

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

На правах рукописи



Игнатова Ольга Сергеевна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУННЫХ ГРОХОТОВ
С КАНТОВАТЕЛЯМИ ДЛЯ СОРТИРОВКИ УГЛЯ**

Специальность 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Демченко Игорь Иванович

Красноярск – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ	
ИССЛЕДОВАНИЯ.....	8
1.1 Способы и средства, применяемые для сортировки горной массы.....	9
1.2 Некоторые конструкции гравитационных грохотов.....	17
1.3 Цель и задачи диссертационного исследования.....	27
ГЛАВА 2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ	
МОДЕЛИ РАБОТЫ СТРУННОГО ГРОХОТА.....	
2.1. Разработка конструкции струнного грохота.....	28
2.2. Выбор параметров струнного грохота.....	33
2.3. Разработка математической модели работы струнного грохота.....	37
2.4 ВЫВОДЫ	62
ГЛАВА 3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ	
МОДЕЛИ РАБОТЫ СТРУННОГО СТУПЕНЧАТОГО ГРОХОТА.....	
3.1. Разработка конструкции струнного ступенчатого грохота.....	63
3.2. Выбор параметров струнного ступенчатого грохота.....	66
3.3. Разработка математической модели работы струнного ступенчатого грохота.....	72
3.4 ВЫВОДЫ.....	83
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУННЫХ	
ГРОХОТОВ.....	
4.1. Обоснование параметров конструкций струнных грохотов.....	84
4.2. Расчет параметров струнного грохота.....	102
4.3. Расчет параметров струнного ступенчатого грохота.....	123
4.4. Сравнение параметров предлагаемых струнных грохотов.....	140
4.5 Производительность грохотов в зависимости от габаритов их просеивающих секций.....	141
4.6 ВЫВОДЫ.....	143

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТИРОВКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СТРУННЫХ ГРОХОТОВ	145
5.1 Исследование сортировки материала на модели струнного грохота.....	145
5.2 Исследование сортировки материала на струнном ступенчатом грохоте	157
5.3 Оценка экономической эффективности применения струнных грохотов.....	165
5.4 ВЫВОДЫ	175
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	177
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	179
ПРИЛОЖЕНИЕ А Патент на изобретение № 2568460.....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патент на изобретение № 2692395.....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акт внедрения АО «Красноярсккрайуголь».....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акт внедрения АО «Спецтехномаш».....	191
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Акт внедрения в учебный процесс.....	192

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Темпы роста генерации энергии из угольного сырья в России остаются на высоком уровне, в основном, благодаря широкой ресурсной базе и сравнительно невысокой стоимости угля, а также стабильности цен на него по сравнению с природным газом и нефтью.

Одним из направлений повышения эффективности угольных генерирующих компаний является использование сортового угля, получаемого в процессе разделения рядового угля на классы крупности. Наиболее простыми и недорогими сортирующими устройствами являются бесприводные струнные и колосниковые грохоты. Однако их применение характеризуется невысоким качеством сортировки и существенными эксплуатационными расходами.

В связи с этим, исследования, направленные на совершенствование бесприводных струнных грохотов, используемых при сортировке рядового угля на классы крупности, имеют существенное значение для развития угледобывающей и углеперерабатывающей отраслей промышленности нашей страны.

Степень разработанности. Значительный вклад в разработку теоретических основ и практической реализации устройств для сортировки горной массы внесли ученые: В.М. Авдохин, В.А. Атрушкевич, А.О. Атрушкевич, А.А. Абрамов, В.А. Бауман, Л.А. Вайсберг, Е.Б. Волков, П.Ф. Дейнеко, В.В. Зверевич, Н.Г. Картавый, Б.В. Клушанцев, С.М. Кулиш, В.Т. Лашко, А.И. Матвеев, В.А. Перов, К.А. Разумов, Б.Н. Тартаковский, Г.П. Черкасов, и др.

Целью работы является обоснование конструктивных параметров струнных грохотов с кантователями, не использующих в своей работе привод и обеспечивающих повышение эффективности сортировки угля.

Идея работы состоит в установке на рабочих поверхностях струнных грохотов кантователей для повышения эффективности сортировки угля.

Основные задачи исследования.

1. Анализ существующих конструкций грохотов различных типов, применяемых для сортировки угля.

2. Разработка конструкций и обоснование основных параметров струнных грохотов с кантователями.

3. Разработка математической модели расчета основных параметров предлагаемых конструкций струнных грохотов, при заданной производительности.

4. Исследование эффективности сортировки на моделях струнных грохотов.

5. Расчет технико-экономических показателей применения предлагаемых струнных грохотов.

Положения, выносимые на защиту.

1. Повышение эффективности сортировки угля достигается применением кантователей в конструкции струнных грохотов, общие параметры которых predeterminedены требуемой производительностью и необходимым гранулометрическим составом подрешетного продукта.

2. Работоспособность струнного грохота с кантователями и выход подрешетного продукта predeterminedены параметрами и углом наклона просеивающей секции и передней стенки грохота.

3. Максимум производительности струнного грохота с кантователем обеспечивает установка просеивающей секции под углом 50° , при этом длина просеивающей секции минимальна.

Научная новизна работы.

1. Установлены зависимости для определения конструкции и параметров кантователей в увязке с требуемым гранулометрическим составом и параметрами просеивающих секций.

2. Разработана математическая модель для расчета параметров и производительности новых конструкций струнных грохотов.

3. Установлены зависимости изменения рациональных параметров струнных грохотов от заданной его производительности и требуемого гранулометрического состава подрешетного продукта.

Методы исследований. Решение поставленных задач выполнялось при использовании современных методов исследований, включающих проведение лабораторных экспериментов, критический анализ и научное обобщение специальной

и патентной литературы, математическое моделирование, системный подход к разработке новых сортирующих устройств при совокупном рассмотрении гранулометрического состава сортируемого материала и требований к производительности струнных грохотов, технико-экономический анализ.

Обоснованность и достоверность работы подтверждаются предпосылками предшествующих работ отечественных и зарубежных специалистов в данной области; корректностью постановки задач исследования; применением методов математического моделирования и сравнительным анализом расчетных и опытных данных; представительным объемом разработанных конструктивных элементов предложенных струнных грохотов; положительными результатами технико-экономического анализа.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования; проведении анализа сортирующих устройств, применяемых для сортировки угля; в разработке новых моделей конструкций струнных грохотов, с обоснованием и выбором их основных параметров и построением математических моделей для их расчета; проведении экспериментов по сортировке материала на моделях с расчетом эффективности сортировки. Все результаты диссертационной работы, перечисленные в ее заключении, получены лично автором, апробированы и подготовлены к печати.

Практическая значимость работы. Разработаны конструкции струнных грохотов (патенты РФ на изобретения № 2568460 и 2692395) и методика расчета их конструктивных параметров. Проведены лабораторные исследования работоспособности указанных струнных грохотов. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности применения предлагаемых моделей струнных грохотов.

Реализация работы. Основные результаты диссертационной работы приняты к внедрению на предприятиях АО «Красноярсккрайуголь», основным видом деятельности которого является добыча угля и АО «Спецтехномаш», специализирующегося на разработке и изготовлении горно-обогачительного оборудования для угольной и других отраслей горной промышленности. Выполненные исследо-

вания стали научной базой для методических указаний и методик, используемых студентами и магистрантами ФГАОУ ВО СФУ при курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Результаты исследований и основные материалы диссертации докладывались и обсуждались на Международных конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный» (Красноярск, 2015 – 2017, 2021, 2022 гг.); XIX Международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-металлургической отрасли» («Игошинские чтения») (Иркутск, 2019 г.); XV Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (Екатеринбург, 2017 г.); научных семинарах кафедры «Горные машины и комплексы» ФГАОУ ВО СФУ (Красноярск, 2017 – 2022 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 – в изданиях, включенных в перечень, утвержденный ВАК Минобрнауки РФ, получено 2 патента РФ на изобретения.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 187 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Содержит 84 рисунка, 42 таблицы, список литературы из 95 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору, доктору технических наук И. И. Демченко, а также профессору, доктору технических наук А. И. Косолапову и коллективу кафедры «Горные машины и комплексы» СФУ за оказанную организационную и методическую помощь при подготовке диссертационной работы.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор и сортировка материалов являются важной частью их предварительной подготовки, которая широко используется в угольной, металлургической, химической промышленности, строительных материалах и других отраслях.

Одной из самых важных задач для всех отраслей промышленности является обеспечение энергией. Угольная генерация, благодаря относительно невысокой стоимости и устойчивости цен по сравнению с природным газом и нефтью, а также обширной ресурсной базе, позволяет ее решить. При этом уголь является самым распространенным теплоэнергетическим ресурсом в мире и по объемам превосходит все остальные виды ископаемого топлива, что в долгосрочной перспективе и делает его самым дешевым и востребованным [1 – 6].

Добываемый рядовой уголь перед отправкой потребителям со слоевым сжиганием топлива необходимо переработать, так как сжигание рядового угля не столь эффективно, как сортового. Разделение угля на классы крупности (сортировка) является прогрессивным технологическим способом, позволяющим значимо понизить производственные затраты, а в некоторых случаях и увеличить качество конечного продукта. Для получения сортового угля применяют различные типы грохотов, которые являются незаменимым оборудованием на обогатительных фабриках, а также входят в состав дробильно-сортировочных комплексов на горнодобывающих предприятиях [7 – 14].

Сортировка полезных ископаемых – разделение исходного минерального сырья на отдельные продукты, обогащаемые по различным технологиям или используемые по различным назначениям. Сортировка производится грохочением, рудоразборкой, радиометрической или фотометрической сепарацией, обогащением в тяжелых средах и т.п. Непосредственно в месте добычи в очистном забое или в специальной выработке (подземная), на поверхности (на сортировочной установке, обогатительной фабрике). Широко применяется для нерудного сырья: щебня, гравия, песка, а также слюды, асбеста и т.п.

Сортировка полезных ископаемых по крупности может производиться как единственный обогатительный процесс (щебень, песок, уголь).

Для углей, сортировка грохочением является обязательным процессом, независимо от того, подвергается ли уголь дальнейшему обогащению. В случае непосредственного использования угля, класс крупности определяет направление его использования и конструкцию устройств для сжигания. Роль сортировки как процесса, предшествующего обогащению, возрастает с ухудшением качества исходных материалов (руд, углей и др.) вовлечением в промышленную эксплуатацию бедных и забалансовых полезных ископаемых, внедрением высокопроизводительных методов разработки месторождений, приводящих к разубоживанию [15].

1.1 Способы и средства, применяемые для сортировки горной массы

Для разделения (сортировки) материалов (угля) по крупности и получения сортового продукта различного гранулометрического состава применяются сортирующие устройства (грохота, сепараторы, классификаторы и др.).

Машины и устройства механической сортировки классифицируются по следующим признакам: по типу просеивающей поверхности - на колосниковые, решетчатые, ситные, струнные, валковые; по форме просеивающей поверхности - на плоские и изогнутые; по расположению просеивающей поверхности в пространстве - на горизонтальные, наклонные и вертикальные; по характеру движения просеивающей поверхности - на неподвижные, качающиеся, вибрирующие и вращающиеся.

