффициентов A(β) и B(β) для основных углов наклона даны в таблице:

Таблица ? - Значения коэффициентов A(β) и B(β)

Угол наклона β , °	A(β)	B(β)
20	245	840
30	345	770
45	470	610
60	505	430

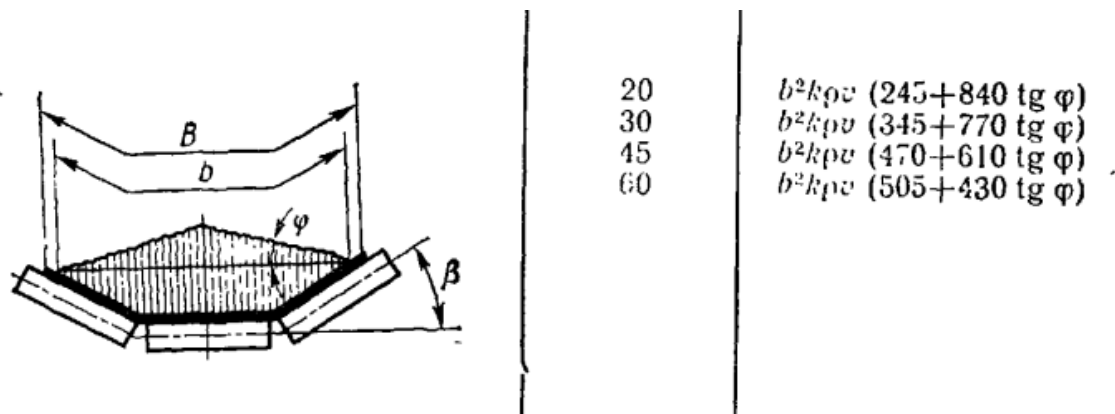


Рисунок ? – Схема для определения промежуточных значений угла наклона роликов

Эта модель позволяет быстро рассчитать производительность транспортёра при заданных параметрах, а также использовать её в задачах оптимизации — например, для выбора оптимального угла наклона роликов или ширины ленты при заданной цели (максимальная производительность, ограничение по ширине и т.д.).

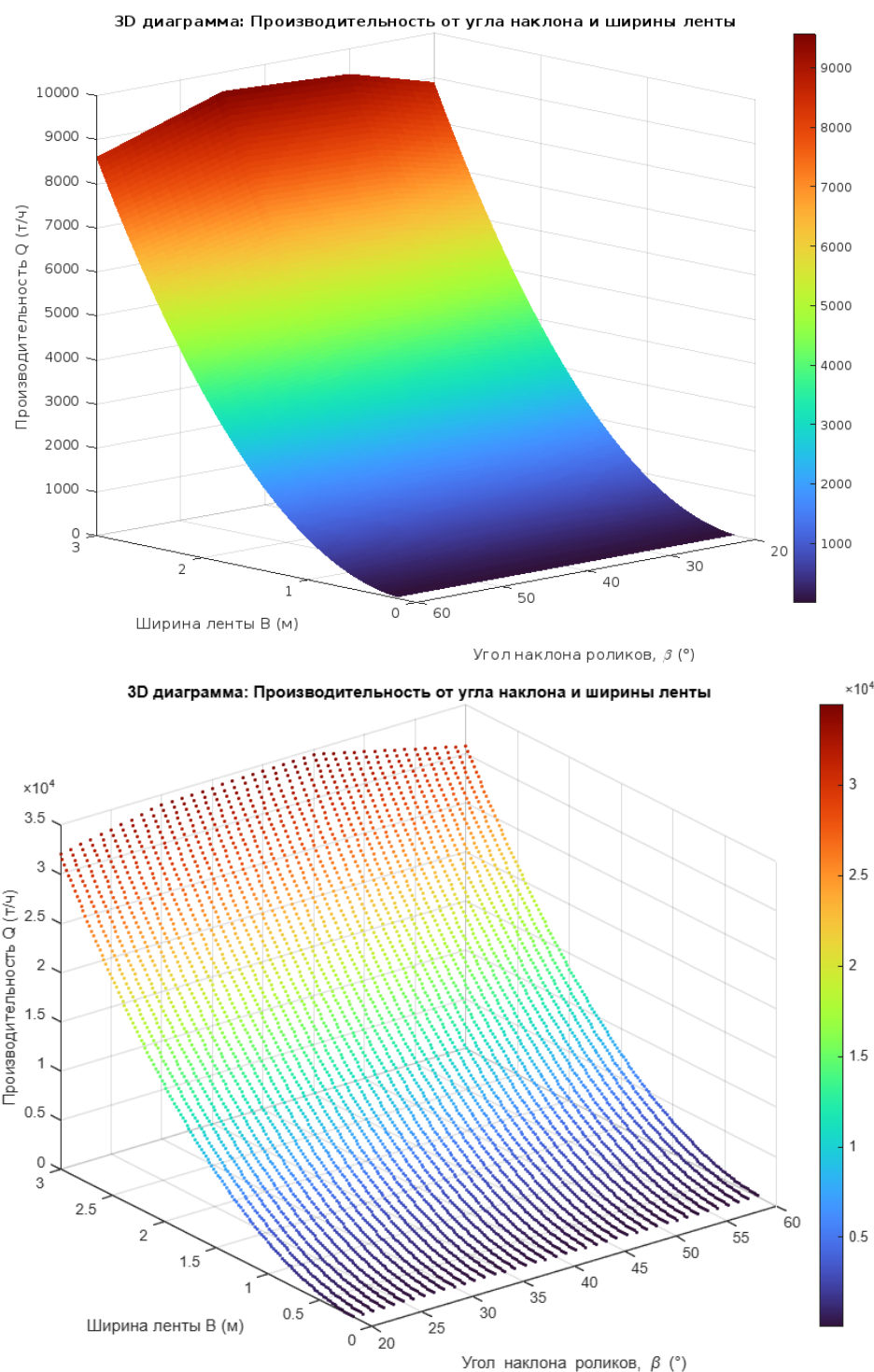


Рисунок 1. Диаграмма производительности от угла наклона и ширины ленты ленточного транспортера

На диаграмме представлена зависимость производительности ленточного транспортера Q от ширины ленты B и угла наклона боковых роликов β . Ось X отображает ширину ленты в диапазоне от 0,18 до 3 м. Ось Y показывает угол наклона роликов от 20° до 60° . Ось Z отражает расчётную производительность Q в тоннах в час, масштабированную до $\times 10^3$, то есть максимальные значения достигают около 3600 т/ч. Цветовая шкала указывает на уровень производительности: от фиолетового цвета для наименьших значений до красного для наибольших.

Поверхность диаграммы отражает взаимодействие двух факторов: при увеличении ширины ленты B наблюдается устойчивый рост производительности, так как площадь поперечного сечения слоя материала увеличивается квадратично. Влияние угла наклона роликов β выражается по-другому: при малых значениях B угол оказывает заметное влияние — существует оптимальный диапазон углов (около $30\text{--}35^\circ$), при которых производительность максимальна. При дальнейшем увеличении угла роликов жёлоб становится слишком острым, и полезная площадь начинает снижаться. Для широких лент (например, $B > 1.5$ м) влияние угла становится менее значимым, так как основной прирост обеспечивается увеличенной шириной.

Таким образом, диаграмма демонстрирует, что производительность Q возрастает с ростом ширины ленты, и для каждой ширины существует предпочтительный угол наклона роликов. Максимальные значения достигаются при ширине $B \approx 3$ м и угле $\beta \approx 30^\circ$. Такая визуализация позволяет определить наиболее эффективные параметры ленты и роликовой опоры, оптимизировать проект с точки зрения производительности, а также понять, в каких зонах параметров производительность резко падает или перестаёт расти.

2.7 Моделирование напряженно-деформированного состояния роликовых опор ленточного конвейера

На изображении представлена карта суммарных перемещений (URES, мм) конструкции роlikоопорной рамы ленточного конвейера, полученная с использованием метода конечных элементов в SolidWorks Simulation. Конфигурация конструкции включает три ролика: два боковых, расположенных под углом 30° к горизонтали, и один центральный, установленный горизонтально. Цветовая шкала, расположенная справа, отображает значения перемещений от минимальных (синий цвет) до максимальных (красный цвет), где максимальное перемещение составляет около 0,76 мм. Центральный ролик окрашен в красный цвет, что указывает на наибольшую деформацию в данной зоне, связанной с концентрацией нагрузки. Боковые ролики и их опоры демонстрируют средний уровень перемещений (зелёные и жёлтые оттенки), что свидетельствует об их участии в восприятии нагрузки. Основание конструкции, включая монтажную плиту и нижние части стоек, окрашено в синий цвет, что указывает на жёсткое закрепление и отсутствие значительных смещений. Распределение перемещений по всей конструкции при угле 30° остаётся сбалансированным: деформации сосредоточены преимущественно в верхней части конструкции, а опорные элементы остаются неподвижными. В целом, при угле наклона роликов 30° наблюдается умеренный уровень деформаций: выше, чем при 20° , но ниже или на уровне 45° , при этом нагрузка распределяется между центральным и боковыми роликами, что способствует более равномерному поведению всей системы.

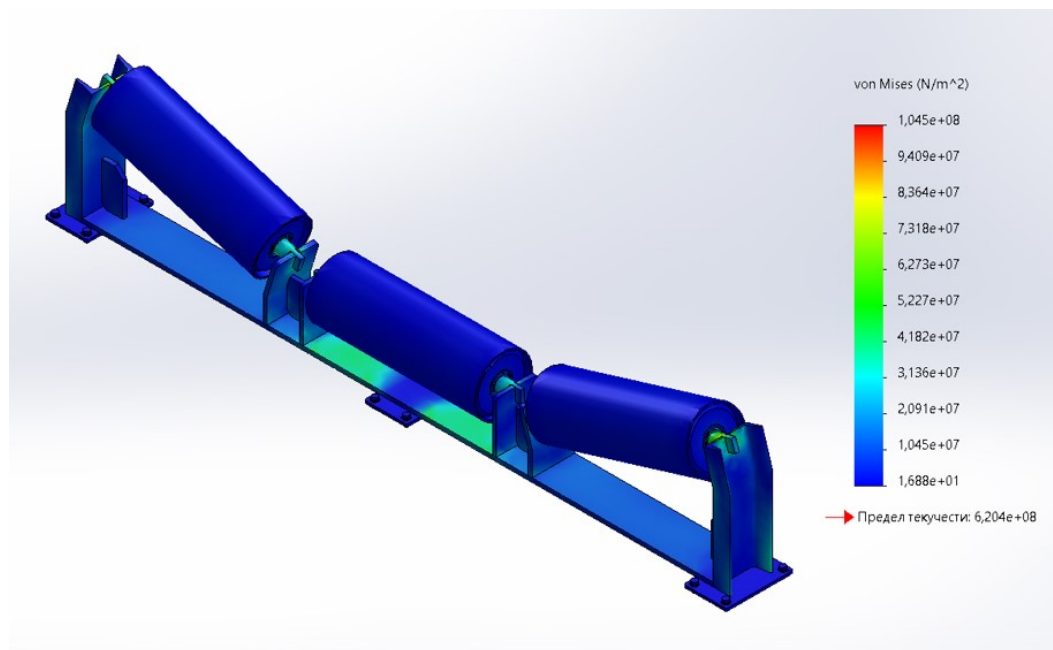


Рисунок 3. Карта эквивалентных напряжений по Мизесу (von Mises stress) в конструкции роlikоопорной рамы ленточного конвейера (30 градусов)

На изображении представлена карта эквивалентных напряжений по Мизесу (von Mises stress) в конструкции роlikоопорной рамы ленточного конвейера, полученная в результате статического прочностного анализа в SolidWorks Simulation. Цветовая шкала справа отображает распределение напряжений в единицах Н/м² (Па), от минимальных значений (синий цвет) до максимальных (красный цвет), с учётом предела текучести материала конструкции.

Максимальное значение напряжений составляет порядка $1,045 \times 10^8$ Н/м² (104,5 МПа), что значительно ниже обозначенного красной стрелкой предела текучести материала, равного $6,240 \times 10^8$ Н/м² (624 МПа). Это означает, что конструкция работает в пределах упругой деформации и запас прочности составляет более чем в 6 раз.

Основные зоны повышенных напряжений локализуются: в области соединения центрального ролика с кронштейнами (зелёные и жёлто-зелёные зоны), в местах контакта между боковыми роликами и их опорами.

Большая часть конструкции окрашена в тёмно-синий цвет, что свидетельствует о низком уровне напряжений в этих зонах (порядка 10^4 – 10^5 Н/м²), то есть они не подвергаются значительным нагрузкам.

Таким образом, анализ показывает, что конструкция роlikоопоры при выбранной нагрузке работает с большим запасом прочности, и разрушения или пластической деформации не произойдёт. Это подтверждает её безопасность и надёжность при эксплуатации.

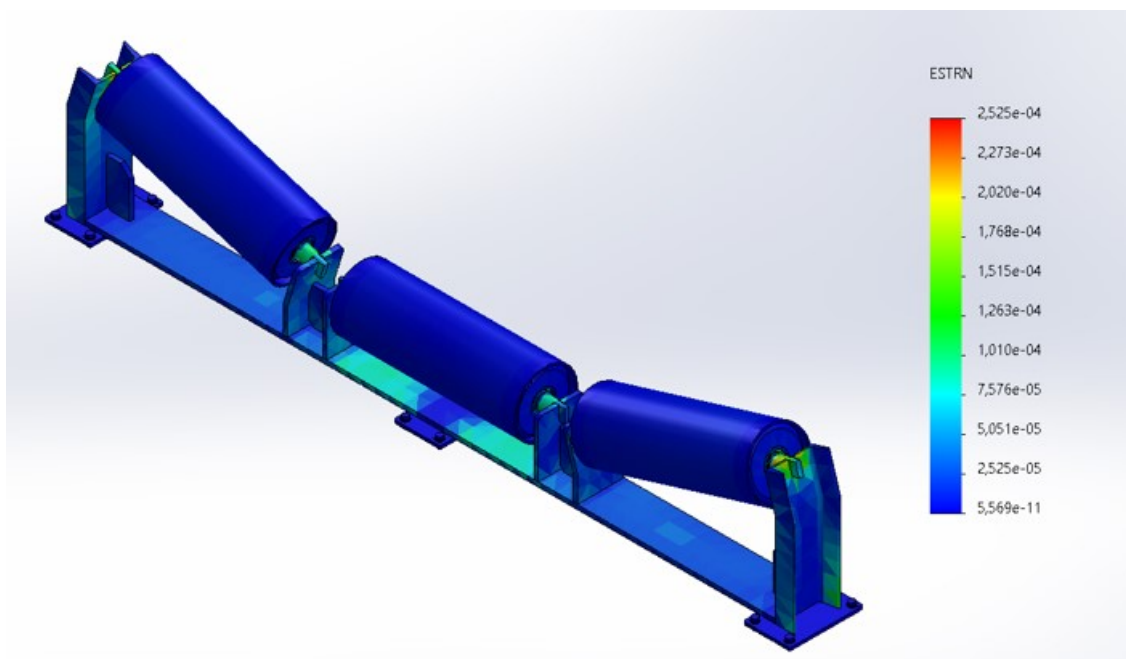


Рисунок 4. Карта распределения относительных деформаций (ESTRN) в конструкции роlikоопоры ленточного конвейера

Данная диаграмма иллюстрирует распределение деформаций под действием эксплуатационной нагрузки и показывает, какие участки конструкции подвергаются наибольшим растяжениям или сжатиям. Цветовая шкала справа отражает диапазон деформаций от минимальных значений, близких к нулю ($5,56\text{e-}11$), обозначенных синим цветом, до максимальных — около $2,52\text{e-}4$ ($0,0252\%$), показанных красным цветом. Максимальные деформации наблюдаются в зонах крепления роликов, особенно в местах соединения центрального горизонтального ролика с кронштейнами, где напряжённое состояние достигает пиковых значений. Эти области окрашены в жёлто-красные оттенки, указывающие на локальные растяжения. Боковые ролики и их опоры демонстрируют умеренные деформации, преимущественно в зелёно-жёлтом диапазоне. В то же время основание конструкции и её нижняя часть остаются практически недеформированными и окрашены в тёмно-синий цвет, что свидетельствует о жёстком закреплении и отсутствии заметного удлинения или сжатия. Общая картина показывает, что структура работает в пределах упругости материала: максимальные относительные деформации составляют менее $0,03\%$, что подтверждает её высокую жёсткость и надёжность. Деформации имеют ярко выраженный локальный характер, сосредотачиваясь в функционально нагруженных зонах и не распространяются на основные несущие элементы рамы, что говорит о корректном конструктивном решении и эффективной передаче нагрузок.