Неподвижные грохоты могут применяться для предварительного и вспомогательного грохочения, классификации, обесшламливания и обезвоживания угля, концентратов и других материалов.

Подвижные сортирующие устройства, у которых сортировка материала осуществляется за счет движения просеивающей поверхности делятся на вибрационные, дисковые, вращающиеся и конвейерные.

В настоящее время широкое распространение среди вибрационных сортирующих устройств получили инерционные и самобалансные грохота, которые изготавливаются трех типов: легкие (для сортировки материала с насыпной плотностью $< 1,4 \text{ т/м}^3$); средние (для сортировки материала с насыпной плотностью $< 1,8 \text{ т/м}^3$); тяжелые (для сортировки материала с насыпной плотностью $< 2,8 \text{ т/м}^3$).

Грохоты легкого типа применяются для грохочения углей, антрацитов (ГИЛ, ГИСЛ); среднего типа - для грохочения нерудных материалов (ГИС, ГСС), а тяжелого типа – для грохочения руд перед дробилками среднего и мелкого дробления (ГИТ).

Принцип действия инерционных и самобалансных грохотов заключается в следующем: рядовой уголь поступает на верхнее сито, где под действием силы тяжести и колебаний короба частицы крупнее отверстий задерживаются, а более мелкие проваливаются в отверстия и удаляются.

Общая схема и общий вид инерционного грохота представлены на рисунках 1.1, 1.2.

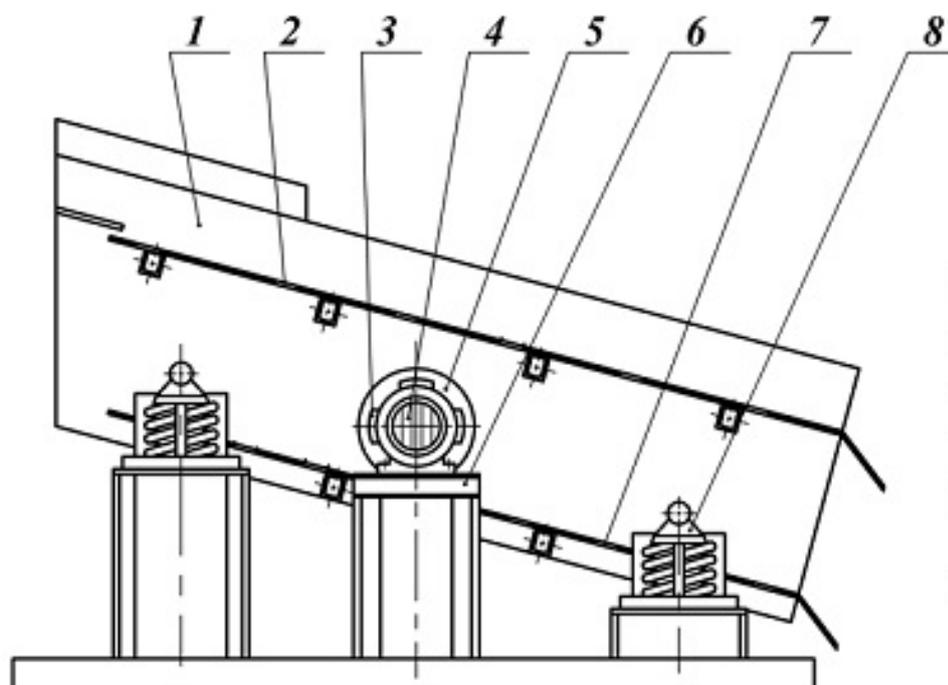


Рисунок 1.1 – Общая схема инерционного грохота:

- 1 – короб; 2 – верхнее сито; 3 – эластичная муфта; 4 – электродвигатель;
5 – вибратор; 6 – подмоторная рама; 7 – нижнее сито; 8 – подвеска

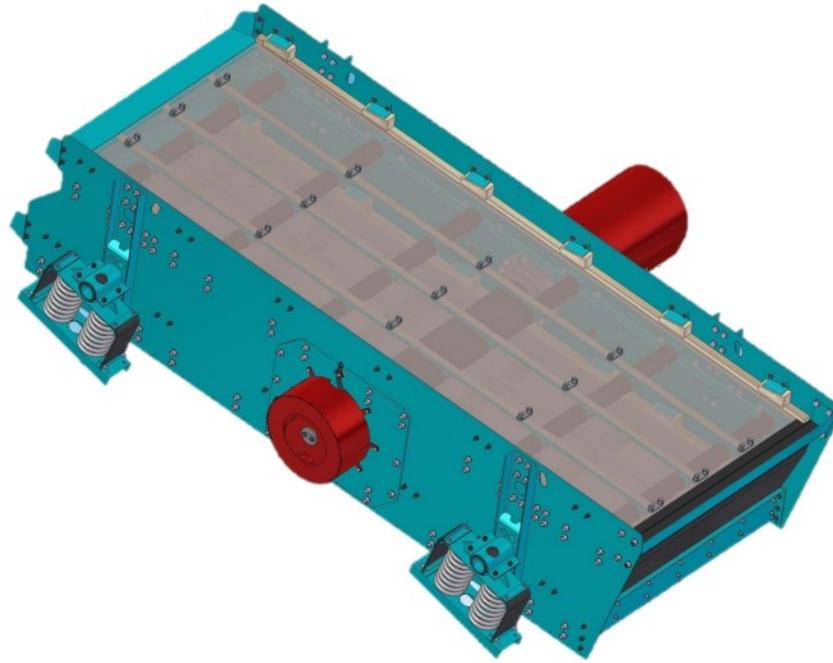


Рисунок 1.2 – Общий вид инерционного грохота

Достоинствами инерционных грохотов являются довольно высокая вибрационная интенсивность, что, в свою очередь, повышает эффективность в процессе грохочения; высокая производительность; простота и надежность конструкции; незначительные эксплуатационные затраты.

К недостаткам инерционных систем грохочения можно отнести достаточно быстрый износ ходовых узлов и деталей; истирание рабочей поверхности короба при прохождении по нему материалов.

Самобалансный грохот отличается от инерционного конструкцией вибратора, который представляет собой два дебаланса, установленные на валах и соединенных зубчатой передачей, таким образом, что вращение дебалансов происходит навстречу друг другу и короб получает прямолинейные колебания к сити [16].

Дисковые сортирующие устройства отличаются просеивающей поверхностью, которая выполнена в форме валков, роликов, дисков. Одной из самых распространенных моделей дисковых сортирующих устройств является валковый грохот.

Валковые грохоты состоят из ряда параллельных валков, установленных на наклонной раме и вращающихся в направлении движения материала. На валки

насажены или отлиты заодно с ними диски. Валки образуют просеивающую поверхность с отверстиями, форма и размеры которых определяются расстоянием между валками и формой дисков. Форма дисков может быть круглой или фигурной, например, в виде «сферического» треугольника, стороны которого описаны дугами окружности [17]. При вращении валков материал продвигается и просеивается. Валковые грохоты используют для предварительного крупного грохочения угля и скальных пород повышенной абразивности и в качестве питателей дробящих и транспортирующих машин. Схема валкового грохота показана на рисунке 1.3.

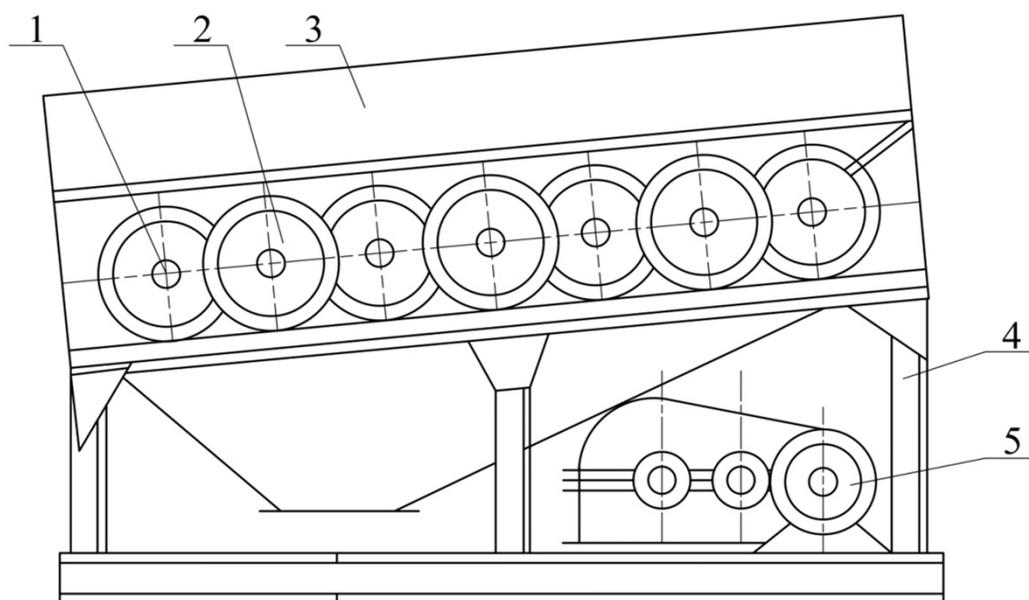


Рисунок 1.3 – Схема валкового грохота: 1 – валки; 2 – диски; 3 – короб грохота;
4 – рама; 5 – привод

Достоинствами валковых грохотов являются высокая производительность по сравнению с неподвижными колосниковыми грохотами; отсутствие динамических нагрузок на фундамент. К недостаткам можно отнести износ дисков; сложность конструкции и непригодность для глинистых и влажных материалов (залипание валков при грохочении влажных углей).

Вращающиеся сортирующие устройства существуют двух типов: барабанные и гидрогрохоты.

Барабанные сортирующие устройства характеризуются вращательным движением просеивающей поверхности. К ним относятся барабанный грохот, цилиндрический грохот и др. Грохоты данного типа применяются в основном для предварительного грохочения угля и руд.

Принцип действия барабанного грохота заключается в просеивании мелких фракций сырья через стенки барабана, вращающегося за счет приводных роликовых опор на которых он и установлен. Материал подается непрерывно внутрь барабана, за счет трения увлекается внутренней поверхностью барабана и по достижении высоты, соответствующей углу естественного откоса материала, скатывается вниз, просеиваясь сквозь отверстия в барабане. Продольное перемещение материала обеспечивается наклоном центральной оси барабана ($4 \dots 7^\circ$) и его вращением. Частота вращения барабанных грохотов ограничена величиной центробежных сил, прижимающих куски материала к просеивающей поверхности [18].

Схема и общий вид барабанного грохота приведены на рисунках 1.4, 1.5.