Далее можно рассмотреть анализ ленты конвейера при выбранном угле наклона боковых роликов 30° , что позволит более полно оценить её поведение в условиях реальной эксплуатации. Такой анализ включает как прочностную, так и кинематическую и эксплуатационную оценку, с учётом особенностей транспортируемого материала (в данном случае — сильно засорённых зерновых культур).

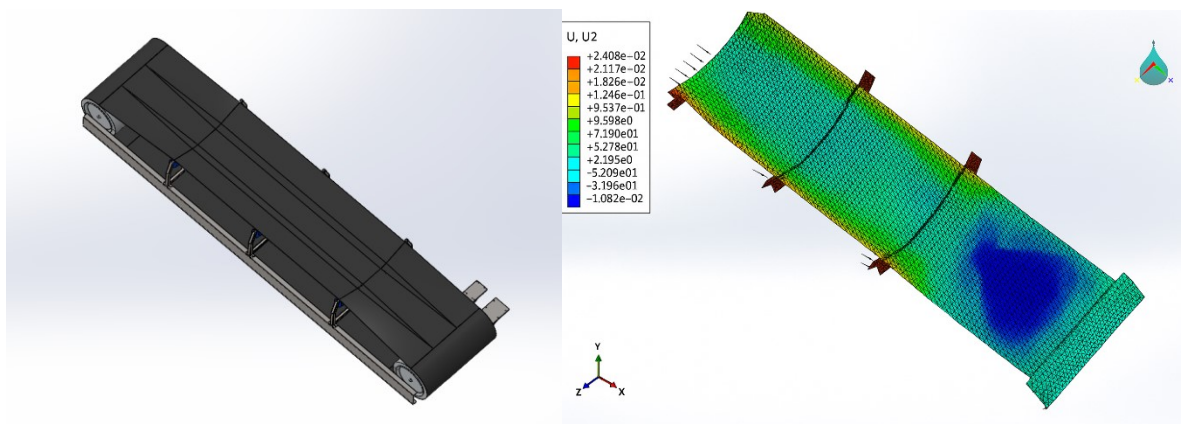


Рисунок 5. Визуализация результатов конечно-элементного анализа (FEA) перемещений ленты конвейера под нагрузкой

На изображении представлена визуализация результатов конечно-элементного анализа (FEA) перемещений ленты конвейера под нагрузкой, выполненного по компоненте перемещения вдоль оси U_2 , которая соответствует вертикальной или поперечной оси Y . Цветовая шкала слева отражает диапазон значений перемещений от $-108,2$ до $+240,8$ мм. Зоны, окрашенные в тёмно-синий цвет, указывают на максимальные отрицательные перемещения, то есть участки максимального прогиба вниз, тогда как красные и оранжевые зоны демонстрируют наибольшие положительные смещения вверх или в сторону. Лента зафиксирована в нескольких точках с помощью опорных элементов, между которыми возникает свободный прогиб. В правой части конструкции наблюдается концентрированная область прогиба (сине-фиолетовая зона), что свидетельствует о наличии сосредоточенной нагрузки или ослабленного участка. Сетка расчётной модели построена из треугольных элементов, что характерно для анализа гибких поверхностей. Векторное поле, представленное чёрными стрелками, указывает направление и величину перемещений узлов. В целом, модель демонстрирует реалистичную картину поведения ленты под нагрузкой с отчётливо выраженной зоной деформации, что позволяет оценить её жёсткость, устойчивость к прогибу и пригодность к дальнейшей эксплуатации в условиях неравномерной загрузки.

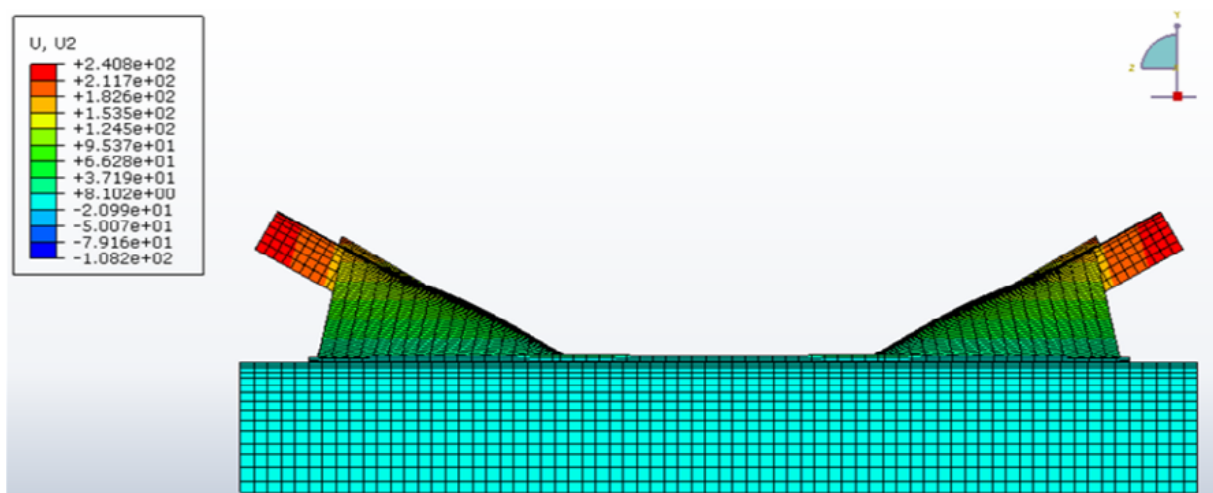


Рисунок 5. Фронтальная проекция результатов конечно-элементного анализа перемещений

2.7 Выводы по разделу

1. Определение производительности ленточного транспортера опирается на разработанную, в достаточной степени теоретическую базу, однако в диссертации разработан новый подход, опирающийся на исследования Александрова М.П. и законы подобия функций. Это позволило пошагово определить связь производительности и угла наклона роликов.

2. Обоснованы параметры конструкции роликовых опор для оптимального режима работы ленточного транспортера. Определена зависимость производительности транспортера от угла наклона боковых роликов.

3. Уточнен выбор типа и материала ленты и опорных устройств. Представлен расчет вместимости бункеров и силосов и определение суммарного расхода воздуха аспирационной системы для работы с сильно засоренным зерном.

4. Разработана математическая модель для определения производительности ленточного конвейера в зависимости от ширины ленты и угла наклона боковых роликовых опор. Разработанная модель показывает, что производительность конвейера возрастает с ростом ширины ленты, и для каждой ширины существует предпочтительный угол наклона роликов. Максимальные значения достигаются при ширине $B \approx 3\text{ м}$ и угле $\beta \approx 30^\circ$.

5. Определено напряженно-деформированное состояние роликовых опор конвейера с использованием метода конечных элементов в SolidWorks Simulation. Результаты анализа показывает, что конструкция роlikоопоры при выбранной нагрузке работает с большим запасом прочности, и разрушения или пластической деформации не произойдет.

6. Проведен анализ ленты конвейера при выбранном угле наклона боковых роликов 30° , что позволит более полно оценить её поведение в условиях реальной эксплуатации. Такой анализ включает как прочностную, так и кинематическую и эксплуатационную оценку, с учётом особенностей транспортируемого материала (в данном случае — сильно засорённых зерновых культур).

3 Методика проведения экспериментальных исследований

3.1 Определение технологических свойств транспортируемых зерновых масс

3.1.1 Определение насыпной плотности сильно засоренных зерновых культур

В емкость объемом 1 литр насыпаем чистое зерно, после взвешивания на электронных весах получаем вес груза и в результате деления на объем имеем плотность ρ_1 . То же самое осуществляем для сильно засоренного зерна, получаем ρ_2 .

$$\rho_2 / \rho_1 = k_{с.з.} \quad (41)$$

Здесь $k_{с.з.}$ - коэффициент снижения плотности сильно засоренного зерна.



Рисунок 20-Весы

Каждое испытание проводилось с пятикратной повторяемостью для повышения достоверности результатов. Масса материала измерялась с использованием электронных весов модели *WeiHeng WH-B09*, оснащённых высокоточным сенсорным датчиком. Конструкция прибора выполнена из прочного пластика, устойчивого к механическим повреждениям. Весы снабжены цифровым дисплеем и двумя функциональными кнопками: для включения/выключения и обнуления тары, а также для выбора единиц измерения. Предусмотрена функция автоматического отключения при бездействии через 2 минуты, а также режим калибровки.

Основные технические характеристики модели:

- Максимальная нагрузка — 7 кг;
- Точность измерения — 1 г;
- Материал корпуса — пластик;
- Цвет — белый;
- Конфигурация чаши — круглая (овальная);
- Источник питания — две батарейки формата ААА;
- Габаритные размеры — 18×15×5 см.

Экспериментальная часть исследований была выполнена в лабораторных условиях предприятия по производству элеваторного оборудования «Астык». Завод зарегистрирован как правообладатель товарного знака РЖ №84918, подтверждённого уведомлением о регистрации №113133 от 15 декабря 2022 года (см. Приложение 1). Лабораторный комплекс предприятия, на базе которого проводились опыты, представлен на рисунке 21 (см. Приложение А).



Рисунок 21-Лаборатория завода элеваторного оборудования «Астык»

Кроме взвешивания лаборатория проводит все виды анализа зерновой продукции на анализаторе качества зерна Infratec 1241 (рисунок 22), Сертификат о поверке анализатора качества зерна (рисунок 23)



Рисунок 22-Анализатор качества зерна Infratec 1241

Северо-Казахстанский филиал АО "НЦЭКС"
(наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)
Аттестат аккредитации № KZ.P.15.E0535 от 17.09.21 г.
(номер аттестата аккредитации)

СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № BJ-01-09-01249
Анализатор качества зерна
(наименование средства измерений (эталона))

Тип, обозначение: **Infratec 1241** заводской № **12415283**
Протеин(белок) от 4 до 28%, влажность в зерне от 4 до 50 %
(диапазон измерений средства измерений)

Изготовитель: **Швеция**
Дата изготовления: **2007 г.**
Пользователь: **ТОО "ММК", г. Мамлютка**
Поверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)
KZ.04.02.00458-2003 Анализатор качества зерна Infratec 1241 с аналитическими модулями Cervitex 1625, infraXact 7500. Методика поверки.
(обозначение и наименование методики поверки)

с использованием следующих средств поверки: **ГСО № 12-СП-01**
(массовая доля влаги 11,0 %, массовая доля белка 15,9 %).
(обозначение эталона и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу _____, разряду _____

с учетом неопределенности измерений **U=+0.29 % при k=2 P=95%**

Дата поверки: **11 августа 2023 г.** Действителен до: **11 августа 2024 г.**
Руководитель-эксперт (подпись) _____
Оператор (подпись) _____
Подпись поверителя _____
СЛ: 2274349
ДКП: 03-П-01-БД

М.К. Тлеужанов
инициалы, фамилия
О.А. Степанищева
инициалы, фамилия

Рисунок 23- Сертификат о поверке анализатора качества зерна Infratec 1241.

3.1.2 Определение влажности зерна

Определение первоначального уровня влажности зернового сырья проводилось в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 13586.5–93. Метод основан на термической обработке навесок исследуемого материала в лабораторной сушильной установке типа СЭШ-3М при температуре 130 °С в течение 40 минут.

Расчёт влажности осуществлялся путём определения разности массы образца до и после сушки, что позволяет с высокой степенью точности оценить содержание влаги в исходной пробе.

Отбор проб корма осуществлялся в соответствии с требованиями ГОСТ 13586.3. Из объединённой средней пробы отделяли навеску массой 300 ± 10 граммов, которую помещали в герметичный сосуд, заполняя его примерно на две трети объёма.

Перед началом анализа содержимое сосуда интенсивно встряхивали в различных направлениях для обеспечения равномерного распределения материала.

Для последующего определения влажности отобранное зерно перемешивалось и из него выделялась навеска массой 20 г. Этот материал подвергался измельчению в течение 30 секунд. Параллельно из эксикатора извлекались две чистые, предварительно просушенные металлические бюксы, которые взвешивались с точностью до второго знака после запятой.

Измельчённый корм сразу помещали в подготовленные бюксы, доводя массу навески до 5,00 г. После этого бюксы герметично закрывались и помещались в эксикатор. Электрический сушильный шкаф настраивался на температуру 130 °С, после чего бюксы размещались внутри шкафа: сначала устанавливалась крышка в гнездо, затем на неё ставилась бюкса. Оставшиеся гнезда заполнялись пустыми бюксами. Процесс сушки продолжался в течение 40 минут с момента достижения заданной температуры.

По завершении временного интервала бюксы с образцами извлекались, закрывались крышками и помещались обратно в эксикатор до полного охлаждения, что обычно занимает около 20 минут. После охлаждения бюксы взвешивались с высокой точностью, и далее оставлялись в эксикаторе до окончания всех вычислений. [55, 56].

Влажность корма в процентах вычисляли по формуле:

$$(42)$$

Где:

m1 – масса пробы зерна до проведения сушки, в граммах (г);

m2 – масса пробы после окончания процесса высушивания, также в граммах (г).

В целях дополнительного контроля влажности зерна были проведены измерения с использованием электронного влагомера. Перед началом основной части эксперимента влажность зернового материала оценивалась цифровым влагомером модели «Wile 55» (см. рисунок 39), соответствующим требованиям ГОСТ 2874–82 [57]. Принцип работы прибора основан на определении ёмкостного сопротивления исследуемого образца. Устройство представляет собой микропроцессорный электронный измерительный прибор, который обеспечивает прямое отображение процентного содержания влаги на цифровом дисплее.

Технические параметры влагомера «Wile 55» приведены в таблице 28.



Рисунок 39 - Влагомер зерна «Wile 55» [127]

Таблица 28- Техническая характеристика влагомер зерна «Wile 55»

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Значение
1	Влажности зерновых и зернобобовых	%	8...35
2	Влажности масличных	%	5...25
3	Погрешность измерения влажности	%	±0,5
4	Время измерения	С	50
5	Габаритные размеры	Мм	180x80x65
6	Рабочая температура	°С	+5...+40
7	Напряжение питания	В	батарея 9
8	Масса	Кг	0,75

Запуск влагомера осуществлялся посредством однократного нажатия кнопки «Р», после чего на дисплее отображался номер шкалы измерения, соответствующий определённой сельскохозяйственной культуре.

Измерение проводилось в автоматическом режиме, по завершении которого на дисплее отображалось значение влагосодержания в процентах от массы образца. По окончании измерительного цикла прибор автоматически отключался.

Для повышения достоверности результатов процедура измерения повторялась трижды, после чего рассчитывалось среднеарифметическое значение показателей.

Кроме названных методов и приборов использовались представленные ранее сертифицированные лаборатории Infratec 1241 (Рисунок 22), проба зерна для анализа представлена на рисунке 40.



Рисунок 40-Анализ зерна

Согласно основам теории погрешностей, количество повторных опытов или измерений одной и той же величины определяется в зависимости от принятого стандарта измерений и требуемого уровня надёжности результата. Под надёжностью в данном контексте понимается вероятность воспроизводимости результатов при повторных измерениях той же величины или проведении эксперимента в аналогичных условиях.

Чем выше разброс получаемых значений и строже требования к достоверности, тем большим должно быть число повторностей.

Наиболее строгая и обоснованная зависимость между количеством измерений, заданной относительной ошибкой и уровнем надёжности была установлена В. И. Романовским [58]. В таблице 29 приведена взаимосвязь между необходимым числом повторов, надёжностью (H) и допустимой ошибкой (Δ), выраженной в долях стандарта δ .

Абсолютное значение стандарта напрямую связано с точностью применяемых измерительных приборов, что означает, что итоговая достоверность результатов зависит как от характеристик оборудования, так и от количества повторных измерений. На практике, для достижения требуемой надёжности чаще оказывается более рациональным повысить точность измерительного устройства, чем многократно увеличивать объём измерений.

Таблица 29 – Необходимое количество опытов (измерений)

Ошибка Δ	Надёжность опыта, Н							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	74
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,2	13	12	29	43	70	99	171	277
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	659	1084	1540	2659	4338
0,01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

Жёстко установленных требований к выбору уровня надёжности в экспериментальных исследованиях не существует. В практических условиях величина надёжности подбирается в зависимости от целей и характера выполняемых измерений.

Так, при качественной оценке общих закономерностей, например, при анализе формы и направления изменения исследуемых кривых, достаточно принять уровень надёжности порядка 0,67, что соответствует значению $N \approx 0,7$ согласно таблице 3.

Если речь идёт о прикладных измерениях, связанных с машиностроительными конструкциями, то для обеспечения приемлемой достоверности результатов обычно принимается уровень $N = 0,9$.

Однако при определении ключевых количественных закономерностей и величин, на основе которых впоследствии будут выполняться инженерные расчёты, целесообразно использовать высокий уровень надёжности – $N \approx 0,99$ [58].

Ход работы и функционирование ленточного транспортера в процессе экспериментальных испытаний представлены на рисунках 41 и 42.



Рисунок 41-Работа ленточного транспортера



Рисунок 42-Работа в зернохранилище

3.2 Обоснование и расчет основных элементов емкости для хранения сильно засоренных зерновых культур

В данной диссертационной работе предусмотрен расчёт ключевых конструктивных элементов хранилища, предназначенного для приёма и хранения зерновых культур с высоким содержанием засоряющих примесей, а также разработка новых инженерных решений для повышения надёжности подобных сооружений.

Эксплуатационный анализ силосов из стали и железобетона показал, что при уменьшении толщины стенок в результате коррозионного или абразивного износа, а также под действием неблагоприятных технологических факторов или конструктивных дефектов, существует вероятность разрушения узлов сопряжения между стальной воронкой и железобетонной цилиндрической частью конструкции [59, 60].

Такие повреждения в ряде случаев провоцируют опасные аварийные ситуации, включая прогрессирующее (лавинообразное) разрушение, вызванное разрушением элементов крепления воронки. На сегодняшний день предложено несколько схем соединения стальной воронки с цилиндрическим железобетонным корпусом, включая методы, предусматривающие установку крепёжных элементов в месте контакта этих конструктивных частей.

Целью исследования является повышение эксплуатационной надёжности узла сопряжения за счёт улучшения схемы крепления, особенно в условиях реконструкции существующих объектов. Анализ исходных проектных решений показал, что применяемая конструктивная схема требует жёсткой анкеровки стальных элементов (так называемых "языков") в бетон стенки силоса, а также обеспечения надежного сцепления с бетонной поверхностью по всей длине контакта. Это возможно при условии качественного армирования, корректного выполнения бетонирования и отсутствия дефектов стенки в зоне крепления.

Инженерное обследование показало наличие существенных повреждений бетона, включая отслоение слоёв глубиной до 80–200 мм, а также коррозионное разрушение арматуры с потерей до 30% её сечения. Кроме того, в отдельных зонах выявлен рыхлый крупнопористый бетон, что отрицательно сказывается на надёжности заделки крепёжных элементов. Это может вызывать люфты в местах

установки "языков", неравномерное распределение нагрузок и, как следствие, повышенный риск вырыва полосовых элементов из тела бетона.

Дополнительно отмечено, что в рассматриваемых силосах, используемых на угольных складах закрытого типа, применено нетиповое техническое решение узла подвески воронки, которое не описано в нормативной и справочной литературе, а также не встречалось в инженерной практике оценки подобных объектов [61, 62].

Основные параметры и методика расчёта представлены в разделе п. 2.4, а предлагаемые технические инновации – в Приложении Д.

3.3 Обоснование и расчет основных элементов вентилятора

Постоянный рост объемов производства зерновых культур требует создания разветвленной и эффективной инфраструктуры, способной обеспечивать прием, технологическую обработку и долговременное хранение значительных партий зерна. Особая роль зерна в народном хозяйстве объясняется его способностью сохраняться длительное время без значительной потери качества и потребительских свойств при соблюдении соответствующих условий хранения.

На современном этапе развития зерноперерабатывающей отрасли важнейшее значение приобретает послеуборочная подготовка зернового материала. Эта стадия технологического процесса обеспечивает достижение необходимых стандартов качества продовольственного зерна. В связи с этим вопрос сохранности продукции приобретает приоритетное значение, опираясь на научно обоснованные подходы и практики.

С целью обеспечения требуемых условий хранения на хлебоприемных и перерабатывающих предприятиях активно применяются методы сушки и вентиляции зерна. По статистике, ежегодно порядка 70–90% собранного урожая подвергается указанным процедурам.

Среди доступных решений в сфере хранения наиболее выгодными с экономической точки зрения являются металлические вентилируемые силосы. Их строительство требует существенно меньших сроков (в 2–3 раза быстрее железобетонных аналогов) и снижает затраты примерно на 15%. В Республике Казахстан преимущественно возводят силосы вместимостью от 2000 до 10000 тонн, оснащённые системами активной вентиляции, позволяющими эффективно охлаждать зерновую массу и предотвращать процессы самосогревания, а также бороться с вредителями.

Аспирационные установки обеспечивают направленное продувание зерна воздушным потоком — холодным или подогретым. В отличие от естественной вентиляции, аспирация позволяет контролировать параметры микроклимата в объёмных хранилищах, тем самым снижая потери и улучшая использование хранилищ. Следует учитывать, что при одинаковом объёме зерна в силосе, изменение его массы будет вызывать различия в скорости проходящего воздуха. Если относительная влажность внутри силоса превышает уровень внешнего воздуха, рекомендуется организовать вентиляцию надповерхностного пространства.

Таблица 30-Аэродинамические параметры воздуха, нагнетаемого в силос

Расход воздуха, нагнетаемый вентилятором Q, м³/ч	Перепад давления в слое толщиной 2950 мм, ΔP, Па	Расход воздуха в слое зерна Qз, м³/ч	Утечки воздуха ΔQ		Удельные подачи воздуха, q, м³/ч·т	
			м³/ч	% от Q	в силос	в зерновой слой
14400	270	13040	1360	9,7	9,6	8,7
11700	220	11300	400	3,4	7,8	7,5
9720	160	9050	670	6,9	6,5	6,0
9360	140	8300	1060	10,3	6,2	5,5

Потери воздуха в результате утечек через неплотности силосной конструкции достигают порядка 10% от общего объема воздуха, подаваемого вентилятором. Фактическая удельная подача воздуха в зерновую массу составляет не более 8,7 м³/т·ч, что является ниже установленного нормативного значения, равного 10 м³/т·ч.

Для достижения необходимого уровня аэрации, при котором соблюдаются нормативные требования по воздухообмену, необходимо обеспечить подачу воздуха в объеме 15 000 м³/ч на тонну зерна. При таких условиях в зерновом слое толщиной 2950 мм должен создаваться перепад давления около 350 Па.

Подобные условия удалось реализовать в том случае, когда масса хранящегося зерна в силосе была снижена до 1400 тонн, что соответствует 70% от его полной загрузки. При такой загрузке обеспечивалась удельная подача воздуха на уровне 10,7 м³/ч·т, что соответствует нормативу.

Электродвигатель, используемый в вентиляционной системе, имел номинальную мощность 8,5 кВт, а удельное энергопотребление при указанных условиях было рассчитано следующим образом:

$$\Delta g = 8500 / 1400 = 6,07 \text{ Вт/т}$$

Таблица 31-Сравнение силосов по удельным затратам электроэнергии на аспирацию зерна

№ п/п	Культура	Удельная подача воздуха, м³/ч·т	Скорость фильтрации, см/с	Утечка воздуха, %	Удельные затраты электроэнергии, Вт/т	Масса зерна	
						в % к вместимости	в тоннах
1	пшеница	8,7	2,9	9,6	–	75	1500
2	пшеница	10,7	3,4	8,0	6,07	70	1400
3	пшеница	11,8	3,1	нет	5,33	60	6000
4	соя	11,4	3,9	нет	4,27	75	7500

Для контроля работы вентилятора во время аспирации воздушного потока в силосе применили сертифицированный измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М» [68]. Измеритель предназначен для измерения параметров микроклимата в режиме однократных или периодических замеров при проведении контроля санитарно-гигиенических требований к воздуху рабочей зоны и жилых помещений на удовлетворение требованиям норм по параметрам микроклимата в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, ГОСТ 30494-96, СанПиН 2.2.4.548-96, СНиП 2.01.01 и СНиП 2.04.95-91.

Основная область применения: контроль окружающей среды в части параметров микроклимата органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав

потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) [65-67].

Рабочие условия эксплуатации:

Условия эксплуатации измерительно-индикаторного блока:

Диапазон температуры окружающего воздуха, °C от -20 до +55

Относительная влажность воздуха при 25 °C, % до 90

Условия эксплуатации сенсометрического щупа:

Диапазон температуры окружающего воздуха, °C от -40 до +85

Относительная влажность воздуха при 25 °C, % до 97

Контрольно-измерительное устройство предназначено для:

- фиксации текущих значений параметров микроклиматических условий;
- автоматического усреднения результатов измерений за интервал времени, задаваемый пользователем в диапазоне от 1 до 30 минут;
- хранение в памяти процессора средних значений параметров микроклимата суммарным количеством до 2000 результатов;

Основные технические характеристики Измерителя приведены в таблице 32.

Таблица 32- Основные технические характеристики Измерителя

Диапазон измерений температуры, °C	от минус 40 до плюс 85
Диапазон измерений относительной влажности, %	от 3 до 97
Диапазон измерений скорости воздушного потока, м/с:	от 0,1 до 20
Диапазон измерений давления воздуха, кПа (мм.рт.ст.):	от 80 до 110 (от 600 до 825)
Пределы допускаемой абсолютной погрешности прибора:	
- канал измерений температуры, °C	±0,2
- канал измерений относительной влажности, %	±3,0
- канал измерений скорости в диапазоне от 0,1 до 1 м/с, м/с:	±(0,05+0,05V)
- канал измерений скорости в диапазоне св.1 до 20 м/с, м/с:	±(0,1+0,05V), где V – значение измеряемой скорости, м/с
- канал измерений давления воздуха, кПа (мм.рт.ст.):	± 0,13 (±1)
Время установления рабочего режима, с	60
Время непрерывной работы измерителя без подзарядки аккумуляторной батареи, часов:	8
Масса прибора, г	650

Габаритные размеры, мм: - измерительно-индикаторного блока - сенсометрического щупа	200x110x100 500x20
Максимальная потребляемая мощность, Вт	1,25

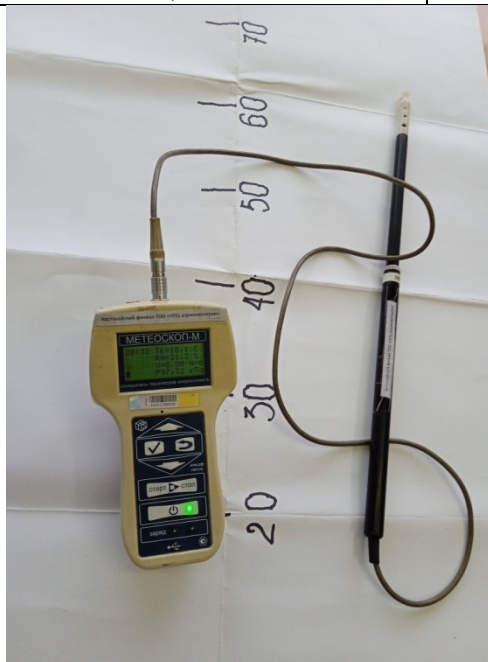


Рисунок 43- Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М»

Сертификат на измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М» представлен на рисунке 44.



Рисунок 44- Сертификат на измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М»

3.4 Определение основных параметров ленточного транспортера на экспериментальной установке

В рамках проведения экспериментальных исследований были изготовлены модели транспортеров, оснащённые роlikоопорами, у которых угол наклона боковых роликов α р составлял 20°, 30°, 45° и 60°, а длина каждого ролика — 0,3 м.

В процессе проведения экспериментальных исследований ленточные транспортеры запускались и доводились до устойчивого, равномерного режима работы. После стабилизации системы и установления постоянного уровня энергопотребления электроприводом осуществлялся отбор зернового материала в течение регламентированного временного интервала, равного 10 минутам.

Извлечённое за этот период зерно взвешивалось с использованием технических весов, обладающих допустимой погрешностью измерения не более ± 24 кг. По результатам трёх повторных измерений определялось среднеарифметическое значение массы, на основе которого рассчитывалась часовая производительность транспортёра для каждого исследуемого режима эксплуатации.

Каждое испытание проводилось трижды (трехкратная повторность). Для вычисления производительности опытной установки использовались весы (см. рисунок 24) и секундомер (ТУ 25-27-20 63 1819.0021). Весы автомобильные электронные ВСА-60 разработаны для организации системы учета и контроля на предприятиях с небольшим грузопотоком. Весы могут быть использованы в различных климатических зонах, защищены от воздействия агрессивных сред и предназначены для больших механических нагрузок. Весы автомобильные электронные ВСА-60 выпускаются по ГОСТ OIML R 76-1-2011 и внесены в Государственный реестр средств измерений под Регистрационным номером 63931-16. Весы автомобильные электронные ВСА-60 задекларированы согласно требованиям ТР ТС 020/2011 "Электромагнитная совместимость технических средств" и ТР ТС 004/2011 "О безопасности низковольтного оборудования". Весы прошли необходимую сертификацию (Рисунок 25). Процесс взвешивания представлен на рисунке 26.



Рисунок 24-Весы автомобильные

"Ілттық сараптау және сертификаттау орталығы" АҚ - Қо
мемлекеттік метрологиялық қызмет бұлімшесінің немесе заңды тұлғаның метрологиялық қызметінің атауы
2021 ж. 17.09 № КЗ.Р.15.Е0535 аккредиттеу аттестаты
(аккредиттеу аттестатының нүмірі)

КСЗ.Р.15.Е0535 **САЛЫСТЫРЫП ТЕКСЕРУ ТУРАЛЫ СЕРТИФИКАТ №** ВЛ-02-04586
VERIFICATION LABORATORY **Весы автомобильные электронные**
(өлшеу құралының (эталонның) атауы)

Типі, еелгіленуі BCA 60 (200-60000) кг зауыттық № 027
(өлшеу құралының өлшеу ауқымы)

Дайындаушы ТОО "Стандарт"
Дайындалған күні 2008 г.
Пайдаланушы ТОО "Мамлютский мукомольский комбинат" г.Мамлютка
(атауы және мекен-жайы)

Салыстырып тексеру ГОСТ 29329-92; ГОСТ 8.453-82 сейікес
(салыстырып тексеру әдістемесінің белгіленуі мен атауы)

Мынадай салыстырып тексеру құралдарын Весоповерочная лаборатория ВЛ-2
(Салыстырып тексеру кезінде пайдаланылған эталонның және қосалқы жабдықтың белгіленуі)

пайдаланып жүзегізілді среднему классы,
Салыстырып тексеру нәтижелерінің негізінде өлшеу құралы (эталон) разряды бойынша, U=+/-24кг при k=2 P=95%
өлшеу белгісіздіктерін есепке алып, қолдануға жарамды және қолдануға жіберілді деп танылды

Салыстырып тексерілген күні " 19 " Сәуір 2023 г. " 19 " Сәуір 2024 г. дейін жарамды

Бұлімнің (сертхананың) басшысы М.К. Тлеужанов аты-жүні, тел
Салыстырып тексеру Е.С. Төртінбаев аты-жүні, тел
Төңбесінің колы
Салыстырып тексеруші колы
Салыстырып тексеру бөлімі колы

СП: 2273072
ДКП: 003.004.HM.BC.BJ

Рисунок 25-Сертификат поверки весов



Рисунок 26-Процесс взвешивания автомобиля

Основой экспериментальной установки было новое техническое решение, техническая новизна исследований закреплена патентом на полезную модель № 8458 (Рисунок 27, 28) (приложение Б)