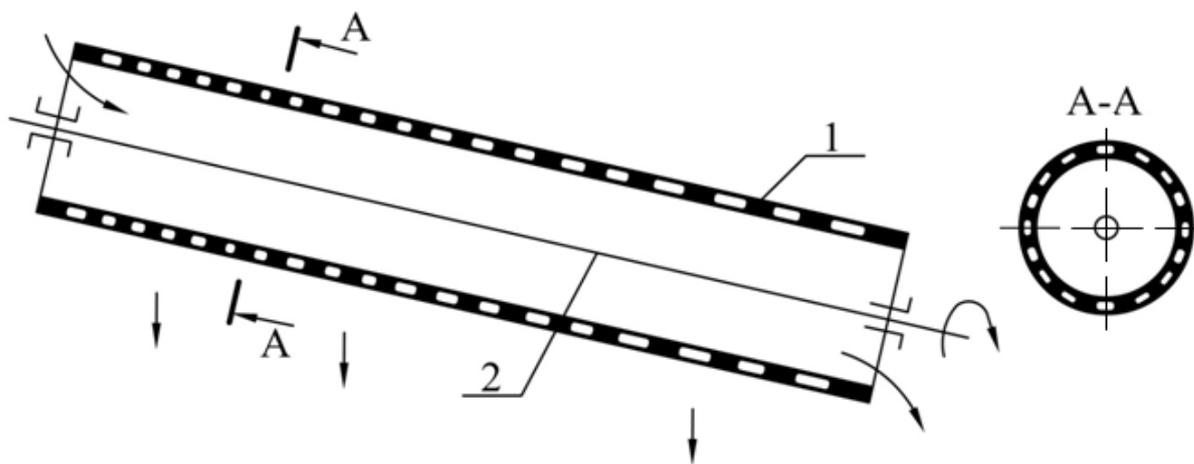


Рисунок 1.4 – Схема барабанного грохота: 1 – барабан; 2 – центральный вал

Преимуществами барабанных грохотов являются простая конструкция с большой унификацией деталей, что обеспечивает долговечность, низкую стоимость и небольшие временные затраты на осуществление ремонтных работ; низкий шум системы и высокая плавность работы [19].



Рисунок 1.5 – Общий вид барабанного грохота

К недостаткам барабанных грохотов можно отнести громоздкость конструкции; небольшая величина удельной производительности; малая эффективность.

Гидрогрохоты – аппараты, в которых разделение материала происходит в жидкой среде. К ним относятся дуговой грохот, классификаторы, центрифуги и др.

Дуговые грохоты предназначены для обезвоживания и разделения кускового и сыпучего материала на продукты различной крупности с помощью просеивающей поверхности.

Применяются для мокрого грохочения и классификации легкошламирующихся материалов на углеобогащительных фабриках, коксохимических заводах, а также в схемах обогащения руд.

Схема и общий вид дугового грохота представлены на рисунках 1.6, 1.7.

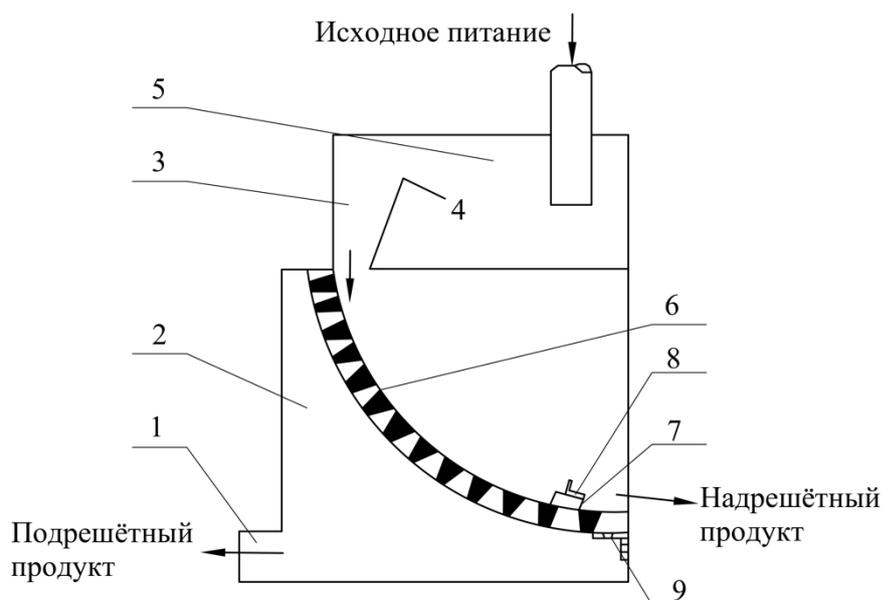


Рисунок 1.6 – Схема дугового грохота: 1 – разгрузочный патрубок; 2 – рама; 3 – карман; 4 – стенка; 5 – приемная коробка; 6 – колосниковообразная решетка; 7 – клин; 8 – уголок; 9 – упор для решетки



Рисунок 1.7 – Общий вид дугового грохота

Основные преимущества дуговых грохотов - большая удельная производительность, отсутствие движущихся частей и привода, компактность.

Недостатком дуговых грохотов является быстрый износ сеток, особенно на абразивных пульпах.

Конвейерные сортирующие устройства по форме напоминают конвейер с натянутой на барабаны просеивающей поверхности, которая может быть образована канатами, струнами и другими элементами, расстояние между которыми устанавливается таким образом, чтобы получить фракцию необходимого класса. К этим устройствам относятся ленточный грохот, сепарирующий транспортер и др.

Ленточные грохоты могут использоваться во всех технологических процессах переработки минерального сырья. Грохоты наиболее широко применяются при переработке золота, железной руды и цветных металлов.

Общий вид ленточного грохота показан на рисунке 1.8.

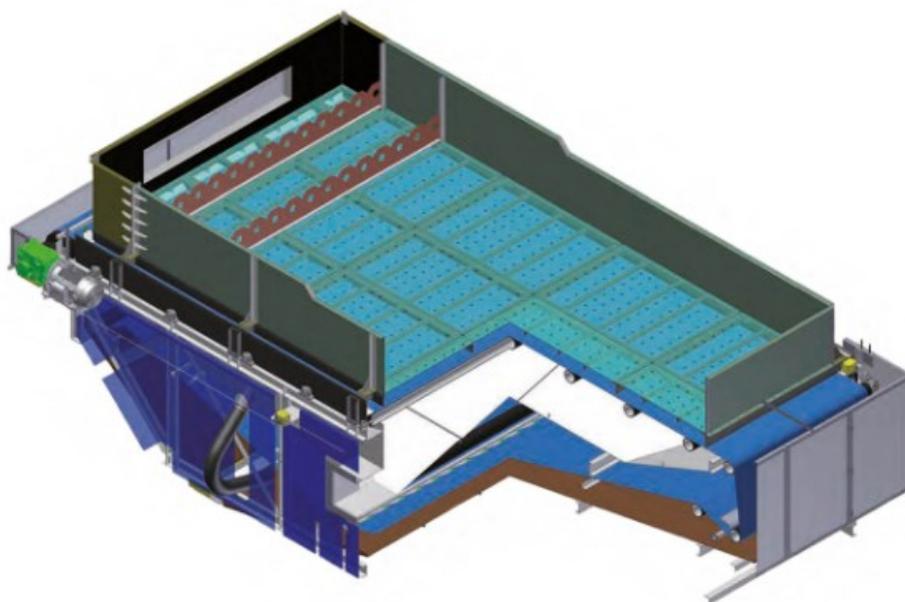


Рисунок 1.8 – Общий вид ленточного грохота

Рассмотренные конструкции грохотов, предполагают использование привода, для осуществления рабочих операций, что существенно влияет на стоимость сортировки. При гравитационном способе сортировке используется сила тяжести сортируемого материала для его движения по наклонным просеивающим поверхностям. Привод в данном случае не используется.

В настоящее время при рассортировке угля по классам крупности применяются инерционные и самобалансные грохоты, которые повышают стоимость сортового топлива. Вместе с тем потенциал струнных и колосниковых грохотов, использующих гравитационный метод рассортировки и характеризующийся простотой и дешевизной полученного продукта, далеко не исчерпан [20].

Достоинствами гравитационных грохотов являются простота конструкции и отсутствие привода при осуществлении операции сортировки. Недостатками – невысокое качество при рассортировке. Поэтому создание новых конструкций гравитационных грохотов и совершенствование существующих для повышения качества сортировки имеет большое значение [21].

1.2 Некоторые конструкции гравитационных грохотов

К сортирующим устройствам гравитационного действия можно отнести колосниковые и струнные грохоты.

Колосниковый грохот – это устройство для разделения (сортировки) сыпучих материалов. Используется при предварительном грохочении перед дроблением, для выделения из горной массы кусков крупностью до 200 мм [15, 17].

Неподвижные колосниковые грохоты представляют собой колосниковые решетки (рисунок 1.9) с продольными ячейками, устанавливаемые под углом $30 - 25^\circ$ при грохочении углей и $40 - 45^\circ$ при грохочении руд. Ширина грохота обычно равна двум-трем размерам максимального куска исходной руды, а длина - удвоенной ширине грохота. Исходный материал загружается в верхнюю часть решетки и движется вниз самотеком. При этом мелочь частично проваливается через зазоры между колосниками.

Преимуществами колосниковых грохотов являются простота устройства и обслуживания, отсутствие энергозатрат, возможность изготовления на предприятиях из самых разнообразных материалов (старых рельсов, балок и др.), возможность загрузки непосредственно из автомашин, железнодорожных вагонов, шахт-

ных скипов. Недостатком их является низкая эффективность грохочения, обычно не превышающая 50 – 60%. Поэтому колосниковые грохоты используют обычно для выделения наиболее крупных классов и в тех случаях, когда низкая эффективность грохочения не оказывает существенного влияния на эффективность последующих процессов переработки полезного ископаемого [22, 23].

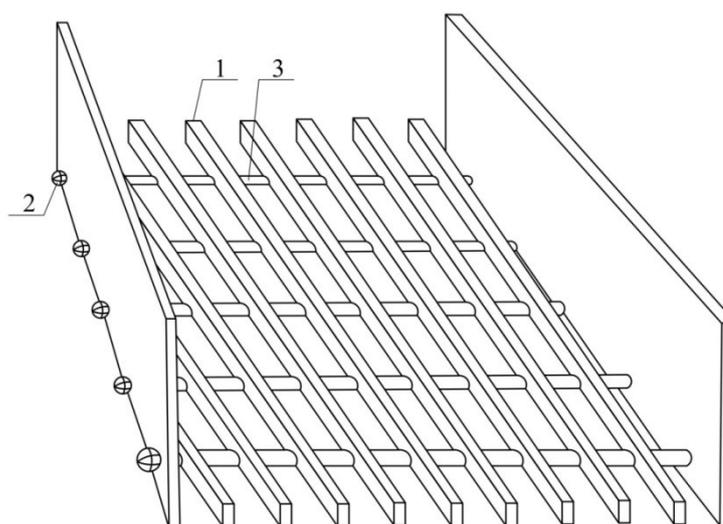


Рисунок 1.9 – Схема колосникового грохота:

1 – колосник; 2 – стяжной болт; 3 – распорная трубка

Общий вид колосникового грохота показан на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 – Общий вид колосникового грохота

Колосниковые грохоты и их конструктивные особенности рассматривались многими авторами. Рассмотрим наиболее интересные из них.

В грохотах, имеющих в конструкции подвижные колосники (рисунок 1.11) повышение эффективности грохочения достигается за счет самоочистки колосников [24 – 28].

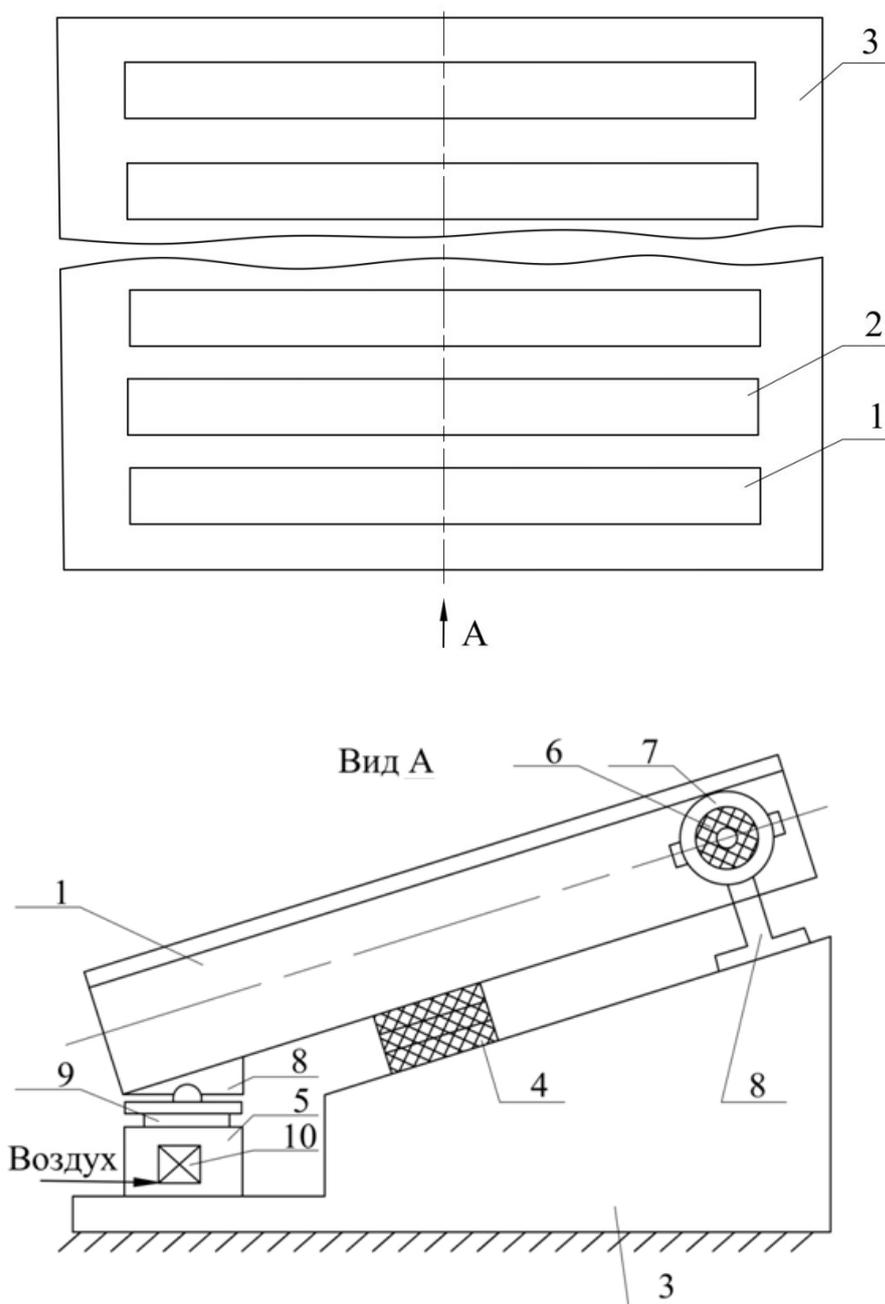


Рисунок 1.11 – Схема колосникового грохота: 1, 2 – подвижные колосники; 3 – рама; 4 – амортизатор; 5 - пневмоцилиндр; 6 – ось; 7 – упругие шарниры; 8 – кронштейн; 9 – поршень; 10 – устройство воздухораспределения

Данный грохот работает следующим образом: при включении сжатого воздуха поршни пневмоцилиндров поднимаются, поворачивают колосники 1 и 2 с находящейся на них горной массой вокруг осей упругих шарниров 7, деформируя их при этом. При достижении поршнем 9 заданного положения воздухораспределительная система обеспечивает отсечку сжатого воздуха. После отсечки сжатого воздуха горная масса, находящаяся на колосниках, продолжает по инерции двигаться вверх, а колосники 1 и 2 под действием упругой восстанавливающей силы упругих шарниров 7 возвращаются в исходное положение, соударяются с амортизаторами 4, деформируя их при этом [24].

Под действием упругой восстанавливающей силы амортизаторов 4 и силовых пневмоцилиндров 5, в которые сжатый воздух начинает поступать при нахождении поршня 9 в нижнем положении, колосники поворачиваются вокруг осей 6 упругих шарниров 7 и соударяются с горной массой, которая в это время движется вниз. При этом часть горной массы просеивается через щели между колосниками и уходит в подрешетный продукт. Оставшаяся часть горной массы движется вместе с колосниками до момента отсечки сжатого воздуха, после чего цикл повторяется. Включение сжатого воздуха в каждый пневмоцилиндр 5 определяется положением контактирующего с ним колосника, что улучшает условия очистки их от заклиниваниями камнями. Из каждых двух смежных колосников один соединен с рамой загрузочным концом, а другой - разгрузочным, что обеспечивает большое относительное перемещение смежных колосников, что в свою очередь, улучшает условия самоочистки колосников и повышает эффективность грохочения [24].

В а.с. СССР № 546392 и других изобретениях представлен колосниковый грохот, у которого колосники, выполнены из двух частей. Обе части соединены шарнирно, что повышает надежность и эффективность работы грохота [29 - 32].

Работает грохот следующим образом: на приемную плиту подают материал, который скатывается на колосники грохота, при этом мелкая фракция просыпается между колосниками, а надрешетный материал скатывается вниз. Колосники в

процессе работы грохота совершают сложные колебания, в результате чего происходят самовстряхивание и очистка колосниковой решетки.

Самовстряхивание способствует лучшему прохождению горной массы между колосниками решетки, уменьшает возможность заклинивания кусков между колосниками, что увеличивает эффективность грохочения. Кроме того, время импульса от действия динамических сил, обусловленных падением груза, увеличивается, а сила воздействия на колосник уменьшается, что позволяет увеличить надежность работы колосников [29].

В грохотах, предложенных Черкасовым Г.П., Дейнеко П.Ф., конструкция упрощена, что позволяет снизить его массу и габаритные размеры [33, 34].

Струнный грохот – устройство для сортировки, аналогичное колосниковому грохоту, просеивающие поверхности которого представляют собой струнные сита, состоящие из продольно-натянутых струн, выполненных из закаленной высокоуглеродистой проволоки (канатов), размещенных параллельно друг другу. Струнные сита хорошо противостоят обледенению и засорению. Отсутствие поперечных прутьев создает идеальные условия для сортировки: песка; торфа; щебня; угля и других нерудных материалов.

Рассмотрим некоторые модели струнных грохотов, представленных в авторских свидетельствах СССР и патентах России.

В а.с. СССР № 1558507 и 1057124 авторами предлагается грохот (рисунок 1.12), содержащий просеивающую поверхность в виде струн, закрепленных на раме и закрытых износостойкими втулками, с целью улучшения удобства обслуживания [35, 36].

Грохот работает следующим образом: материал из технологического оборудования по течке поступает на струны 2 и просеивается между ними.

Износостойкие втулки 3 из элементов и скрепляющих пружин 4 предохраняют струны 2 от износа и повреждения. При износе наружной поверхности втулки 3 совместно со скрепляющими пружинами 4, установленными на заданную глубину проточки, которая зависит от величины допустимого износа втулки по ее

радиусу, наступает разрушение скрепляющих пружин 4, что приводит к самоликвидации изношенных втулок 3 путем их распада на элементы.

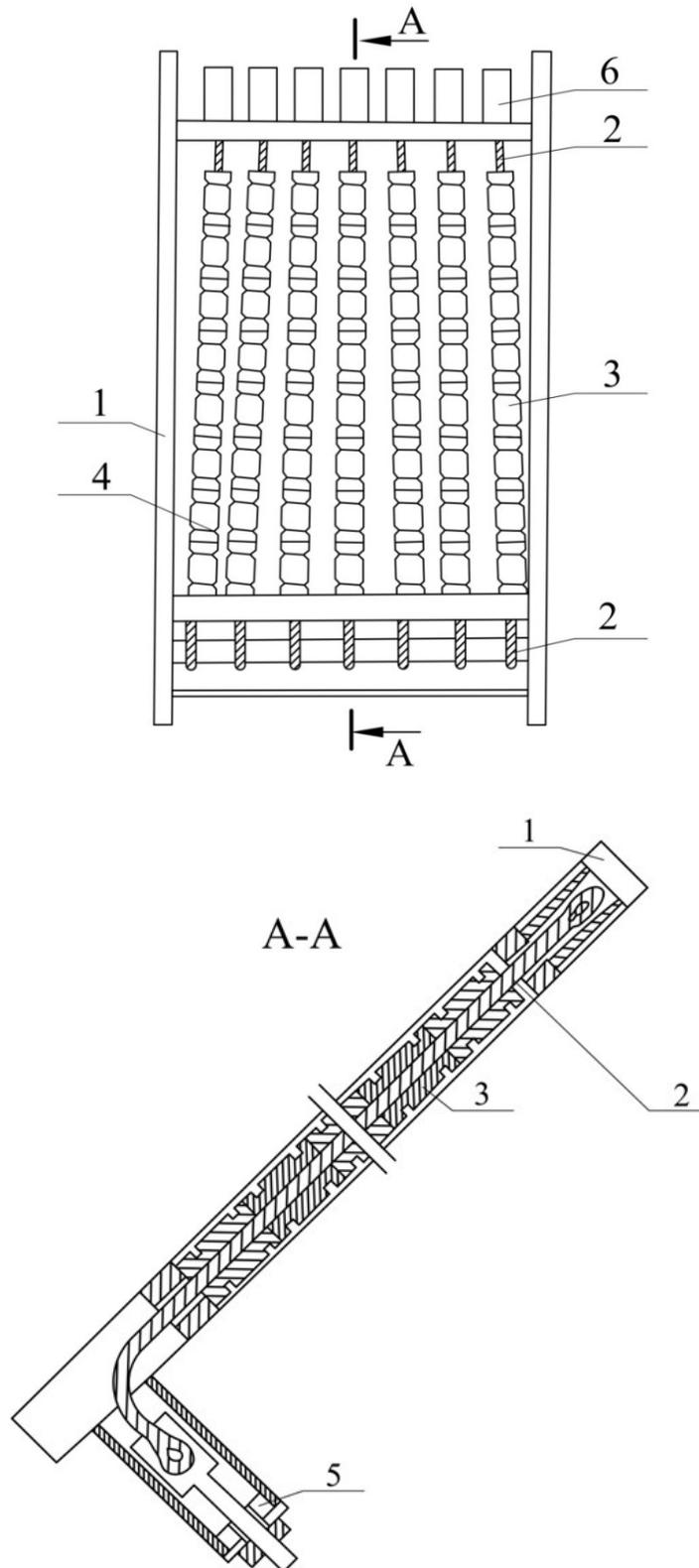


Рисунок 1.12 – Схема струнного грохота: 1 – рама; 2 – струны; 3 – износостойкие втулки; 4 – пружинное кольцо; 5 – натяжное устройство; 6 – крепление

По мере самоликвидации изношенных втулок 3, вокруг струны 2 из элементов и скрепляющих пружин 4 собираются новые втулки без демонтажа грохота и разборки струн, что позволяет поддерживать грохот в работоспособном состоянии при минимальных затратах труда и времени на обслуживание грохота [35].