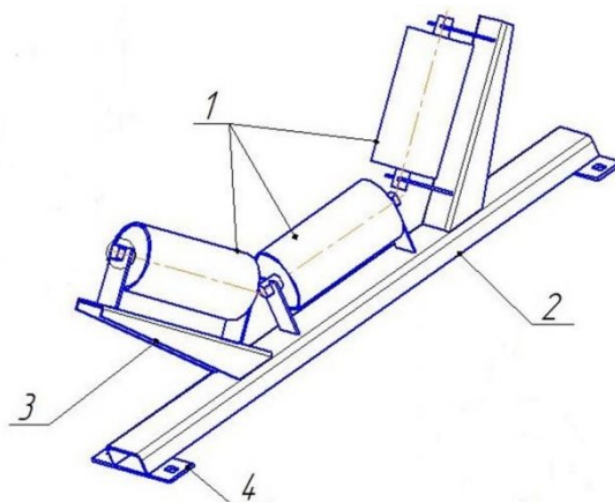


Рисунок 27-Роликовая опора в сборе

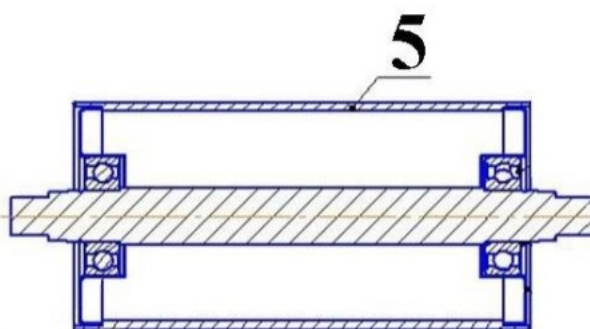


Рисунок 28-Ролик

Роликовая опора желобчатая, опора состоит из одной поддерживающей ленты роликов, которые закреплены на раме и крыле, при этом она крепится посредством пластин к ленточному транспортеру, отличающаяся тем, что рама изготовлена цельной из стального штампованного профиля. На рисунке 28 – ролик с транспортной лентой. Роликовая опора, представленная на рисунке 27, состоит из роликов 1, которые закреплены на крыле 3 и раме 2, которая представляет собой цельнометаллическую конструкцию. И крепятся посредством пластин 4 к ленточному транспортеру. Перед началом работы лента сохраняет заданную желобчатость. При работе транспортерная лента 5, перекатываясь по постели из роликов 1, с определенным натяжением образует желобчатую емкость для расположения в ней транспортируемого материала. Рама представляет собой гнутый швеллер с 2-мя выдавленными ушками под крепление центрального горизонтального ролика, приваренными к нему по краям пластинам, которые соединяют роликовые опоры с ленточным транспортером и 2-мя крыльями приваренные под 45 градусов для установки на них боковых роликов. Детали рамы изготавливаются из стального, листового проката стали 3 с толщиной 3мм. Конструкция роликовой опоры, состоящая из 3-х роликов, поддерживает и придает должную форму эластичной транспортерной ленте (приложение В).

Новизна заключается изготовлении рамы цельной из стального штампованного профиля с установкой крыльев под 45 либо 60 градусов. Преимущества штамповочного производства:

- Высокая консервация стали по сравнению со сплошным прямоугольным или квадратным сечением.
- Универсальность- может использоваться для большинства приложений несущих элементов.
- Наличие широкого диапазона определенных сечений в руководствах по проектированию стали, позволяет оптимизировать конструктивный дизайн.
- Обеспечивает хорошую совместимость для подключений к другим основным или дополнительным участникам.
- Высокая производительность процесса, возможность массового производства.
- Хорошая точность размеров и качество поверхности штампованных деталей.
- Компактность заготовки, минимум отходов материала.
- Получения сложных форм деталей, в том числе с выступами, впадинами, профилями.
- Хорошие механические свойства штамповок за счет упрочнения металла.

Уменьшение угла наклона роликов симметрично расположенных друг другу, способствует центрированию ленты и облегчает ее возврат в первоначальное положение. Изготовлены ролики (рисунок 29), роликоопоры с рамой, а так же транспортеры с указанными ранее характеристиками.



Рисунок 29-Экспериментальные ролики



Рисунок 30-Экспериментальные роликовая опора желобчатая с рамой



Рисунок 31-Экспериментальные ролики и роликовые опоры желобчатая с рамой



Рисунок 32-Экспериментальные транспортер с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 20^\circ$.



Рисунок 33-Экспериментальные транспортер с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 30^\circ$.



Рисунок 34- Конвейер с экспериментальными роликами с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 45^\circ$

Также выглядят и транспортер с углом наклона боковых роликов $\alpha_p = 60^0$ град., из-за схожести фото не приводится.

3.4.1 Определение частоты вращения приводного барабана

Для измерения частоты вращения приводного барабана, а следовательно, и линейной скорости движения ленты транспортёра (см. рисунок 35), использовался тахометр ТЧ10-Р, соответствующий требованиям ГОСТ 21339–82 (рисунок 36).

Перед началом измерений прибор устанавливался строго по центру приводного вала (см. вал на рисунке 35) и надёжно фиксировался. После активации установки проводились замеры скорости вращения вала.

Каждое измерение выполнялось трижды. Полученные значения вносились в таблицу экспериментальных результатов, по которым затем рассчитывалось среднеарифметическое значение частоты вращения.

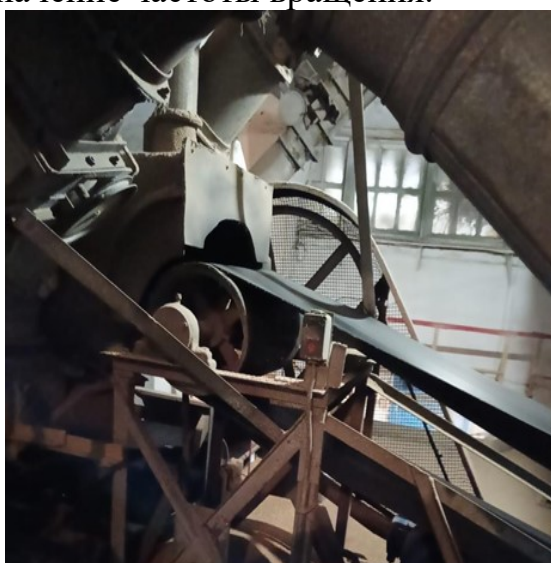


Рисунок 3.15-Приводной вал



Рисунок 36-Тахометр ТЧ10-Р

3.4.2 Определение энергоемкости процесса транспортирования

Для анализа энергетических затрат при транспортировке зернового материала с высоким уровнем засорённости применялся лабораторный измерительно-аналитический комплекс «ВП ТОЭ», функционирующий на основе интегрированного программного обеспечения. Использование данного оборудования способствовало повышению точности регистрации параметров, автоматизации процессов сбора данных и устранению необходимости ручного ввода информации в компьютер.

Фиксация электрических характеристик (напряжения и силы тока) осуществлялась посредством виртуальных измерительных модулей, реализованных в программной среде LabVIEW. Эти модули работали в комплексе с персональным компьютером, оснащённым интерфейсной платой ввода-вывода PCI 6023(24) производства компании National Instruments.

Подключение измерительной системы к ПК обеспечивалось посредством разъёма типа 330, соединённого с устройством плоским кабелем. Конфигурация разъёма включала восемь дифференциальных аналоговых каналов: АСН0–АСН8, АСН1–АСН9, АСН2–АСН10, АСН3–АСН11, АСН4–АСН12, АСН5–АСН13, АСН6–АСН14, АСН7–АСН15, соответствующих номерам каналов от 0 до 8.

Устройство содержит:

- два канала регистрации электрического напряжения;
- два канала для измерения силы тока;
- схемы делителей напряжения и шунтирующие элементы для корректного ввода сигналов;
- блоки гальванической развязки, обеспечивающие фильтрацию и защиту измерительных цепей;
- интерфейсный модуль для подачи управляющих импульсов на электронный ключ;
- коммуникационный интерфейс для подключения к ПК через плоский кабель.

Схема подключения представлена на рисунке 37.

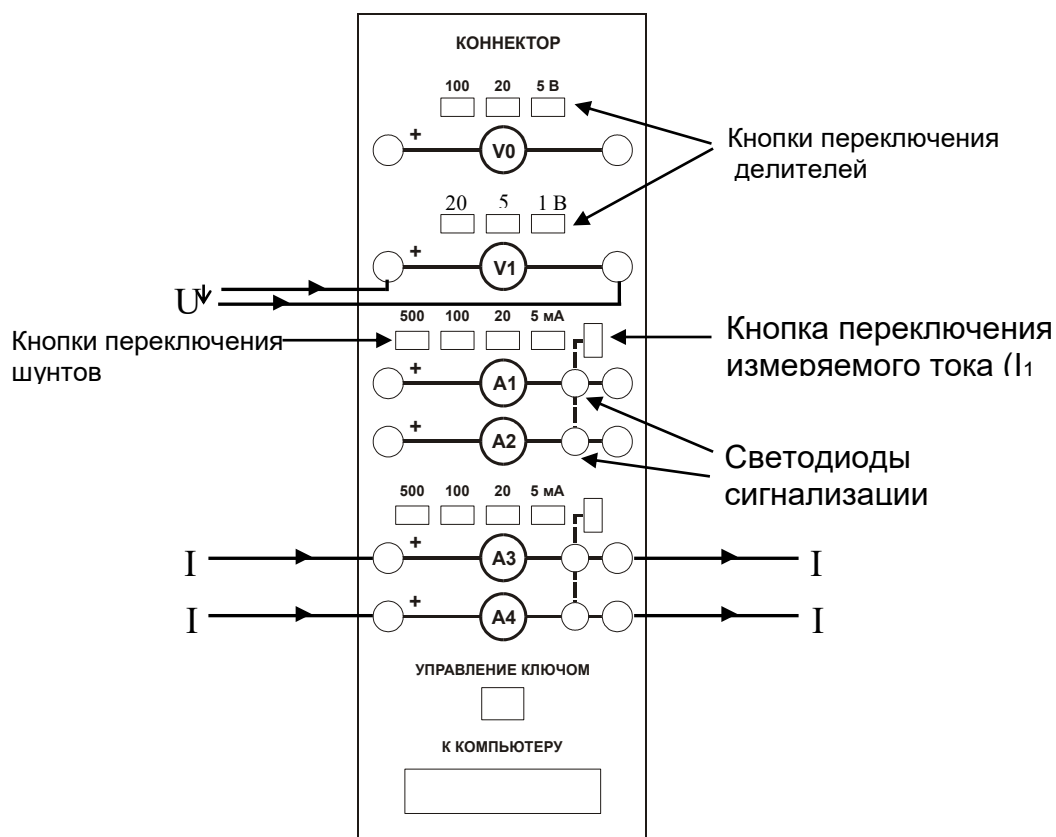


Рисунок 37 – Общий вид лицевой панели коннектора

Для осуществления регистрации электрических параметров использовалось специализированное виртуальное приложение, разработанное в графической среде программирования LabVIEW. Данное программное решение позволяет в автоматическом режиме вычислять значения электрического сопротивления, углы сдвига фаз, а также активную и полную мощность, опираясь на текущие значения токов и напряжений, поступающих на вычислительное устройство через интерфейсный модуль подключения.

Графический интерфейс программной среды обеспечивает наглядное отображение результатов измерений в режиме реального времени. Визуальное представление параметров измерения приведено на рисунке 38.

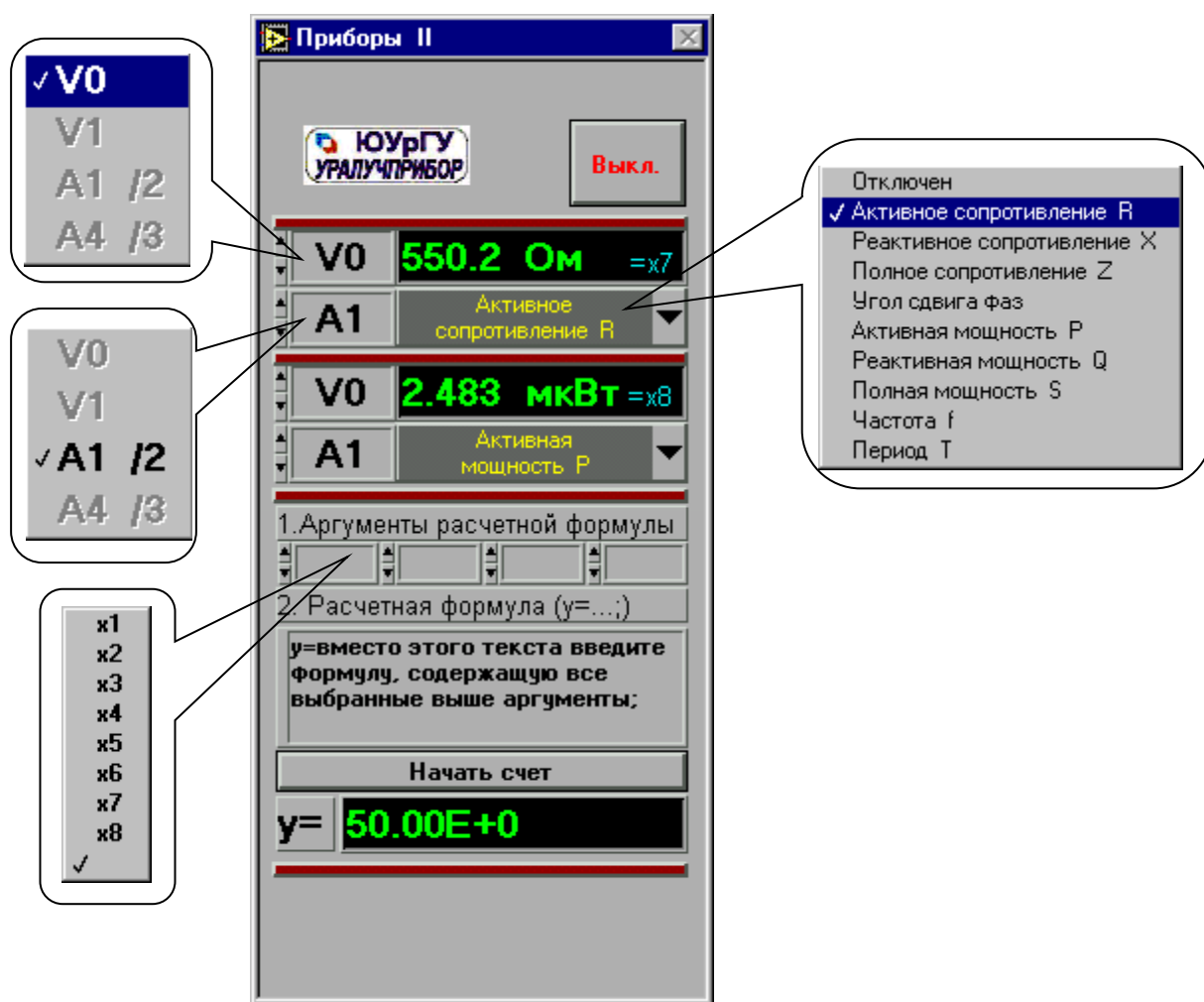


Рисунок 38 – Внешний вид программной оболочки

3.7 Выводы по разделу

1. Разработана методика определения производительности работы ленточного конвейера сильно засоренного зерна с обоснованием угла наклона желобчатых роликоопор.

2. Изготовлены экспериментальные установки с углами наклона роликоопор 20,30,45 и 60 градусов. Подготовлено сертифицированное оборудования для контроля параметров: Анализатор качества зерна Infratec 1241, весы автомобильные,

измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М». а также многопрофильная лаборатория завода элеваторного оборудования «Астык».

3. Эмпирическим путем определена скорость транспортера с помощью измерения частоты вращения приводного барабана.

4. На лабораторном комплексе «ВП ТОЭ» с соответствующим программным определены энергоемкость процесса транспортирования. Установленная мощность электродвигателя 15 кВт, однако изменения в затратах энергии при выполнении экспериментов не выходили за 5%, т.е. предел ошибки, по этой причине в расчетах не использовали.

5. Определение влажности зерна осуществлено по двум методикам для более точного получения этого показателя, т.к. это важно для сохранности материала низкого качества.

6. Для разработки нового оборудования произведен расчет основных элементов емкости для хранения сильно засоренных зерновых культур и основных элементов вентилятора.