Грохота, предложенные Поляк Ю.Д. (рисунок 1.13) и Сидоренко Н.И, содержащие просеивающую поверхность, выполненную в виде струн, закрепленных на раме, состоящей из двух секций, шарнирно связанных между собой, что, по мнению авторов, позволяет повысить эффективность процесса грохочения [37, 38].

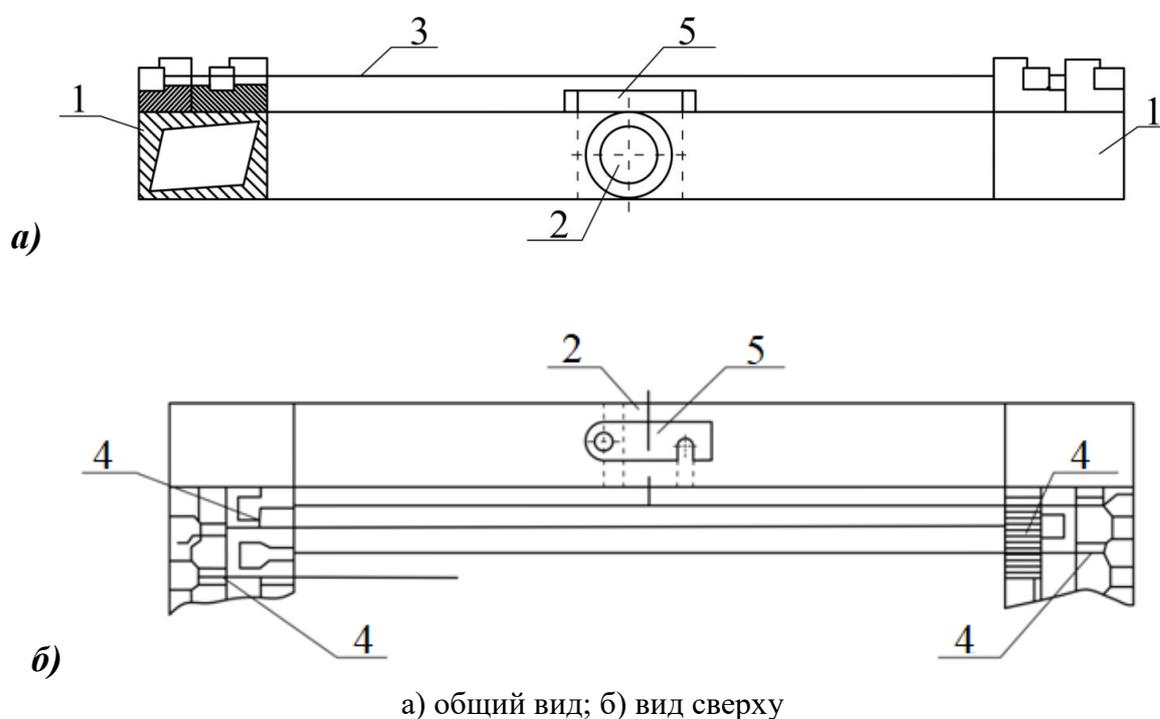


Рисунок 1.13 – Схема струнного грохота: 1 – секции; 2 – шарнир; 3 – струны; 4 – пазы;
5 – фиксирующая планка

Грохот состоит из двух секций 1, поворотных относительно шарнира 2, которые совместно образуют узел крепления струн 3, предварительно уложенных в пазы 4 секций 1. В незакрепленном положении струны легко снимаются для осмотра и замены. Поворот любой из секций относительно шарнира 2 до совмещения их в горизонтальной плоскости обеспечивает одновременное крепление

всех струн в пазах 4 и их равномерное натяжение. Рабочее положение обеих секций фиксируется планкой 5 [37].

Грохот, предложенный Тарасовым Ю.Д. и др., содержит просеивающую поверхность, образованную канатами, расположенными веерообразно и продольно по отношению к направлению движения сортируемого материала. Вибрация канатных струн в вертикальной плоскости в процессе взаимодействия с кусками материала обеспечивает повышение эффективности грохочения. Возможность определенного смещения и изгиба струн в горизонтальной плоскости в комплексе с их вертикальными перемещениями исключает вероятность заклинивания материала и обеспечивает самоочистку грохота [39].

На разрезе «Переясловский» АО «Красноярсккрайуголь» в Красноярском крае изготовлен колосниковый (струнный) грохот (рисунки 1.14, 1.15), для сортировки угля.



Рисунок 1.14 – Колосниковый грохот на угольном разрезе «Переясловский»



Рисунок 1.15 – Момент загрузки колосникового грохота рядовым углем колесным погрузчиком

Данный грохот изготовлен из подручных материалов, служит для получения определенной фракции угля до 100 мм. Полученный после сортировки уголь поставляется потребителям частного сектора и на нужды жилищно-коммунального хозяйства небольшими партиями.

Для сортировки больших объемов угля и отправки его потребителям железнодорожным транспортом на Переясловском разрезе используют дробильно-сортировочный комплекс ДСК-4м (рисунок 1.16) [40, 41].

В основу сортировки по классам данного комплекса положен новый способ классификации очистки сортовых фракций от более мелкой фракции при исключении вибрационных систем.

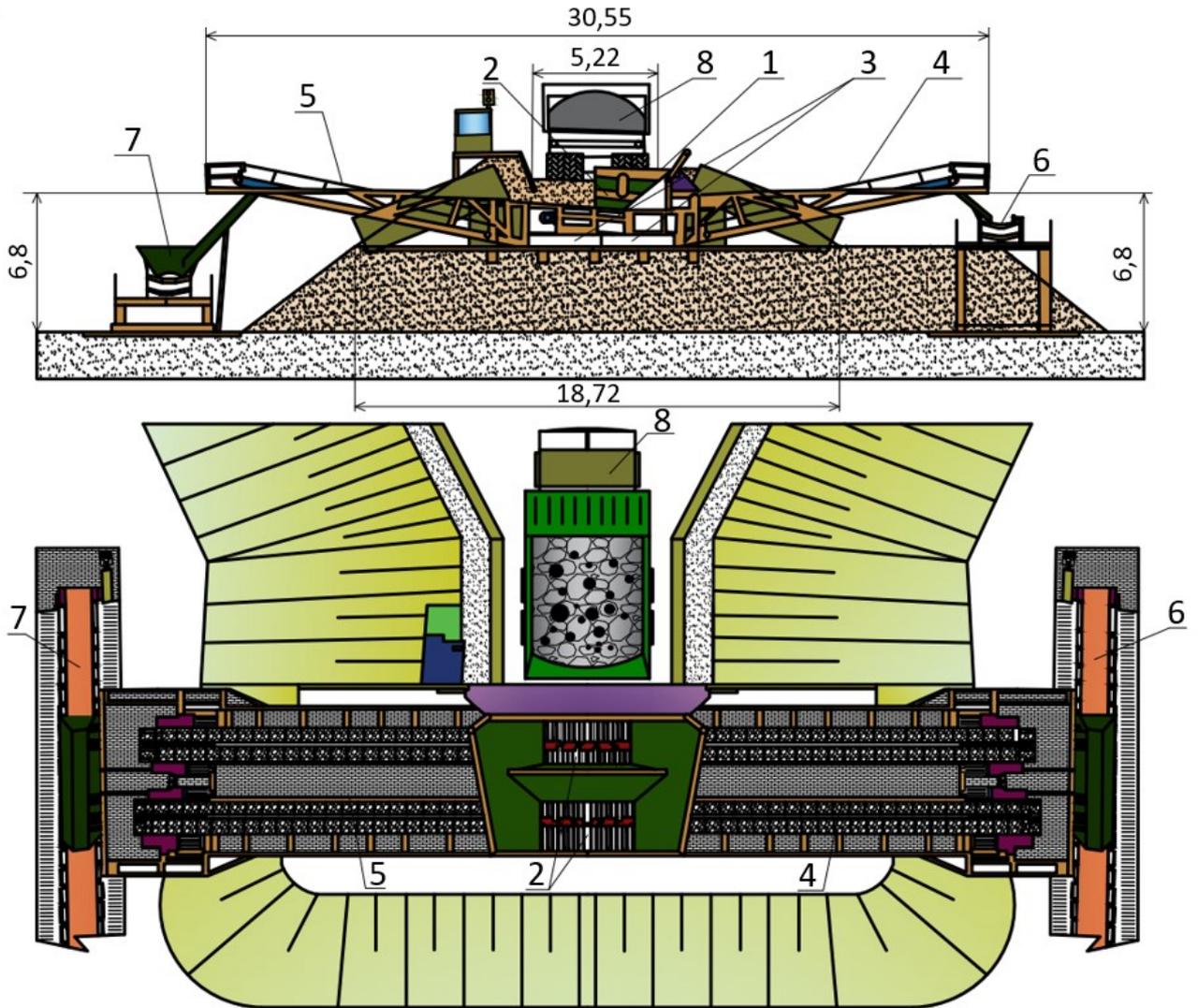


Рисунок 1.16 – Конструкция стационарного дробильно-сортировочного комплекса ДСК-4м:
 1 – загрузочный бункер; 2 – колосниковый грохот; 3 – приемный бункер; 4, 5 – конвейер (фракции 0-25, 25-200 мм); 6, 7 – ленточный конвейер (фракции 0-25, 25-200 мм); 8 – автотранспорт

Главной конструктивной особенностью комплекса ДСК-4м является то, что данный комплекс выполнен из металлопроката и является цельной мощной стальной конструкцией, позволяющей установку ее непосредственно на почву при небольших удельных давлениях на грунт, менее трудоемок в изготовлении, обслуживании и более надежен в сравнении с аналогами. Оборудование комплекса позволяет использовать данную установку на открытом воздухе круглогодично.

1.3. Цель и задачи диссертационного исследования

При рассортировке угля по классам крупности применяют различные виды грохотов. Простейшими являются грохота, использующие гравитационный способ разделения к которым относятся рассмотренные выше струнные и колосниковые конструкции. Эти грохота наряду со своими достоинствами (простота конструкции, экономичность) по эффективности сортировки уступают инерционным и др. грохотам, поэтому необходимость совершенствования конструкции струнных грохотов, с целью повышения эффективности сортировки, является актуальной задачей.

Целью работы является обоснование конструктивных параметров струнных грохотов с кантователями, не использующих в своей работе привод и обеспечивающих повышение эффективности сортировки угля.

Идея работы состоит в установке на рабочих поверхностях струнных грохотов кантователей для повышения эффективности сортировки угля.

Основные задачи исследования.