4. Результаты экспериментальных исследований

4.1 Насыпная плотность сильно засоренных зерновых культур

В результате проведенных исследований плотности сильно засоренных зерновых культур после пересчета и учета влажности, в тоннах на 1 м³ получаем значения (Таблица 33)

Таблица 33-Результаты определения плотности сильно засоренных зерновых культур ρ , кг/м³.

Показатель	Количество замеров				
	1	2	3	4	5
ρ , кг/м ³	547,2	548,9	551,3	549,2	548,8

Среднее значение плотности сильно засоренных зерновых культур $\rho = 549,08$ кг/м³.

4.2 Определение влияния угла наклона боковых роликовых опор на производительность ленточного транспортера

После проведения экспериментов установлено, что значение потребляемой мощности электроприводом не превышает 5%, т.е. входит в ошибку опыта, по этой причине считаем только производительность ленточного транспортера. После трехкратных замеров и перерасчета на тонны в час получили производительность в зависимости от угла наклона роликоопор (таблица 34).

Таблица 34-Результаты экспериментальных исследований влияния угла наклона роликоопор на производительность ленточного конвейера
Повторность №1

Показатель	Угол наклона роlikоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	172,3	186,7	160,3	104,5

Повторность №2

Показатель	Угол наклона роlikоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	173,9	184,3	159,3	102,2

Повторность №3

Показатель	Угол наклона роlikоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q, т/ч	170,2	187,3	158,1	100,7

4.3 Результаты сравнения теоретических и экспериментальных исследований

Анализ согласованности между теоретически рассчитанными и экспериментально полученными данными, характеризующими влияние угла наклона роlikоопор на производительность транспортёра при перемещении сильно засорённого зерна, осуществлялся посредством расчёта коэффициента корреляции. [69]:

$$K_{\text{кор}} = \frac{\sum(y_1 - \bar{y}_1) \cdot (y_2 - \bar{y}_2)}{\sqrt{\sum(y_1 - \bar{y}_1)^2 \cdot \sum(y_2 - \bar{y}_2)^2}} \quad (43)$$

Где:

$\bar{Y}_1$ -средняя производительность теоретических исследований (157,572);

$\bar{Y}_2$ - средняя производительность экспериментальных исследований (154,98);

Y_1, Y_2 -текущие значения теоретических и экспериментальных исследований.

Таблица 35-Расчет коэффициента корреляции

Показатель	Угол наклона роlikоопоры, град.			
α , град.	20	30	45	60
Q ср.экс. т/ч ($\bar{Y}_2$)	172,13	186,1	159,23	102,47
Q ср.теор. т/ч ($\bar{Y}_1$)	177,2	185,7	163,348	104,04

$K_{\text{кор}}$ равен 0.9, что свидетельствует о тесной корреляции экспериментальных и теоретических результатах.

Из проведенных исследований установлен оптимальный угол наклона роликоопор-30 градуса, производительность при этом равен 186,1 тонн в час.

4.3.1 Прочие результаты экспериментальных исследований

- Скорость воздушного потока 6 м/с;
- Влажность воздуха 26-27%;
- Температура воздуха в силосе 21-22 градуса;
- Влажность зерна-14,5 %;
- Скорость движения ленты транспортера-1,6 м/с;

4.4 Производственные испытания

Для проведения производственных испытаний была изготовлена экспериментальная установка (Рисунок 45)

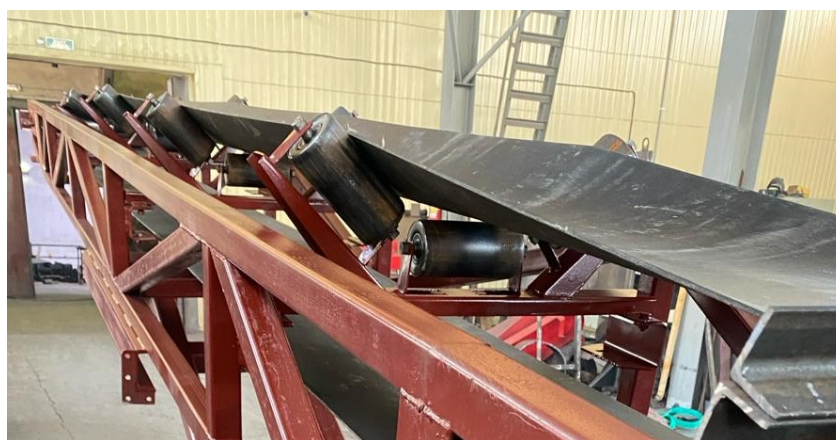


Рисунок 45-Экспериментальная установка для производственной проверки

В результате проведенных производственных испытаний установлена оптимальное расположение роликовых опор- 30 градусов, при этом производительность составила 186,1 т/ч. (Приложение II)

4.5 Разработка новых устройств технологических процессов сильно засоренных зерновых культур

4.5.1 Опорная рама силоса

В диссертации разработана новая опорная рама силоса (патент на полезную модель №8464), (приложение 3) из профильного металлопроката и листового металлопроката, состоящая из стоек рамы в количестве шестнадцати штук, соединителя, подрамника, двух пластин, опорного обода из шестнадцати сегментов, пластины-пятки, двух прокладок, опорных стоек, сегментов кольца в форме полумесяца, отличающаяся тем, что для усиления нижнего конуса дополнительно содержит восемь вертикальных опор подрамника, изготовленных из двутавра, с двумя диагональными связями на каждой опоре подрамника. Опорная рама силоса показана на рисунке 46.

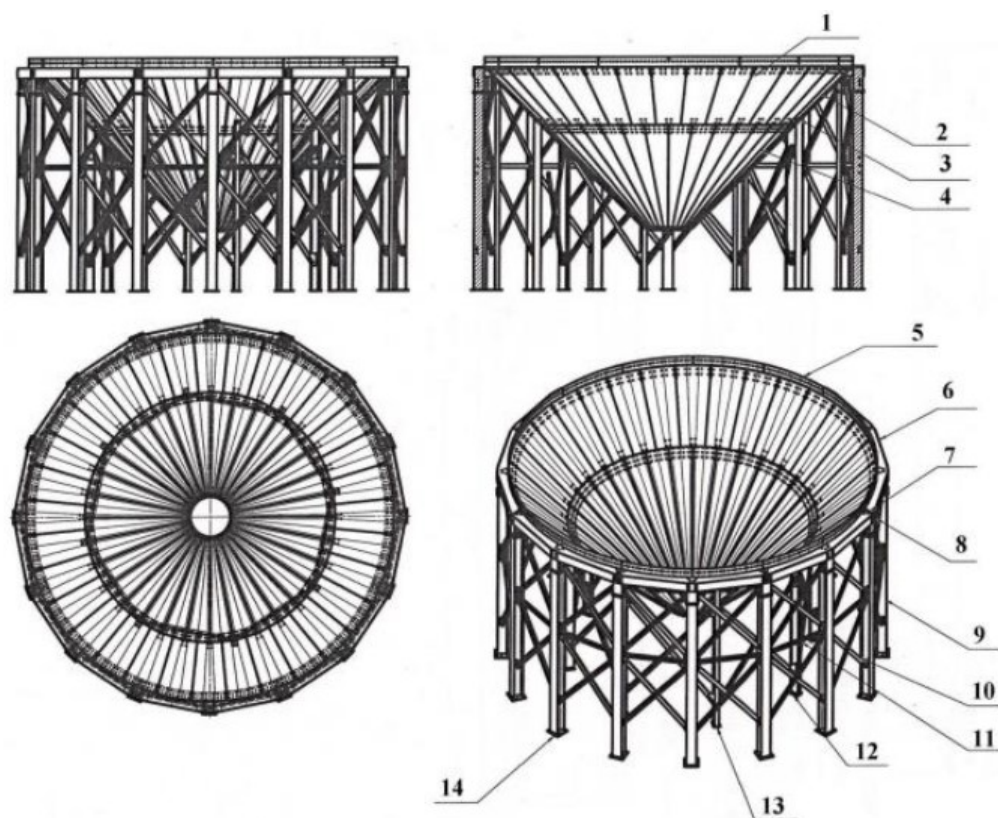


Рисунок 46-Опорная рама силоса

1-конус рамы, 2-сектор первого ряда, 3-место сборки конуса болтовыми соединениями, 4-сектор второго ряда, 5-кольцевая форма обода рамы из 16 сегментов, 6-сегмент кольца в форме полумесяца, 7-соединение стойки с соединителем, 8-соединение полой стойки с сегментом обода болтовыми соединениями, и двумя прокладками, 9-стойка рамы силоса, 10-диагональная связь стойки подрамника, 11-горизонтальная связь стойки подрамника, 12-пластины стойки подрамника, 13-вертикальная опора подрамника, 14-пластина-пятка.

Опорная рама силоса изготавливается с помощью лазерного станка и листогибного оборудования и представляет собой металлическую конструкцию из профильного металлопроката, стали 20 и листового металлопроката стали S350 350-450Zn. Стойки рамы изготавливаются из профильного двутавра 20К1, в количестве 16 штук. Соединяя между собой части диагональными и горизонтальными связями, на нижнюю опору стойки приваривается пластина пятка из листа толщиной 14мм. Для соединения стойки с соединителем используется лист толщиной 10 мм. Стойка полая соединяется с сегментом обода болтовыми соединениями и двумя прокладками. В опорную раму силоса входят дополнительно восемь вертикальных опор подрамника для усиления нижнего конуса с двумя диагональными связями на каждой стойке подрамника. Стойка подрамника имеет две пластины толщиной 10 мм приваренных к торцам стойки подрамника. Стойка подрамника изготавливается из двутавра 18У. Опорный обод рамы представляет собой кольцевую форму, состоящую из 16 сегментов, собранных между собой пластинами и опорными стойками. Сегмент кольца имеет форму полумесяца для соединения с конусом и цилиндром силоса. Детали сегмента изготавливаются из листа толщиной - 10 мм, 8 мм, 5 мм. Конус рамы

размером 7000х930 мм высотой 3100 мм. Сборной конструкции из сектора в два ряда по 32 шт., толщиной каждого сектора – 3 мм стали S350 мм Zn 350-450. Конус собирается болтовыми соединениями M10х30 класса прочности 8,8 мм10.9.

4.5.2- Крыша силоса

Разработана новая крыша силоса, она дана на рисунке 47 (патент на полезную модель №8465) (приложение 4).

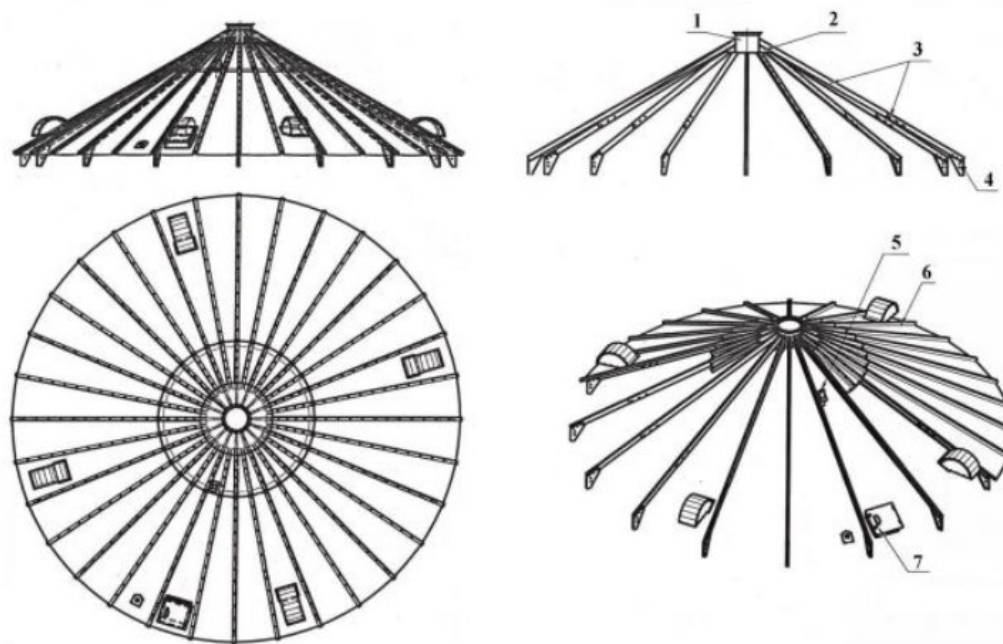


Рисунок 47- Крыша силоса

1-приемная горловина крыши, 2-опорные кронштейны приемной горловины крыши силоса, 3-прогоны швеллера, 4-ребра жесткости крыши силоса, 5- фиксаторы термоподвесок, 6-сектора крыши из листа толщиной-1,2 мм в количестве 32шт, 7-смотровой люк, 8- угол 32 градуса крыши.

Крыша силоса, выполненная из оцинкованных элементов, состоящая из рамы и секторов, скрепляемых ребрами жесткости, высотой 200 мм, отличающаяся тем, что крыша имеет конусную форму под углом 32 градуса у основания, крыша выполняется из прогонов швеллера телескопического исполнения и накладываемых на опорные кронштейны приемной горловины диаметром 400 мм из листа толщиной 4 мм в виде цилиндра, сектора крыши изготавливаются из листа толщиной-1,2 мм в количестве 32шт., в два ряда лазерной резкой и гибки на листогибочном станке, на крыше предусмотрен загрузочный канал, а также смотровой люк и фиксаторы термоподвесок, соединения обеспечиваются болтами, в которых закладываются уплотнительные прокладки.

Задача предлагаемой полезной модели заключается в создании надежного простого способа изготовления и монтажа конструкции силосного комплекса различных емкостей с высокой герметичностью соединений и атмосферостойкостью из типовых деталей – панелей листового проката и типовых сборочных элементов, не требующих сложной обработки при их изготовлении, а при монтаже - специального,

дополнительного оборудования при оптимизации металлоемкости конструкции и снижения трудоемкости изготовления и монтажа. Крыша силоса собирается из специальных секторов, скрепляемых ребрами жесткости, высота которых достигает 200 мм. Сектора выполняются из стали, прошедшей оцинковку. С точки зрения защитных качеств материала, крыша является наиболее требовательной частью конструкции. Дополнительно металлические силосы для хранения зерна - это конструкции, которые, помимо содержания, должны обеспечивать и возможность загрузки продукции. В предлагаемом способе производства силоса, крыша имеет конусную форму под углом 32 градуса у основания, и крыша выполняется из прогонов швеллера телескопического исполнения накладываемых на опорные кронштейны приемной горловины диаметром 400 мм из листа толщиной 4 мм в виде цилиндра. Детали сектора крыши изготавливаются из листа толщиной-1,2 мм в количестве 32шт. в два ряда лазерной резкой и гибки на листогибном станке. Вертикальная лестница высотой 16330 мм собирается из профилей, гнутых на листогибном станке и лазерном станке. На крышке предусмотрен загрузочный канал, а также смотровой люк и фиксаторы термоподвесок. Корпус представляет собой конструкцию из панелей с волнистой текстурой. Соединения обеспечиваются болтами, в которых закладываются уплотнительные прокладки. Как и в случае с металлом крыши, основа выполняется из оцинкованных элементов. Благодаря этому решению силосы для хранения зерна не ржавеют и обладают повышенными свойствами стойкости к внешним воздействиям. В зависимости от требований, силос может представлять собой типовой резервуар или multifunctionalную систему, позволяющую обеспечивать несколько циклов в обращении с зерном. Монтаж крыши силоса производят следующим образом. К приемной горловине диаметром 400 мм по окружности прикручиваются опорные кронштейны в количестве 16 штук болтовыми соединениями M12. Следующий этап – это подготовка ригелей (на фигуре не показано) к ребрам жесткости, методом наложения по плоскости прикручиваются прогоны швеллера телескопического исполнения внахлест друг другу, образуя телескопический прогон. Данный этап необходимо повторить 15 раз. Сборка крыши производится зеркально, устанавливая, друг к другу прогоны швеллера с установленными ребрами, прикручивая их боковой стенкой к опорным кронштейнам, прикрученным к приемной горловине. В процессе сборки образуется крыша. К крыше методом наложения скрепляются специальные сектора (настил крыши), соединяясь друг с другом методом замка. Закрепление секторов крыши производится как между собой, так и с каркасом крыши. Получив каркас крыши силоса производится установка смотрового люка и фиксатора термоподвески. Для дальнейшей сборки силоса подъемным механизмом (автокран), просунув ветви стропы (грузоподъемного механизма в приемную горловину), зацепив крюком за цилиндр, поднять всю конструкцию на 1,5 м и к ребрам жесткости методом нахлеста прикручиваются стеновые панели цилиндра силоса в количестве одного яруса последнего ряда. Приподняв конструкцию с последним рядом цилиндра на высоту не менее 2000 мм., устанавливают вертикальные силовые стойки в количестве 16 штук. К данным стойкам прикручивают кронштейны подъема силоса зеркально друг к другу в количестве 4 штук, отступая друг от друга на расстоянии через три стойки, опустив конструкцию на площадку, отцепив ветви стропов от цилиндра силоса и перецепив

4-ветвевым стропом за кронштейны подъема, установленным на вертикальных силовых стойках.

4.5.3 Вентилятор для силоса

Разработан новый вентилятор для силоса, показанный на рисунке 48 (патент на полезную модель №8670) (приложение Ж).

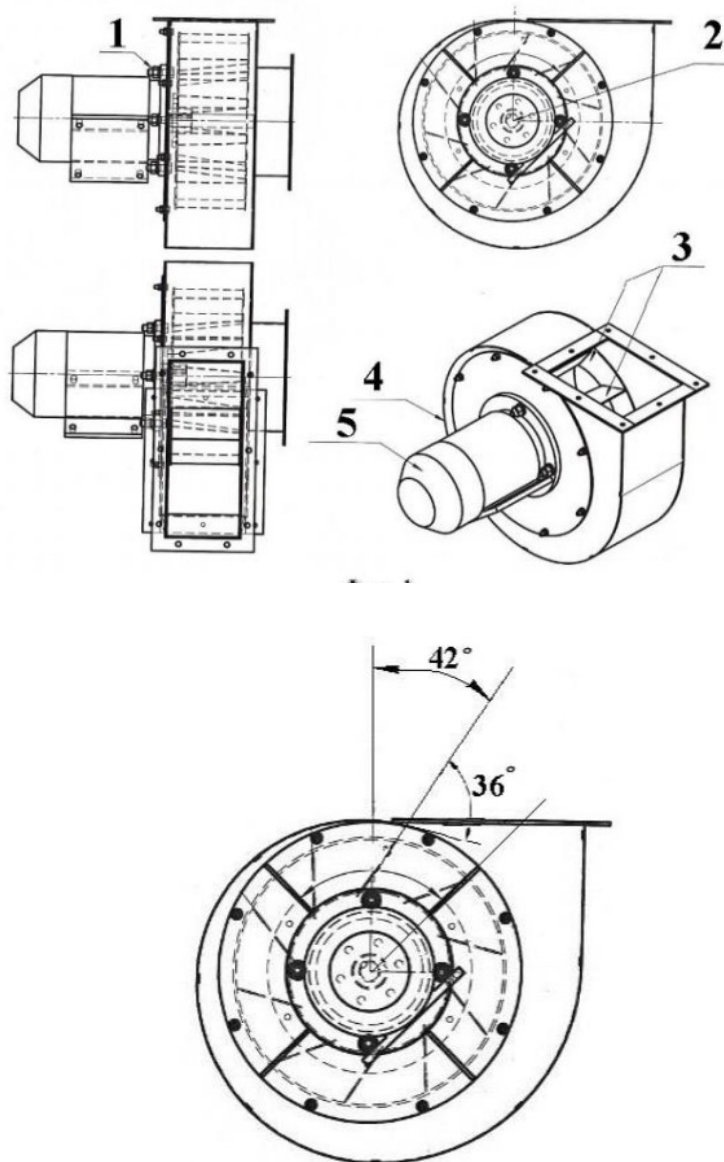


Рисунок 48-Вентилятор для силоса

Фигура 1-общий вид, фигура 2 -угол установки лопастей, угол между лопатками оси X и Y. где позициями обозначены: 1- болтовое соединение электродвигателя с корпусом улитки, 2-вал электродвигателя, 3- крыльчатка с лопастями, 4-корпус улитки, 5- электродвигатель.

Вентилятор для силоса, выполненный из металлического листа, с крыльчаткой и лопастями, с корпусом в виде улитки, соединяемым болтами к электродвигателю, в котором лопасти в количестве десяти штук изготовлены из листа стали 3пс. толщиной

3 мм., угол установки лопастей на крыльчатке диаметром 400 мм равен 42 градусам от оси X и Y, угол между лопастями равен 36 градусам, ширина лопастей 155 мм. Вентилятор для силоса направлен на повышение производительности обработки семян и снижения энергозатрат за счет обеспечения более равномерного распределения воздуха, подаваемого вентилятором в пространство силоса. Он позволяет остужать зерновую массу после сушки зерна, а также очищать зерно от мелкой пыли при загрузке на временное хранение в силосе. Вентилятор для силоса имеет десятилопастную крыльчатку диаметром 400мм шириной 155мм установленном на валу электродвигателя под углом 42 градуса от оси X и Y, и угол между лопатками, то есть между собой равен 36 градусов. Соединение электродвигателя с корпусом улитки производится болтовыми соединениями. Покраска вентилятора имеет антикоррозийное покрытие. Преимуществом такого вентилятора является малогабаритность, вес и производительность. Технические характеристики вентилятора: 1) производительность - 2300 м³/ч; 2) напряжение – 230 (380) В; 3) мощность - 95 Вт; 4) скорость вращения -1450 об/мин; 5) корпус выполнен из металлического листа толщиной - 3мм стали 3пс; 6) крыльчатка и лопасти изготовлены из листа толщиной - 3мм стали 3пс. Зерно подается через приемную горловину в силос сверху с помощью нории или цепного транспортера верхней галереи, после процесса сушки и очистки зерна для остужения и проветривания от мелких примесей. Также проветривание от мелких примесей может производиться перед засыпкой на временное хранение, перед очисткой и перед сушкой зерна. После заполнения силоса вентилятор продолжает работу, пронизывая воздушным потоком слой зерновых культур и выводя наружу мелкую примесь и тепло.

4.6 Экономическая эффективность научных исследований

Годовой удельный экономический эффект получили по экономии приведенных затрат [70-72]:

$$\mathcal{E}_{уд.ф} = (I_{с.б} + E_n * K_б / Q_{э.б}) - (I_{с.э} + E_n * K_n / Q_{э.э}) \quad (44)$$

где $I_{с.б}$ и $I_{с.э}$ - себестоимость единицы продукции по базовому и новому вариантам, тенге/т; $K_б$ и K_n - удельные (в расчете на единицу продукции) капитальные вложения в базовом и новом вариантах, тенге/т; E_n - нормативный коэффициент капитальных вложений (0,15); $Q_{э.б}$, $Q_{э.э}$ - применение результатов в расчетном году (тонн), базового и экспериментального вариантов.

«Под удельными капитальными вложениями принято понимать капитальные вложения, что приходятся на единицу объема выпуска товаров, обеспеченного за счет соответствующих вложений (либо на единицу иного значимого хозяйственного показателя – данный нюанс мы рассмотрим чуть позже). В свою очередь, капитальные вложения – это инвестиции предприятия в основные средства (представленные, в частности, строительством, реконструкцией, закупкой соответствующих объектов, проведением проектно-изыскательских работ).»

В качестве базового серийного транспортера принят подобный по техническим характеристикам транспортер ЛКГ 10-0,8 (Таблица 36) [73].

Для определения себестоимости транспортировки тонны сильно засоренного зерна рассчитаны эксплуатационные издержки, являющиеся переменной частью себестоимости машины, по формуле:

$$И = З + A_m + T + C + X ; \quad (45)$$

где $З$ - заработная плата обслуживающего персонала, тенге/т; A_m - удельные затраты на амортизационные отчисления, тенге/т; T - удельные затраты на ТО и ремонт, тенге/т; C - удельные затраты на электроэнергию, тенге/т; X - удельные затраты на хранение, тенге/т.

Удельную заработную плату рассчитали по расценкам стоимости одного часа работы оператора:

$$З = Л \cdot З_n / g , \quad (46)$$

где $Л$ - количество обслуживающего персонала, необходимой квалификации; $З_n$ - часовая тарифная ставка, тенге; g - производительность машины за час работы, т/ч. Минимальная заработная плата РК в месяц 85000 тенге, часов работы в неделю 40, итого 565,2 тенге в час.

По производственной проверке производительность экспериментального транспортера оказалась выше в 2,2 раза чем у базового:

$$g_6 = 85 \text{ т/ч}, \quad g_3 = 186,1 \text{ т/ч}$$

Часовая производительность ЛКГ 10-0,8, принятой в качестве базового транспортера, близкого по техническим характеристикам, по приведенной технической характеристике при переработке смеси (таблица 36) равна 85 т/ч.

Заработная плата рабочего при использовании базового ЛКГ 10-0,8:

$$З_6 = 1 \cdot 562,5 / 85 = 6,62 \text{ тенге/т}$$

Экспериментального:

$$З_3 = 1 \cdot 562,5 / 186,1 = 3,02 \text{ тенге/т}$$

Таблица 36-Технические характеристики ленточного конвейера [73]

Технические характеристики ленточного конвейера SMX ЛК с гладкой лентой, желобчатый				
Наименование	ЛКГ 10-0,8	ЛКГ 12-0,8	ЛКГ 16-0,8	ЛКГ 18-0,8
Производительность, т/час	85	85	85	85
Тип материала	сыпучий	сыпучий	сыпучий	сыпучий
Тип ленты	гладкая	гладкая	гладкая	гладкая

Технические характеристики ленточного конвейера SMX ЛК с гладкой лентой, желобчатый				
Наименование	ЛКГ 10-0,8	ЛКГ 12-0,8	ЛКГ 16-0,8	ЛКГ 18-0,8
Тип конвейера	желобчатый	желобчатый	желобчатый	желобчатый
Угол наклона, градусы	до 30	до 30	до 30	до 30
Скорость движения, м/с	1,2	1,2	1,5	1,5
Длина, мм	10000	12000	16000	18000
Ширина, мм	800	800	800	800
Установленная мощность, кВт	15	15	18,5	18,5
Напряжение питания, В	380	380	380	380
Стоимость, РР	467 100	583 200	894 200	971 600

Амортизационные отчисления, приходящиеся на единицу продукции, определили по следующему выражению:

$$A_m = B \cdot a / 100 \cdot Q, \quad (47)$$

где B_6 , B_3 – балансовая стоимость ЛКГ 10-0,8 и экспериментального транспортера; a – норма амортизационных отчислений, $a = 16,6\%$; Q – годовая выработка базовой ЛКГ 10-0,8, т ($\approx 50\,000$ т).

$$B_6 = C_6 \cdot \eta = 2260764 \cdot 1,1 = 2\,486\,840 \text{ тенге} \quad (48)$$

$$B_3 = C_3 \cdot \eta = 555536,83 \cdot 1,1 = 611090,513 \text{ тенге} \dots \dots (49)$$

где C_6 – оптовая цена ЛКГ 10-0,8 467100 тенге [таблица 36], по курсу 4,84 тенге за тенге -2260764 тенге; C_3 – цена экспериментального транспортера (таблица 37) 555536,83 тенге; η – коэффициент, учитывающий расход на доставку и монтаж, 1,1...1,125.

Годовая выработка машины:

$$Q_z = q \cdot t \cdot D, \quad (50)$$

где q – производительность машины, 85 т/час; t – число часов работы в смену, $t = 7$ часов; D – число рабочих дней в году, $D = 290$ дней.

Для базовой машины:

$$Q_{г.б.} = 85 \cdot 7 \cdot 290 = 172550 \text{ т.}$$

Для экспериментальной машины:

$$Q_{г.э.} = 186,1 \cdot 7 \cdot 290 = 377783 \text{ т.}$$

ТРЕБОВАНИЕ-НАКЛАДНАЯ № 380										Коды
Товарищество с ограниченной ответственностью "Завод элеваторного оборудования "Астык"										ОКПО
Дата соста- вления	Код вида операц и	Отправитель		Получатель		Корреспондирующий		Учетная единица выпуска продукц ии		
		структурное подразделение	вид деятельности	структурное подразделение	вид деятельности	счет, субсчет	код аналити- ческого учета			
31.10.23		Основной склад		Производство		8110				
Через кого										
Затребовал										
Разрешил										
Корреспондирую		Материальные ценности		Единица		Количество		Цена	Сумма без учета НДС	Порядко вый номер по складско
счет, субсчет	код аналити- ческого учета	наименование	номенк- латурный номер	код	наиме- нование	затре- бова- но	отпу- щено			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1310		Труба профильная 80*80*4 12 мм	00030000438	166	кг		110,000	441,96	48 615,95	
1310		Труба профильная 120*80*4 12 мм	00030001049	166	кг		30,000	419,64	12 589,29	
1310		Круг 110 мм ст 45	00030008654	006	м		0,500	25 758,04	12 879,02	
1310		Круг 56 ст. 20	00030008651	006	м		0,500	13 338,84	6 669,42	
1310		Круг 40 мм ст.3	00030008657	006	м		1,800	6 784,68	12 212,42	
1310		Круг 56 ст. 20	00030008651	006	м		1,500	13 338,84	20 008,26	
1310		Лист холоднокатанный 1,2 (1,25x2,5)	00030006236	168	т		0,005	509 954,00	2 549,77	
1310		Лист горячекатанный 3,0x1250x2500	00030002213	166	кг		74,000	384,33	28 440,76	
1310		Лист 5x1500x6000	00030006032	0166	кг		40,000	379,46	15 178,57	
1310		Лист металлический 1500x6000x8,0 мм	00030000051	0166	кг		30,000	379,46	11 383,93	
1310		Лист 10x1500x6000	00030000805	166	кг		60,000	379,47	22 767,90	
1310		Лист 14x1500x6000	00030006077	0166	кг		70,000	444,64	31 124,95	
1310		Лист 40,0x1500x6000	00030006694	0166	кг		5,000	462,50	2 312,50	
1310		Труба профильная 120*80*4 12 мм	00030001049	166	кг		119,000	419,64	49 937,50	
1310		Круг 56 ст. 20	00030008651	006	м		2,000	13 338,84	26 677,68	
1310		Швеллер № 10П	00030001046	0166	кг		26,130	452,95	11 835,58	
1310		Гайка М20 ДИН 934 CLASS5.8 КИТАЙ	00030007580	166	кг		0,800	527,69	422,15	
1310		Шайба пружинная ДИН127 М12 CLASS8,8 КИТАЙ	00030007588	166	кг		0,150	499,33	74,90	
1310		Труба профильная 120*80*4 12 мм	00030001049	166	кг		18,500	419,64	7 763,39	
1310		Труба 50x5,0 L=6,0	00030008269	0166	кг		256,000	419,86	107 485,43	
1310		Канат стальной дм 14мм	00030004205	006	м		8,000	812,50	6 500,00	
1310		Мотор-редуктор 0,63-17-0,37	00030004114	0796	шт		1,000	64 533,93	64 533,93	
1330		Гужи	00000001310	0018	пог.м		10,000	263,60	2 636,02	
1310		Подшипниковый узел UCP 207	00030008817	0796	шт		2,000	2 321,43	4 642,86	
1310		Подшипник 180206	00030000931	0796	шт		4,000	446,43	1 785,71	
1310		Кольцо стопорное внешнее 32x1,5 мм	00030006711	0796	шт		2,000	223,22	446,43	
1310		Подшипник 180208	00030001526	0796	шт		3,000	1 577,38	4 732,15	
1310		Лента конвейерная В=300мм	00030005512	0018	пог.м		23,000	1 071,43	24 642,86	
1330		Ролики L-700 (PT-650)	00000000202	0796	шт		16,000	382,14	6 114,28	
1330		Ролики L-550 (PT-500)	00000000235	0796	шт		12,000	334,82	4 017,86	
1310		Эмаль ПФ-115 белая	00030008536	796	шт		1,000	2 480,36	2 480,36	
1310		Грунт универсальный Купаж фас 10 л	00030008447	796	шт		1,000	2 075,00	2 075,00	
Итого							928,885	X	555 536,83	
Отпустил										
Павловский О.А.										
Получил										
подпись										
расшифровка подписи										

Таблица 37-Калькуляция экспериментального транспортера (Приложение Г, Е, З)

Таким образом, амортизационные отчисления на базовый транспортер составляют:

$$A_{\text{мб}} = 2\,486\,840 \cdot 16,6 / 100 \cdot 172550 = 2,39 \text{ тенге/т};$$

$$A_{\text{мэ}} = 611090,513 \cdot 16,6 / 100 \cdot 377783 = 0,268 \text{ тенге/т}.$$

Удельные затраты на ТО и текущий ремонт:

$$T_6 = 2\,486\,840 \cdot 18,8 / 100 \cdot 172550 = 2,709 \text{ тенге/т}.$$

$$T_3 = 611090,513 \cdot 18,8 / 100 \cdot 377783 = 0,304 \text{ тенге/т}.$$

где R- отчисления на ремонт и техническое обслуживание $R = 18,8\%$.