1. Анализ существующих конструкций грохотов различных типов, применяемых для сортировки угля.
2. Разработка конструкций и обоснование основных параметров струнных грохотов с кантователями.
3. Разработка математической модели расчета основных параметров предлагаемых конструкций струнных грохотов, при заданной производительности.
4. Исследование эффективности сортировки на моделях струнных грохотов.
5. Расчет технико-экономических показателей применения предлагаемых струнных грохотов.

ГЛАВА 2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ СТРУННОГО ГРОХОТА

Большая масса и габариты существующих сортировочных устройств значительно усложняют задачу расположения их в комплексе с другими горно-перерабатывающими машинами и, как следствие, качественной сортировки. А именно, известные устройства, решая задачу отделения крупных камней от карьерной смеси, не разделяют просеиваемую горную массу на другие классы по крупности. В другом сортирующем устройстве, для эффективного сортирования необходимо удерживать какое-то время просеиваемый материал на рабочих поверхностях сита. Это приводит к необходимости увеличивать размер приемного бункера для самого мелкого класса, что приводит к увеличению габаритных размеров грохота.

Струнный грохот решает задачу повышения эффективности разделения различной по составу горной массы на классы по крупности гравитационным способом при минимуме массогабаритных параметров устройства.

2.1. Разработка конструкции струнного грохота

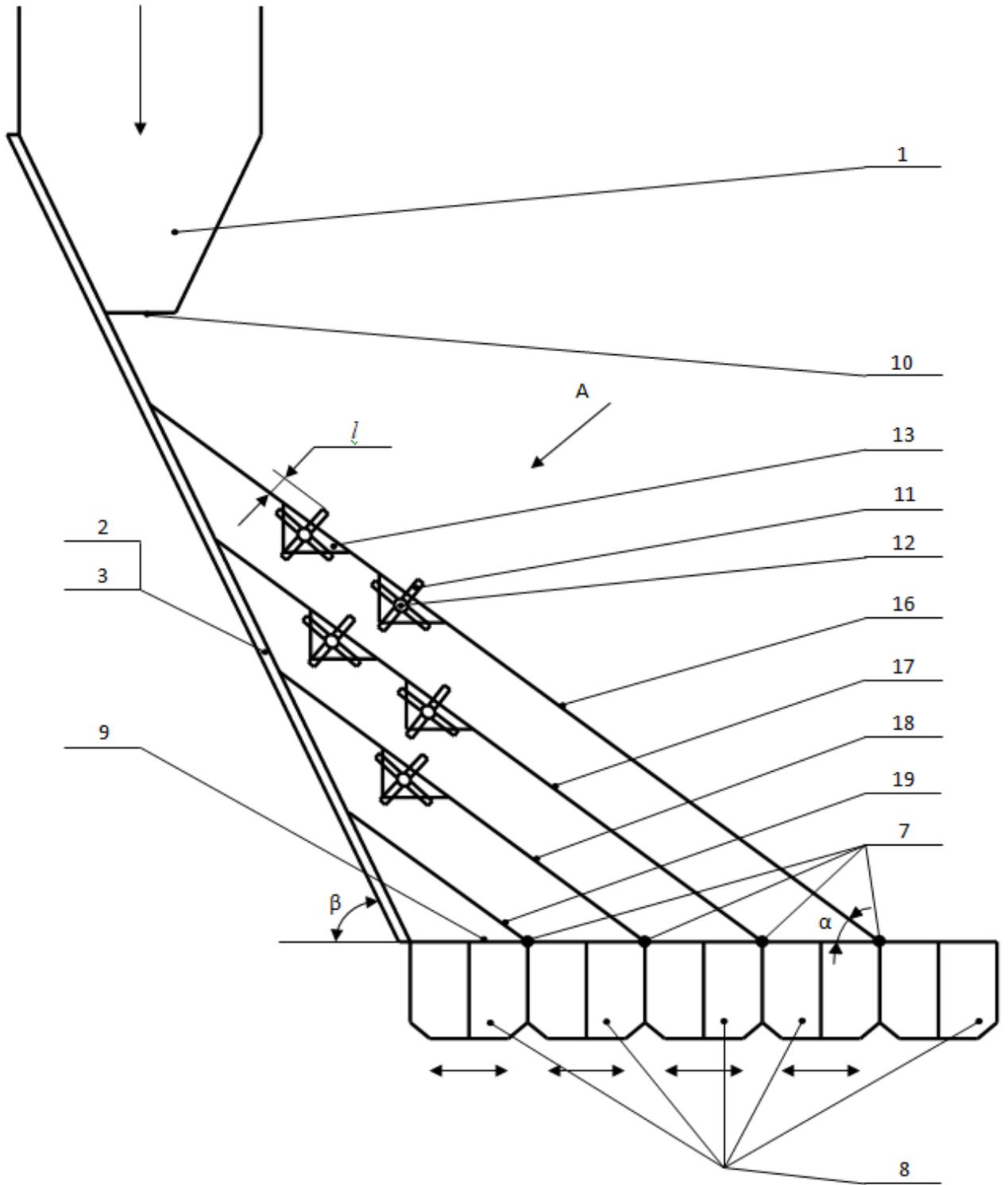
Предлагаемый струнный грохот [42] предназначен для получения угля следующих классов крупности: 0...13 мм; 13...25 мм; 25...50 мм; 50...100 мм; 100...200 мм; 200...300 мм гравитационным способом. Он отличается простотой конструкции (рисунок 2.1) и возможностью применения на угольных разрезах и шахтах любой производительности.

Рассмотрим рассортировку рядового угля на предлагаемом струнном грохоте, эскизы которого и некоторые узлы представлены на рис. 2.1 – 2.4. Для удобства рассмотрения на данных рисунках представлена сквозная нумерация элементов конструкции.

В зависимости от свойств сортируемого угля устанавливаем на определенную высоту бункер-питатель I , сдвигая его по боковым направляющим борта 2

передней стенки 3, имеющей угол β , превышающий угол естественного откоса сортируемого материала, и закрепляем фиксатором 4 (рисунок 2.3). Точно также, в зависимости от свойств сортируемого рядового угля, устанавливаем угол α просеивающих поверхностей, состоящих из рамы 5 (рисунок 2.1) и продольно натянутых струн 6. При этом верхняя часть рамы 5 перемещается по направляющим борта 2 передней стенки 3 и закрепляется фиксатором 4 так же, как и бункер-питатель, а нижняя часть рамы 5 с установленным на ней посредством шарнира 7 приемного бункера 8 перемещается по боковым горизонтальным направляющим 9 и закрепляется фиксатором. Элемент фиксации аналогичен элементу, представленному на рисунке 2.3. При увеличении угла установки α просеивающие поверхности будут смещаться к передней стенке 3, при этом горизонтальность установки приемных бункеров 8 будет обеспечена с помощью шарниров 7. Сдвигание нижней части рамы просеивающих поверхностей приведет к расширению или сужению приемных бункеров, кроме бункера для самого крупного материала. Это достигается посредством перемещения двух сдвигаемых половин 20 и 21 (рисунок 2.2), установленных внахлест, с вставкой 22 из эластичного материала, например, резины, обеспечивающей герметичность стыка.

Открываем шиберный затвор 10 бункера-питателя 1. Рядовой уголь под действием сил гравитации попадает на переднюю стенку 3 и верхнюю просеивающую поверхность. Крупные куски угля задерживаются на просеивающей поверхности. Кантователи 11 (рисунок 2.4) свободно вращаются на поперечных струнах 12, закрепленных, в свою очередь, на уголках 13 боковой кромки 14. Лопатки 15 кантователя (рисунок 2.4), взаимодействуя с сортируемым материалом, заставляют кантователь вращаться, при этом набегающая (восходящая) лопатка способствует переворачиванию кусков сортируемого материала. При этом крупные куски угля переворачиваются, стряхивая с себя мелкую фракцию и угольную пыль. Крупные куски после прохождения по просеивающей поверхности попадают в приемный бункер 8. Точно также проходит процесс просеивания на других нижележащих просеивающих поверхностях, которые задерживают свой класс крупности, отправляя его в соответствующий приемный бункер [42].



Вид А

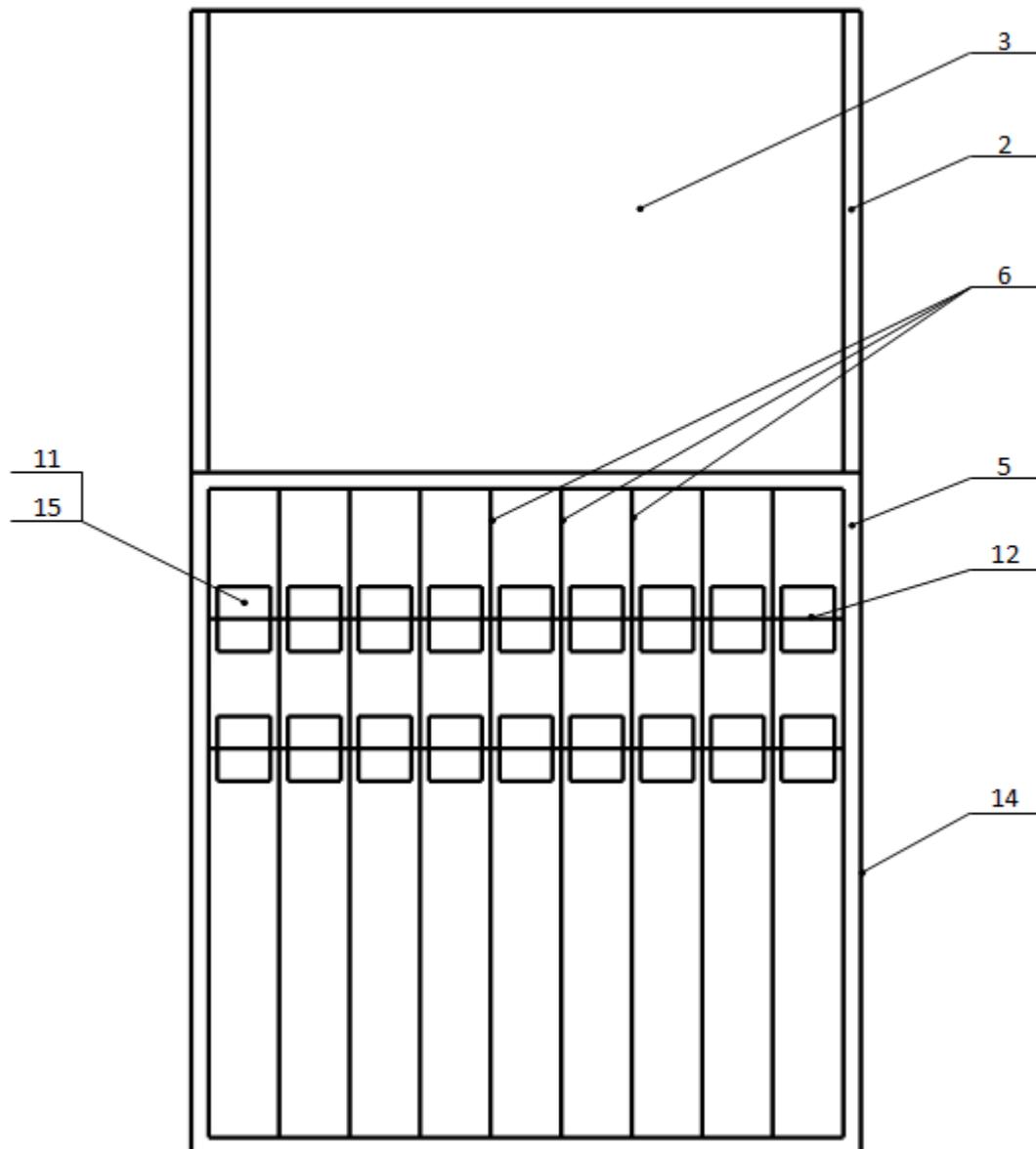


Рисунок 2.1 – Струнный грохот: 1 – бункер-питатель; 2 – борт; 3 – передняя стенка; 4 – фиксатор; 5 – рама; 6 – струны; 7 – шарниры; 8 – приемные бункера; 9 – горизонтальные направляющие; 10 – шиберный затвор; 11 – кантователи; 12 – поперечные струны; 13 – уголки; 14 – боковая кромка; 15 – лопатки кантователя; 16 – первая просеивающая секция; 17 – вторая просеивающая секция; 18 – третья просеивающая секция; 19 – четвертая просеивающая секция

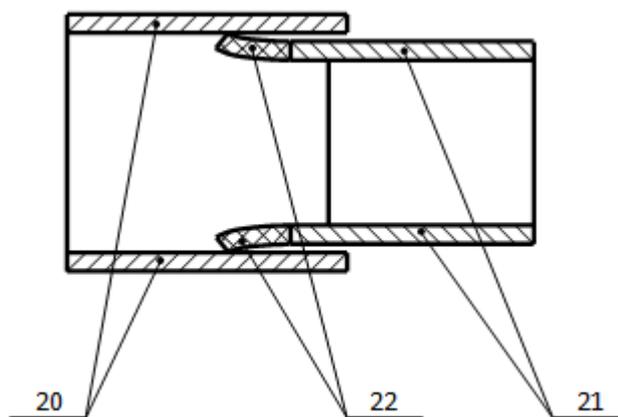


Рисунок 2.2 – Приемный бункер (поз. 8 рис. 2.1): 20, 21 – сдвигаемые половины бункера;
22 – эластичные вставки

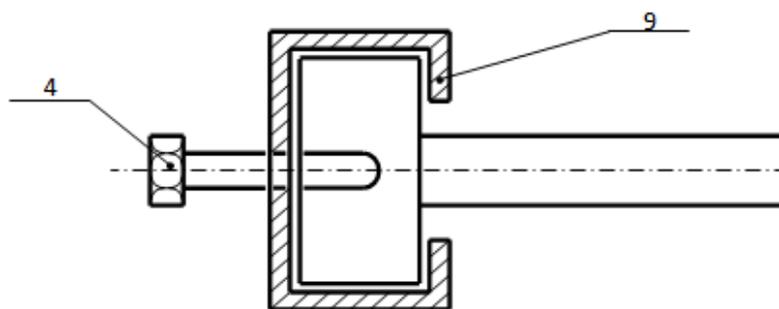


Рисунок 2.3 – Элемент фиксации просеивающей поверхности: 4 – фиксатор; 9 – направляющие

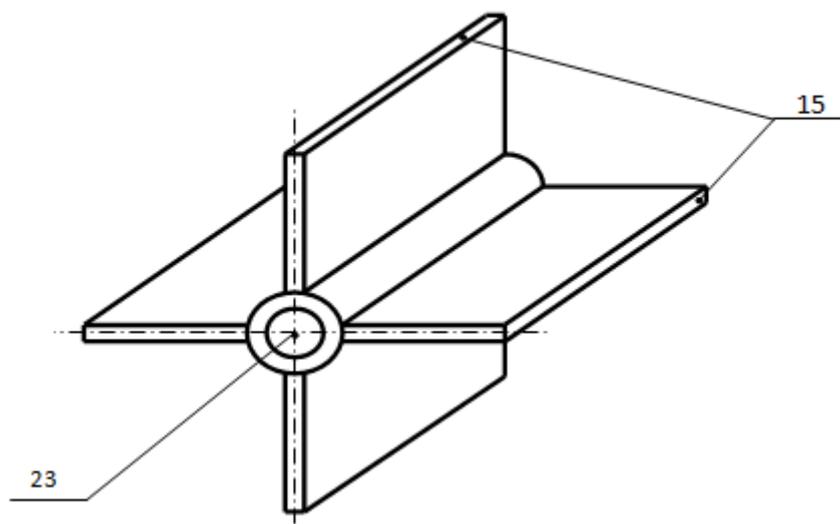


Рисунок 2.4 – Кантователь (поз. 11 рис. 2.1):
15 – лопатки кантователя; 23 – ось вращения кантователя

Струнный грохот закрыт кожухом (на чертеже не показан), предотвращающий пыление при рассортировке рядового угля.

Применение предлагаемого струнного грохота позволяет решить задачу эффективного разделения различного по крупности рядового угля на классы, а также быстро перенастраивать его под другой гранулометрический состав при минимуме массогабаритных параметров устройства.

2.2. Выбор параметров струнного грохота

Для проектирования струнного грохота с требуемой производительностью необходимо выбрать и обосновать его конструктивные и режимные параметры, которые можно определить после детального анализа его рабочих процессов. Комплекс параметров, полученный в результате анализа, представлен в виде схемы (рисунок 2.5).

Выбор и обоснование параметров струнного грохота осуществляется с учетом его конструктивных особенностей, эксплуатационных показателей и свойств сортируемого материала при обеспечении требуемой производительности. Поэтому все параметры объединены в три группы: 1 – производительность грохота; 2 – конструктивные; 3 – эксплуатационные. Факторы, влияющие на приведенные параметры, выделены в 4 группу, включающую характеристики сортируемого материала.

1. Требуемая производительность $Q_{тр}$ является одним из основных параметров. Его значения задаются, и в дальнейшем расчет остальных параметров ведется так, чтобы обеспечить заданную производительность. Производительность также зависит от скорости движения сортируемого материала по рабочим поверхностям $v_{дв.м}$, м/с; способа подачи материала $C_{п}$ на грохот (равномерный или неравномерный грузопоток; в нашем случае равномерная подача материала достигается плавным открыванием шиберного затвора на загрузочном бункере); пропускной способности загрузочного $Q_{з.б.}$ и приемных $Q_{п.б.}$ бункеров, м³/ч.

2. К конструктивным параметрам относятся: габариты грохота (L – длина, B – ширина, H – высота грохота, м); $L_{п.с.}$, $B_{п.с.}$ – длина и ширина передней стенки, м; β – угол наклона передней стенки грохота, град; $l_{пр.с.}$, $b_{пр.с.}$ – длина и ширина просеивающей секции, м; α – угол наклона просеивающей секции, град; n – количество просеивающих секций, шт; d_c – диаметр струн (канатов или прутков), м; b_i – расстояние между струнами, задаваемое в зависимости от требуемого получения гранулометрического состава рассортированной горной массы, м; P_n – натяжное усилие струн, Н (для канатов); параметры загрузочного и приемных бункеров ($L_{з.б.}$, $L_{п.б.}$ – длина загрузочного и приемных бункеров, м; $B_{з.б.}$, $B_{п.б.}$ – ширина загрузочного и приемных бункеров, м; $H_{з.б.}$, $H_{п.б.}$ – высота загрузочного и приемных бункеров, м).

Для повышения эффективности сортировки в конструкции струнного грохота применены кантователи, задача которых заключается в обеспечении переворачивания кусочков угля и сбрасывания с них более мелких частиц и пыли. Поэтому конструктивные параметры самих кантователей также отнесены к конструктивным параметрам грохота. К ним относятся: N – количество рядов кантователей на просеивающей секции, шт; K – количество лопаток кантователя, шт; φ – угол установки лопаток кантователя относительно друг друга, град; l_l – длина лопатки кантователя, м; $l_{м.к.}$ – расстояние между кантователями по длине просеивающей секции, м; $l_{д.с.}$ – расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции, м; l_k – величина выступа лопатки кантователя над просеивающей секцией, м.

3. Эксплуатационные показатели струнного грохота учитывают режим работы грохота и влияют на эксплуатационную производительность: k_p – коэффициент работы грохота, учитывающий сменность работы; t_3 – время эксплуатации, ч; $t_{рем}$ – время, затрачиваемое на ремонт (включает в себя время на капитальный и текущий ремонты), ч; $t_{п}$ – время простоев (в выходные и праздничные дни), ч.

4. Характеристика сортируемого материала $P_{с.м.}$. Основные свойства сортируемой горной массы (угля): γ – плотность, $кг/м^3$; w – влажность, %; a – гранулометрический состав, поступающий на грохот для сортировки и получаемый в за-

висимости от типа добывающего оборудования или предварительного дробления, мм; δ – абразивность, мг [43].