Стоимость электроэнергии, приходящейся на единицу произведенной продукции:

$$C_{\text{э.б.}} = P_{\text{уд.}} \cdot C_{\text{э}} = 2,647 \cdot 36,93 = 97,75 \text{ тенге/т}. \quad (51)$$

$$C_{\text{э.э.}} = P_{\text{уд.}} \cdot C_{\text{э}} = 1,2 \cdot 36,93 = 44,316 \text{ тенге/т}. \quad (52)$$

Где:

$P_{\text{уд}}$ – удельный расход электроэнергии, кВт/ч/т.;

($P_{\text{уд. б}} = 2,647 \text{ кВт/ч/т.}, P_{\text{уд. э}} = 1,2 \text{ кВт/ч/т.}$);

$C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВтч, тенге.

($C_{\text{э}} = 36,93 \text{ тенге с НДС за } 1 \text{ кВт/ч.}$).

Затраты на хранение, из-за их незначительности, в расчетах не учтены.

Эксплуатационные издержки базового транспортера ЛКГ 10-0,8:

$$И_{\text{с.б.}} = 6,62 + 2,39 + 2,709 + 97,75 = 109,47 \text{ тенге/т}.$$

Эксплуатационные издержки экспериментальной машины без затрат на амортизацию и ремонт, составляют:

$$И_{\text{с.э.}} = 3,02 + 44,316 = 47,336 \text{ тенге/т}.$$

Лимитная цена экспериментального ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами равна:

$$C_{\text{л}} = \frac{B \cdot \alpha + (И_{\text{с}} - И_{\text{э}}) \cdot Q}{1 + 0,01 \cdot (\alpha + \beta \cdot R)} = [611090,513 \cdot 1,15 + (109,47 - 47,336) \cdot 186,1] / [1 + 0,01 \cdot (1,15 + 1 \cdot 18,8)] = 3589533,82 \text{ тенге}. \quad (53)$$

Где:

α - коэффициент изменения годовой выработки ($\alpha = 1,15$);

β - коэффициент отношения фактической и нормативной, для которой установили ремонтные отчисления ($\beta = 1,0$).

Расчёт себестоимости опытного образца ленточного транспортера, предназначенного для работы с зерновыми культурами с высоким содержанием примесей, производится на основании формулы 5.11.

$$C_k = C_m + C_{из} + C_{пок.изд.} + C_{сб} \quad (54)$$

Где:

C_m - затраты на приобретение и использование конструкционных материалов, выраженные в тенге;

$C_{из}$ - стоимость производственных операций по изготовлению отдельных деталей и компонентов конструкции, тенге;

$C_{пок.изд.}$ - совокупная стоимость покупных изделий и стандартных комплектующих, используемых в сборке, тенге;

$C_{сб}$ - расходы, связанные с проведением сборочных работ, выраженные в тенге.

Стоимость материала конструкции определяется по формуле 5.12:

$$C_m = m \times C'_m \quad (55)$$

Где:

m - масса используемого материала (в килограммах) или его длина, измеряемая в погонных метрах;

C'_m - удельная стоимость одного килограмма или одного погонного метра материала, выраженная в тенге;

C_m - общая стоимость материалов конструкции, рассчитываемая как произведение массы (или длины) материала на его удельную цену.

Значение C_m определяется на основе данных таблицы 5.2, исключая расходы на ролики.

$C_m = 594418,53$ тенге.

Стоимость изготовления деталей находим по формуле 56:

$$C_{из} = t_{\partial} \times C_{ч.сл} \quad (56)$$

Где:

t_{∂} - продолжительность времени, необходимого для изготовления деталей, в часах (в расчетах принято значение 24 ч);

$C_{ч.сл}$ - часовая тарифная ставка оплаты труда слесаря-станочника, выраженная в тенге (в расчетах используется значение 562,5 тенге/ч).

По формуле 56 рассчитываем:

$$C_{из} = 24 \times 562,50 = 13500 \text{ тенге.}$$

Стоимость изготовления роликов даны в таблице 38 и 39. (рисунок 14). Для нашего случая желобчатых роликов 33 длиной 0,3 м, учитывая дополнительные в зоне погрузки на 10-метровом транспортере, поддерживающих-5 длиной 0,7 м.

Таблица 38-Стоимость изготовления рамки транспортера

Рамка РЖ-500			
Наименование	Кол-во, кг (шт.)	Цена за кг, шт	Сумма в тенге
Лист 3 мм	8	444	3552
Лист 4 мм	0,5	434	217
Итого материала			3769
Рамка РЖ-650			
Наименование	Кол-во, кг (шт.)	Цена за кг, шт	Сумма в тенге
Лист 3 мм	8,5	444	3774
Лист 4 мм	0,5	434	217
Итого материала			3991
Рамка РЖ-800			
Наименование	Кол-во, кг (шт.)	Цена за кг, шт	Сумма в тенге
Лист 3 мм	8,7	444	3862,8
Лист 4 мм	0,5	434	217
Итого материала			4079,8

Таблица 39 –Стоимость изготовления ролика

Ролик РЖ-500					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,18м	1,5кг	570	855
2	Круг 22	0,23м	0,706кг	442	312
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					2063
Ролик РП-500					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,55м	4,6кг	570	2622
2	Круг 22	0,6м	1,84кг	442	813
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					4331
Ролик РЖ-650					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,23м	1,93кг	570	1100
2	Круг 22	0,28м	0,86кг	442	380,12
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					2376,12
Ролик РП-650					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,7м	5,87кг	570	3346
2	Круг 22	0,75м	2,3кг	442	1017
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					5259
Ролик РЖ-800					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,3м	2,5кг	570	1425
2	Круг 22	0,35м	1,05кг	442	464
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					2785
Ролик РП-800					
п/п	Наименование	Длина, м, шт.	Вес, кг.	Цена за ед./кг.	Общая
1	Труба 89х4	0,85м	7,12кг	570	4058
2	Круг 22	0,9м	2,76кг	442	1220
3	Лист 1,5	0,029м.кв.	0,34кг	695	236
4	Подшипник 204	2		300	600
5	Стопорное кольцо на 20	2		30	60
					6174

Опорных рамок желобчатых 10 шт.-0,8 м, прямых-5шт.-0,8м. Общая стоимость изготовления составляет:

$$2785*33=91905 \text{ тенге};$$

$$5259*5=26295 \text{ тенге}$$

$$4079,08*15=61186,2$$

$$\text{Всего } 179386,2$$

Стоимость покупных изделий составляет [74,75]:

Электродвигатель АИР 180 М8-386725 тенге

Щит управления -180 000 тенге

$$C_{\text{пок.изд.}} = 386725 + 180\,000 = 566725 \text{ тенге.}$$

Оплата сборки конструкции определяется по формуле 57:

$$C_{сб} = t_{сб} \times C_{ч.сб} \quad (57)$$

где $t_{сб}$ – время на сборку конструкции, ч ; $t_{сб} = 15$ ч;

$C_{ч.сб}$ - часовая тарифная ставка сборщика, тенге;

$$C_{ч.сб} = 562,50 \text{ тенге};$$

Отсюда:

$$C_{сб} = 15 \times 200 = 8437,5 \text{ тенге.}$$

Подставляем известные значения в формулу 54 и получаем:

$$C_k = 594418,53 + 192886,2 + 566725 + 8437,5 = 1354877,23 \text{ тенге}$$

Оптовая цена экспериментального транспортера:

$$Ц_0 = C_k * \eta \quad (58)$$

где η - коэффициент, учитывающий нормативную рентабельность; $\eta = 1,14$.

$$Ц_0 = 1354877,23 * 1,14 = 1544560,04 \text{ тенге}$$

Балансовая цена экспериментальной машины, (η - коэффициент, учитывающий расход на доставку и монтаж, $1,1 \dots 1,125$) с учетом всех затрат:

$$\text{Б.э.} = 1544560,04 * 1,125 = 1737630,047 \text{ тенге.}$$

Трудоемкость процесса работы ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами:

$$T_p = Q_r * n / q \quad (59)$$

где q -производительность машины, $m/ч$; n – количество обслуживающего персонала (человек), для базового:

$$T_{p.б.}=172550*1/85=2030 \text{ чел.ч/т.}$$

для экспериментального:

$$T_{p.э.}=377783*1/186,1=2030 \text{ чел.ч/т.}$$

Амортизационные издержки на единицу продукции экспериментального ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами:

$$A_{м.с.}=B_{э.}*a/100*Q_{э.э.}=1737630,047*16,6/100*377783=0,763 \text{ тенге/т.} \quad (60)$$

Отчисления на техническое обслуживание и ремонт равны:

$$T_{о.э.}=B_{э.}*R/100*Q_{э.э.}=1737630,047*18,8/100*377783=0,864 \text{ тенге/т.} \quad (61)$$

Эксплуатационные издержки (формула 45) при эксплуатации экспериментального ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами:

$$И=3,02+0,268+0,304+44,316=47,908 \text{ тенге/т.}$$

Затраты на хранение, из-за их незначительности, в расчетах не учтены.

Если за капитальные вложения принять ангар для хранения сильно засоренного зерна за 18 000 000 тенге [76].

То $K_{б.}$ и $K_{н.}$ удельные (в расчете на единицу продукции) капитальные вложения в базовом и новом вариантах 104,317 и 47,646 тенге/т.

Удельный экономический эффект от применения экспериментального ленточного транспортера для работы с сильно засоренными зерновыми культурами составит (формула 44).

$$\mathcal{E}_{уд.ф.}=(109,47+0,15*104,317/172550)-(47,908+0,15*47,646/377783)=61,562 \text{ тенге/т.}$$

Объем работ одного транспортера равно 50 000 тонн, годовая экономия составит:

$$\mathcal{E}_{ф.}=\mathcal{E}_{уд.ф.}*Q_{год.}=61,562*50\,000=3078100 \text{ тенге}$$

Срок окупаемости экспериментальной машины:

$$T_{ок.}=B_{э.}/\mathcal{E}_{ф.}=1737630,047/3078100=0,56 \text{ лет}$$

Результаты расчета экономической эффективности приведены в таблице 40.

Таблица 40–Показатели экономической эффективности применения ленточного транспортера работы с сильно засоренными зерновыми культурами.

Показатели	Серийный	Экспериментальный
Производительность, т/ч	85	186,1
Эксплуатационные расходы, тенге/т.	109,47	47,908
Экономический эффект, тенге	-	3078100
Срок окупаемости машины, лет	-	0,56

4.7 Выводы по разделу

1. Определена насыпная плотности сильно засоренных зерновых культур, она составила 549,08 кг/м³. Производительность работы ленточного транспортера сильно засоренного зерна с обоснованием угла наклона желобчатых роlikоопор, для верификации полученной производительности осуществили сравнение теоретических и экспериментальных исследований на основании коэффициента корреляции. Он равен 0,9, что свидетельствует о тесной связи полученных результатов.

2. Получены результаты экспериментальных исследований, влияющие на технологический процесс ленточного транспортера при работе с сильно засоренным зерном.

3. Для производственных испытаний изготовлена экспериментальная установка, в результате установлено оптимальное расположение роlikовых опор- 30 градусов, при этом производительность составила 186,1 т/ч.

4. Разработаны новые запатентованные устройства технологических процессов сильно засоренных зерновых культур: опорная рама силоса, крыша силоса и вентилятор для силоса.

5. Определены себестоимость транспортировки тонны сильно засоренного зерна. Для этого рассчитаны следующие показатели: эксплуатационные издержки, заработная плата, амортизационные отчисления на единицу продукции, стоимость электроэнергии, приходящейся на единицу произведенной продукции, эксплуатационные издержки базового транспортера и экспериментальной установки.

6. Рассчитана себестоимость опытного образца ленточного транспортера, предназначенного для работы с зерновыми культурами с высоким содержанием примесей.

7. На основании апробированных на практике методик и материалов предприятий дана оценка экономической эффективности научных исследований. Годовой экономический эффект составил 3078100 тенге на 1 транспортер, срок окупаемости 0,56 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с широким разнообразием типов транспортирующих устройств в данной работе была выполнена их классификация, что позволило выделить ключевые преимущества ленточных транспортеров. Среди основных достоинств – высокая производительность, которая при скорости движения ленты 6–8 м/с и достаточной её ширине может достигать 20 000 тонн в час, что значительно превосходит показатели других разновидностей конвейеров. Однако ленточные системы имеют и свои ограничения. К числу основных недостатков относятся высокая стоимость комплектующих: около 50 % от общей цены оборудования приходится на ленту и примерно 30 % — на роlikоопоры. Кроме того, существует проблема просыпания транспортируемого материала, а также затруднённое использование таких транспортеров при перемещении пылевидных, горячих и тяжёлых штучных грузов, особенно на участках с уклоном свыше 18–20°. Особенно эти недостатки проявляются при работе с сильно засоренной зерновой массы примесями, состав которых рассмотрен подробно с целью выбора направления совершенствования ленточных транспортеров. Важно рассмотрение вопроса сохранности зерна низкого качества комплексно, для этого предложено совершенствование хранилищ зерна, механизированных складов и элеваторов, а также системы аспирации.

Определение производительности ленточного транспортера опирается на разработанную, в достаточной степени теоретическую базу, однако в диссертации разработан новый подход, опирающийся на исследования Александрова М.П. и законы подобия функций. Это позволило пошагово определить связь производительности и угла наклона роликов. Уточнен выбор типа и материала ленты и опорных устройств. Представлен расчет вместимости бункеров и силосов и определение суммарного расхода воздуха аспирационной системы для работы с сильно засоренным зерном.

Разработана математическая модель для определения производительности ленточного конвейера в зависимости от ширины ленты и угла наклона боковых роликовых опор. Разработанная модель показывает, что производительность конвейера возрастает с ростом ширины ленты, и для каждой ширины существует предпочтительный угол наклона роликов. Максимальные значения достигаются при ширине $B \approx 3\text{ м}$ и угле $\beta \approx 30^\circ$.

Определено напряженно-деормированное состояние роликовых опор конвейера с использованием метода конечных элементов в SolidWorks Simulation. Результаты анализа показывает, что конструкция роlikоопоры при выбранной нагрузке работает с большим запасом прочности, и разрушения или пластической деформации не произойдет.

Проведен анализ ленты конвейера при выбранном угле наклона боковых роликов 30°, что позволит более полно оценить её поведение в условиях реальной эксплуатации. Такой анализ включает как прочностную, так и кинематическую и эксплуатационную оценку, с учётом особенностей транспортируемого материала (в данном случае — сильно засорённых зерновых культур).

Программа экспериментальных исследований состоит из общей и частной методик. Общая методика -это обоснование насыпной плотности сильно засоренных зерновых культур и конструктивно-режимных параметров ленточного транспортера. Частная-обоснование других конструктивных решений при работе с сильно засоренными зерновыми культурами. Определение насыпной плотности выполнено для сильно засоренных зерновых культур нашего региона. Разработана методика определения производительности работы ленточного конвейера сильно засоренного зерна с обоснованием угла наклона желобчатых роlikоопор. Изготовлены экспериментальные установки с углами наклона роlikоопор 20,30,45 и 60 градусов. Подготовлено сертифицированное оборудования для контроля параметров: Анализатор качества зерна Infratec 1241, весы автомобильные, измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп-М». а также многопрофильная лаборатория завода элеваторного оборудования «Астык». Для определения скорости транспортера определили частоту вращения приводного барабана и скорость получена эмпирическим путем. С целью определение энергоемкости процесса транспортирования использовали лабораторный комплекс «ВП ТОЭ» с соответствующим программным обеспечением. Установленная мощность электродвигателя 15 кВт, однако изменения в затратах энергии при выполнении экспериментов не выходили за 5%, т.е. предел ошибки, по этой причине в расчетах не использовали. Определение влажности зерна осуществлено по двум методикам для более точного получения этого показателя, т.к. это важно для сохранности материала низкого качества. Для разработки нового оборудования дан расчет основных элементов емкости для хранения сильно засоренных зерновых культур и основных элементов вентилятора.

Определена насыпная плотности сильно засоренных зерновых культур, она составила 549,08 кг/м³. Производительность работы ленточного транспортера сильно засоренного зерна с обоснованием угла наклона желобчатых роlikоопор измерялась в 3-х повторностях, для верификации полученной производительности осуществили сравнение теоретических и экспериментальных исследований на основании коэффициента корреляции. Он равен 0,9, что свидетельствует о тесной связи полученных результатов. Получены прочие результаты экспериментальных исследований, значимо влияющие на технологический процесс ленточного транспортера при работе с сильно засоренным зерном.

Для производственных испытаний изготовлена экспериментальная установка, в результате установлено оптимальное расположение роlikовых опор- 30 градусов, при этом производительность составила 186,1 т/ч.

Разработаны новые запатентованные устройства технологических процессов сильно засоренных зерновых культур: опорная рама силоса, крыша силоса и вентилятор для силоса.

Оценка экономической эффективности научных исследований дана на основании опробированных на практике методик и материалов предприятий. Годовой экономический эффект составил 3078100 тенге на 1 транспортер, срок окупаемости 0,56 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Галкин, В.И. Транспортные машины. Учебник для Вузов [Текст] / В.И.Галкин, Е.Е. Шешко. – Москва: Горная книга, 2010 г.
2. Бутковский В.А., Галкина Л.С., Птушкина Г.Е. Современная техника и технология производства муки. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 319 с.:ил.
3. Вобликов Е.М. Технология элеваторной промышленности М, 2010. – 51с.
4. Глебов Л.А., Демский А.Б., Веденьев В.Ф., Яблоков А.Е. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник. - М.: ДеЛи принт, 2010. – 696 с.
5. Демский А.Б., Борискин М.А., Веденьев В.Ф. Оборудование для производства муки и крупы. Справочник. Санкт – Петербург: Издательство «Профессия», 2000. – 624 с
6. Мельник Б.Е. Технология приемки, хранения и переработки зерна /Б.Е. Мельник, В.Б. Лебедев, Г.А. Вишняков. – М.: Агропромиздат, 2010.- 367с.
7. Панфилов В.Н., Грудапова В.Я., Антипов С.Т. Машины и аппараты пищевых производств: Учебник для вузов.: в 3 кн. Кн. 1 под ред. акад. РАСХН– Минск : БГАТУ, 2007. - 420 с.
8. Риженко Е.Т., Сагандыкова Ж.Б., Павлова Л.А., Абдыкаликова Н.Х. Проектирование зернохранилищ и перерабатывающих производств: Учебное пособие/ Нур-Султан. Некоммерческое акционерное общество «Холдинг «Кәсіпқор», 2019. 229 с.
9. Трисвятский Л.А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки/ Л.А. Трисвятский, Б.Е. Мельник. – М.: Колос, 2013. – 351 с.
10. Юкиш А.Е., Ильина О.А. Техника и технология хранения зерна. Делли принт, 2009. – 536 с.
11. Ромакин Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
12. Шаяхметов Е.Я., Темиртасов О.Т., Мендебаев Т.М. Анализ работы и пути совершенствования ленточных конвейеров на элеваторах // Вестник КазАТК. – Алматы, 2014. - №5. – С. 44-48.
13. Шоджаатолхосейни С.А. Обоснование рациональных параметров роlikоопор линейных секций мощных ленточных конвейеров горных предприятий: автореф. ... канд. техн. наук: 05.05.06. – М.: Московский государственный горный университет, 2009. – 24 с.
14. Темиртасов О.Т. Инженерное прогнозирование перспективы развития конвейерных установок // Аналитический обзор Восточно-Казахстанский филиал АО «НЦНТИ». - Усть – Каменогорск, 2009. - 50 с
15. Радкевич Я.М., Тимирязев В.А., Островский М.С. Повышение качества роликoв ленточных конвейеров методом безударной сборки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – №8.
16. Sugumaran V., Ramachandran K.I. Effect of number of features on classification of roller bearing faults using SVM and PSVM // Expert Syst. Appl. – 2011. - №38. – P. 4088–4096.

17. Gupta A. Safety measures for reduction of failure safety measures for reduction of failure in belt conveyor for thermal power plant // *Inter. J. Mech. Eng. Robot. Res.* – 2013. - №2. – P. 214–220.
18. Монастырский В.Ф., Кирия Р.В., Смирнов А.Н. Определение срока службы роликов ленточных конвейеров для различных типов роликоопор // *Геотехнічна механіка.* – 2014. – №115. – С. 147-155.
19. Grincova A., Andrejiova M., Marasova D. Measuring and comparative analysis of the interaction between the dynamic impact loading of the conveyor belt and the supporting system // *Measurement.* – 2015. – Vol. 59. – P. 184-191.
20. Rahman S., Hazim O. A generalized knowledge-based short-term load forecasting technique // *Power Systems, IEEE Transactions on.* – 1993. – Vol. 8, №2. – P. 508-514.
21. Предварительный пат. 13658 РК. Двухцепной конвейер-накопитель с роликовым настилом для транспортирования, накапливания и выдачи штучных грузов; опубл. 14.11.03, Бюл. №11.
22. Предварительный пат. 14793 РК. Конвейерная система для вертикального перемещения штучных грузов; 15.09.2004, Бюл. №9.
23. Предварительный пат. 20213 РК. Установка для перегрузки труб; опубл. 17.11.2008, Бюл. №11.
24. Предварительный пат. 1998 РК. Ленточный конвейер Темиртасова; опубл. 15.09.2008, Бюл. №9.
25. Инновационный пат. 21789 РК. Ленточный конвейер; опубл. 15.10.2009, Бюл. №10
26. Manezhanov B., Temirtasov O., Shayakhmetov Y., Shaikhanova A., Kuderinova N., Abilmazhinov Y., Mansurov S. Prospective design of conveyor rollers // *Research Journal of Applied Sciences.* - 2016. – Vol. 11, issue 5. - P. 197-201
27. Коган Б.И., Голубев А.А., Иванов А.С. О проблеме изготовления обечаек роликов ленточных конвейеров из листа // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2007. – №2
28. Васильев А.С., Дальский А.М., Золотаревский Ю.М., Кондаков А.И. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / под ред. д-ра техн. наук А.И. Кондакова. - М.: Машиностроение, 2005. – 352 с.
29. Тимирязев В.А., Кутин А.А., Схиртладзе А.Г. Основы технологии машиностроения: учебник. – М.: ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2011.
30. Шаяхметов Е.Я., Мендебаев Т.М., Темиртасов О.Т. Анализ неисправностей роликов ленточных конвейеров в ходе эксплуатации на предприятиях восточного казахстана // *Вестник СГУ.* – Семипалатинск, 2015. - №4(72). – С. 58-63.
31. Lihua Zhao, Yin Lin. Typical failure analysis and processing of belt conveyor // *Procedia Engineering.* – 2011. - №26. – P. 942 – 946.
32. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Изд-во МГТУ, 2005. – 543 с.
33. Reicks A.V. Conveyer Models as Quantitative Platforms for Belt Conveyor Enerdgy Options // *BulkSolids Europe.* – 2012. – Vol.48. – P. 1-10.
34. Paul Dikson. Think tanks. - New York: Athen, 1971; - М.: Прорепец, 1976. - 450 с.
35. Möller B., Reuter U. Uncertainty forecasting in engineering. – Berlin: Springer, 2007. – P. 101.

36. Rahman S., Hazim O. A generalized knowledge-based short-term loadforecasting technique // Power Systems, IEEE Transactions on. – 1993. – Vol. 8, №2. – P. 508-514.
37. Темиртасов О.Т., Нукиев А.Р., Манежанов Б.А., Шаяхметов Е.Я. Стандарты ISO, FEM - основа для инженерного прогнозирования перспективы развития техники и технологии // Сб. трудов межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие транспорта, транспортной техники и машиностроения». -Алматы:Каз НТУ, 2013. – С. 31-35.
38. Shayakhmetov Y., Mendebayev T., Manezhanov B., Temirtasov O., Ibragimova R. Prediction of development prospects of roller support designs for conveyor systems // International Journal of Applied Engineering Research. - 2015.– Vol. 10, №17. – P. 38110-38115 // <http://www.ripublication.com>© Research India174 Publications.
39. Конвейерный и рельсовый транспорт в горной промышленности. ИГДим А. А. Скочинского. Издательство «Недра», 1967 г.
40. Конвейеры шахтные ленточные. Методы испытаний: ГОСТ Р 51042-97[Электронный ресурс]. – Режимдоступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200026832/> – Загл. с экрана.
41. Правила эксплуатации подземных ленточных и пластинчатых конвейеров на угольных и сланцевых шахтах [Текст]/ Министерство угольной промышленности СССР; Академия наук СССР; Институт горного дела им. А.А.Скочинского. - М., 1980 г.
42. Конвейеры стационарные ленточные желобчатые [Электронный ресурс].Режим доступа: <https://www.tyazhmash.com/products/konveyerstacionarnye-lentochnye-zhelobchatye/> – Загл. с экрана.
43. Бекмырза Ж.А. Рыспаев К.С. Ленточные конвейеры для сыпучих грузов .Монография. Костанай, 2023.-175 с.
44. Бутковский В.А., Галкина Л.С., Птушкина Г.Е. Современная техника и технология производства муки. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 319 с.:ил
45. Атаназевич В.И. Сушка зерна. – М.: ДеЛи принт. 2007. – 480 с
- 46.Трисвятский Л.А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки/ Л.А. Трисвятский, Б.Е. Мельник. – М.: Колос, 2013. – 351 с.
- 47.Правила организации и ведения технологического процесса на элеваторах и хлебоприемных предприятиях.- М.:ЦНИТЭИ, 1984. -121с.
48. <https://obion.ru/blog/chto-vazhno-uchityvat-pri-ustanovke-sistem-ventilyacii-zernoxranilishh>
49. Проектирование ленточного конвейера. Методические указания для студентов специальности 190205 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / А.В. Тарнопольский, Н.Е. Курносов, Л.П. Корнилаева, Ю.К. Измайлов – Пенза : ПензГУ, 2009. – 60 с.
50. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. Издание шестое, переработанное. М. «Высшая школа», 1985. С. 370.
51. https://de.donstu.ru/CDOCourses/Design/Mashini&ApparatiPishivihProizvodstv/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%8F_%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD/%D0%92%D0%BC%D0%B5%

D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C/box/Vm_Sil.htm

52. Антимонов, С.В. Методика подбора и расчета основных элементов вентиляционной (аспирационной) сети с установленным фильтром: методические указания / С.В. Антимонов, Е.В. Ганин, С.Ю. Соловых; Оренбургский гос. ун-т.— Оренбург: ОГУ, 2019 –20 с.

53. Вальдберг, А.Ю. Технология пылеулавливания / А. Ю. Вальдберг, Л.М. Исянов, Э.Я. Тарат. - Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1985. -192 с.

54. Вайсман, М.Р. Вентиляционные и пневмотранспортные установки [Текст] : учеб. для сред. спец. заведений / М.Р. Вайсман, И.Я. Грубиян.- 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Колос, 1984. - 368 с.

55. Зерно. Методы анализа. М. ИПК. Издательство Стандартов, 2004 – 132с.

56. Мотовилов, К.Я., Булатов, А.П., Позняковский, В.М.. Ланцева, Н.Н., Миколайчик, И.Н. Экспертиза кормов и кормовых добавок. [Текст] / Мотовилов К.Я., Булатов А.П., Позняковский В.М.. Ланцева Н.Н., Миколайчик И.Н. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. – 303с.

57. Центр лабораторного оборудования // https://www.nvlab.ru/catalog_info.php?ID=1259&Full=1

58. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М. Колос. 1973. - С.50.

59. Перельмутер А.В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций.//Сейсмостойкое строительство. Безопасность со оружений, 2004, №6.

60. Еремеев П.Г. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях// Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. г – Том4, №3. - С.129134

61. Муцанов В.Ф., Роменский И.В., Роменский Д.И. Исследование влияния конструктивных особенностей на несущую способность конической оболочки стальной воронки бункера концентрата угля// Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Том 4, № 3. – С. 135144

62. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров / Ленпромстройниипроект. – М.:Стройиздат, 1983. - 200 с

63. Вентиляция зерна в зернохранилище [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://agrotech35.ru/blog/index.php/15-ventilirovanie-zerna-vzernokhranilishche.html> - (Дата обращения: 2016).

64. Активное вентилирование зерна на предприятиях элеваторной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hleb-produkt.ru/zerno/555-aktivnoe-ventilirovanie-zerna-na-predpriyatiyah-elevatornoy-promyshlennosti.html> (Дата обращения: 2014).

65. Активное вентилирование в силосах элеваторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://agro-portal24.ru/hranenie-zerna/3003-aktivnoeventilirovanie-v-silosah-elevatorov.html> - - (Дата обращения: 2012).

66. Кинетика охлаждения зерна после сушки на установках активного вентилирования, 22-23 сентября 2015 года, В.Ф. Сорочинский, С.-15.

67. Активное вентилирование зерновых масс [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://chitalky.ru/?p=1436> - (Дата обращения: 2016).
68. Измеритель параметров микроклимата «метеоскоп-м» Руководство по эксплуатации БВЕК.43.1110.04 РЭ ООО «НТМ-Защита»115201 Москва, Каширское ш. 22, корп.4
69. Оценка качества работы машин для приготовления кормов. Труды ВНИИМЖ, М.-1980, С.215-230.
70. Бизнес-планирование: учебник для вузов / под ред. В.М Попова, С.И. Ляпунова, С.Г. Млодика. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 816 с.
71. Сборник бизнес-планов: практическое пособие / ред. Ю. Н. Лапыгин. - М.: Омега-Л, 2012. - 310 с.
72. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Рекомендации. М.: Министерство с.х. и продовольствия РФ и ВНИЭСХ, 1998 . 104 с.
73. <https://smkirov.com/oborudovanie-dlya-rbu/lentochniy-konveyer-smx-lk>
4. [https://kz.elcomspb.ru/retail/electric_engines/general-purpose_engines/?filter=true&attribute_33\[0\]=15&utm_source=Google_KZ_search%20&utm_medium=cpc&utm_campaign=obsheprom&utm_content=main_ad&utm_term=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%2015%20%D0%BA%D0%B2%D1%82&device={device_type}&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI9riRq qW0hQMvkqWDBx0A8AEHEAAYASAAEgIaN_D_BwE](https://kz.elcomspb.ru/retail/electric_engines/general-purpose_engines/?filter=true&attribute_33[0]=15&utm_source=Google_KZ_search%20&utm_medium=cpc&utm_campaign=obsheprom&utm_content=main_ad&utm_term=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%2015%20%D0%BA%D0%B2%D1%82&device={device_type}&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI9riRq qW0hQMvkqWDBx0A8AEHEAAYASAAEgIaN_D_BwE)
75. https://satu.kz/p62586012-schit-upravleniya.html?token=v2%3A6_it7jVqIxYqI63BFcfkrbGEoD8M74bCqmDvmuKJDGqxav8i2YBIHvSls5TsJvw-gXEcGt0oYhLLaPTv7qA7NvWdI_KvUNYYucnUdm4FlrRP0t53FZ4Tb2Z_aIuPKyb8&campaign_id=64862&product_id=62586012&source=prom%3Arecommended&locale=ru&category_ids=50904&primelead=NTk&from_spa=true
76. <https://www.olx.kz/d/obyavlenie/beskarkasnyy-angar-arochnyy-zernohranilishe-arkakupolnyy-sportzal-IDoiXDr.html>