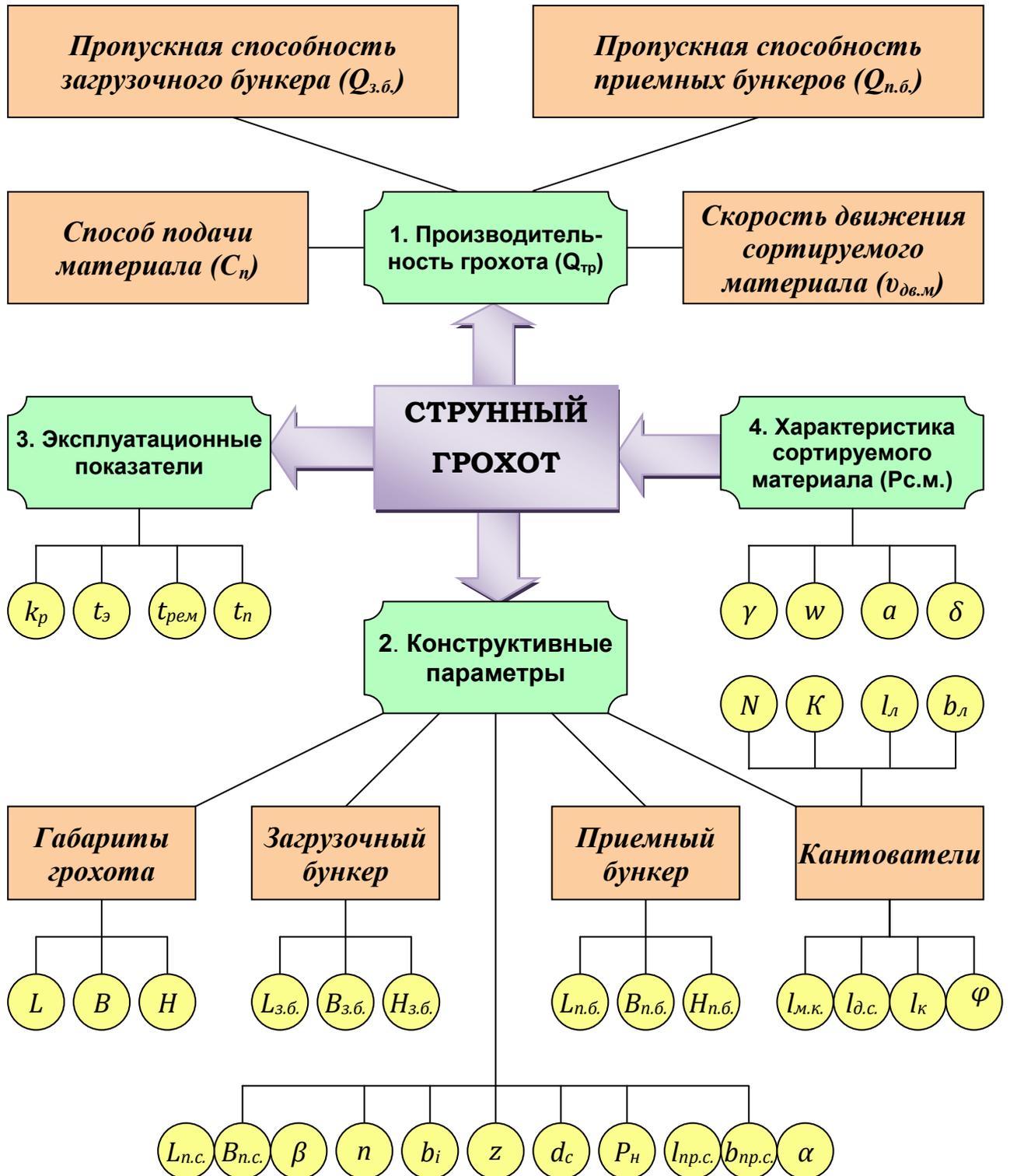


Рисунок 2.5 – Схема параметров, влияющих на работу струнного грохота: $Q_{гр}$ – требуемая производительность, $m^3/ч$; $Q_{з.б.}$, $Q_{п.б.}$ – пропускные способности загрузочного и приемных бункеров, $m^3/ч$; C_n – способ подачи сортируемого материала; $v_{дв.м.}$ – скорость движения горной массы по

рабочей поверхности грохота, м/с; $P_{с.м.}$ – характеристика сортируемого материала (γ – плотность, кг/м³; w – влажность, %; a – гранулометрический состав, мм; δ – абразивность, мг); k_p – коэффициент работы грохота; t_3 – время эксплуатации, ч; t_p – время, затрачиваемое на ремонт, ч; $t_{п.}$ – время простоя, ч; габариты грохота (L – длина, B – ширина, H – высота грохота), м; $L_{з.б.}$, $L_{п.б.}$ – длина загрузочного и приемных бункеров, м; $B_{з.б.}$, $B_{п.б.}$ – ширина загрузочного и приемных бункеров, м; $H_{з.б.}$, $H_{п.б.}$ – высота загрузочного и приемных бункеров, м; N – количество кантователей, шт; K – количество лопаток кантователя, шт; l_l – длина лопатки кантователя, м; b_l – ширина лопатки кантователя, м; $l_{м.в.}$ – расстояние между кантователями по длине просеивающей секции, м; $l_{д.с.}$ – расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции, м; l_b – величина выступа лопатки кантователя над просеивающей секцией, м; $L_{п.с.}$, $B_{п.с.}$ – соответственно, длина и ширина передней стенки, м; β – угол наклона передней стенки, град; n – количество просеивающих секций, шт; b_i – расстояние между струнами, м; z – количество канатов на просеивающей секции, шт; d_c – диаметр струн, м; P_n – натяжное усилие струн, Н; $l_{пр.с.}$, $b_{пр.с.}$ – соответственно, длина и ширина просеивающей секции, м; α – угол наклона просеивающей секции, град.

Основными параметрами струнного грохота являются:

- пропускная способность загрузочного бункера Q_b , м³/ч;
- габариты грохота (L – длина, B – ширина, H – высота), м;
- длина передней стенки $L_{п.с.}$, м;
- ширина передней стенки $B_{п.с.}$, м;
- угол наклона передней стенки грохота β , град;
- длина просеивающей секции $l_{пр.с.}$, м;
- ширина просеивающей секции $b_{пр.с.}$, м;
- угол наклона струн просеивающих секций α , град;
- диаметр струн (прутков) d_c , м;
- натяжное усилие струн P_n , Н;
- количество рядов кантователей N на просеивающей секции, шт;
- количество лопаток кантователя K , шт;
- длина лопатки кантователя l_l , м;
- расстояние между кантователями по длине просеивающей секции $l_{м.к.}$, м;
- расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции $l_{д.с.}$, м;

– величина выступа лопатки кантователя над просеивающей секцией l_k , м.

Выбранные параметры струнного грохота позволяют перейти к построению математической модели работы грохота.

2.3. Разработка математической модели работы струнного грохота

Математическая модель расчета параметров струнного грохота будет складываться из определения пропускной способности загрузочного бункера, параметров передней стенки грохота, конструктивных параметров канатного поля, конструктивных параметров кантователей, параметров просеивающих секций струнного грохота, а также определения диаметра струн (канатов) просеивающих секций и усилия их натяжения.

2.3.1. Определение пропускной способности загрузочного бункера

В качестве загрузочного устройства струнного грохота используется бункер. Производительность бункера – это его пропускная способность, которая зависит от габаритных размеров и может регулироваться путем увеличения или уменьшения выпускного окна [44, 45]:

$$Q_6 = 3600 \cdot v_{и} \cdot S, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.1)$$

где Q_6 – пропускная способность бункера, $\text{м}^3/\text{ч}$; $v_{и}$ – скорость истечения насыпного груза из бункера, $\text{м}/\text{с}$; S – площадь выпускного окна, м^2 .

Скорость истечения насыпного груза из бункера определяется по формуле [45, 46]:

$$v_{и} = \varepsilon \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R_r}, \text{ м}/\text{с}, \quad (2.2)$$

где ε – коэффициент истечения, (для угля $\varepsilon = 0,5 - 0,6$); R_r – гидравлический радиус выпускного отверстия, м.

$$R_{\Gamma} = \frac{S}{P_0}, \text{ м}, \quad (2.3)$$

где P_0 – периметр выпускного отверстия бункера, м.

Для подачи угля на канатное поле можно использовать бункер с прямоугольным или квадратным выходным сечением (рисунок 2.6).

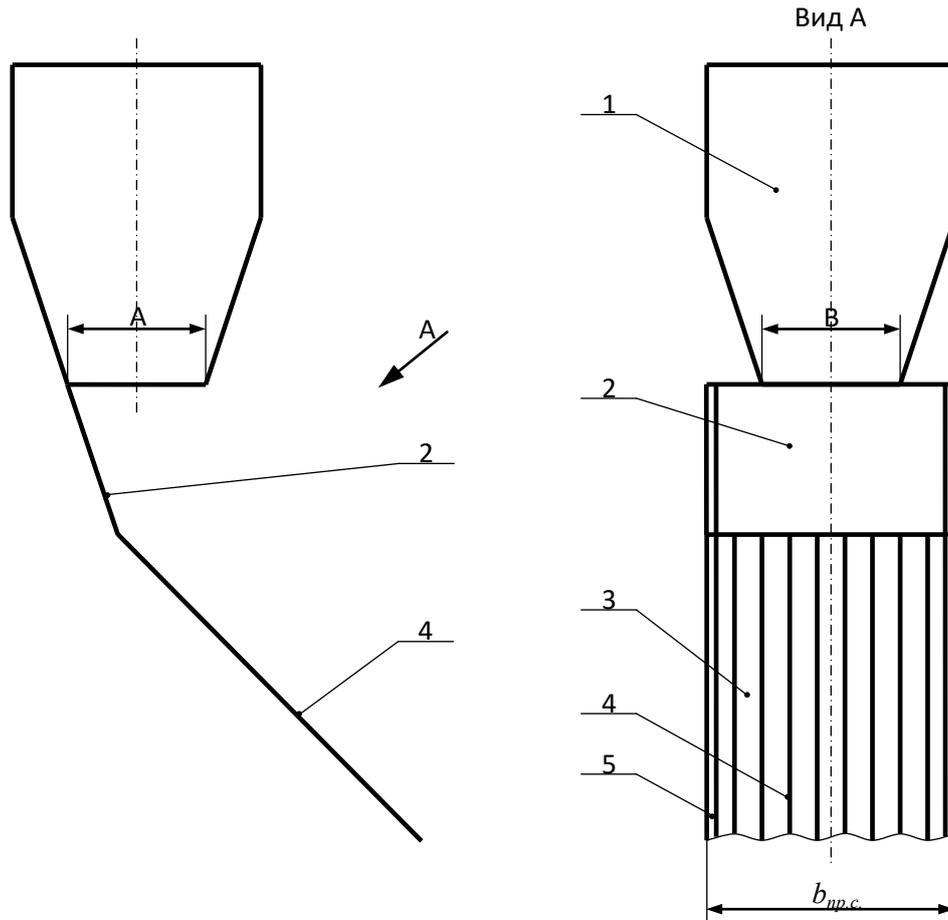


Рисунок 2.6 – Загрузочный бункер: 1 – бункер; 2 – передняя стенка; 3 – просеивающая секция; 4 – канат; 5 – борт; А – длина выпускного отверстия; В – ширина выпускного отверстия; $b_{пр.с.}$ – ширина просеивающей секции

Гидравлический радиус выпускных отверстий бункера определяют по следующим формулам [46, 47]:

– для прямоугольного отверстия:

$$R_{\Gamma} = \frac{(A - a') \cdot (B - a')}{2(A + B - 2a')}, \quad (2.4)$$

– для квадратного отверстия:

$$R_{\Gamma} = \frac{A - a'}{4}, \quad (2.5)$$

где A – длина отверстия, мм; B – ширина отверстия, мм; a' – средний размер куска, мм.

Как видно из формулы (2.1), основными параметрами, оказывающими влияние на пропускную способность бункера, являются: площадь выпускного отверстия S и скорость истечения насыпного груза из бункера $v_{и}$. Таким образом, регулируя размер выходного отверстия, достигаем требуемого объема подачи материала на грохот, и дальнейший расчет производительности грохота производится, исходя из максимальной пропускной возможности бункера.

При проектировании загрузочного бункера необходимо, чтобы ширина выпускного отверстия была меньше ширины канатного поля, т. е. должно соблюдаться условие:

$$B_{\Gamma} \leq (0,75 \div 0,85) \cdot B_{кп}, \quad (2.6)$$

где B_{Γ} – ширина отверстия бункера, м; $B_{кп}$ – ширина канатного поля, м.

Для расчета наименьшего допустимого размера выпускного отверстия используем следующие формулы [46, 47, 48]:

– при квадратном отверстии:

$$B = k' \cdot (a' + 80) \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.7)$$

– при прямоугольном отверстии:

$$B = \frac{1 + n_a}{2 \cdot n_a} k' \cdot (a' + 80) \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.8)$$

где k' – опытный коэффициент (для сортированных углей $k' = 2,6$; для рядовых углей $k' = 2,4$); a' – наибольший размер куска, мм; φ – угол естественного откоса, град (для угля $\varphi = 35 - 45^\circ$); n_a – соотношение сторон (большой к меньшей).

При этом наименьший размер выпускного окна должен быть в 2 – 3 раза больше максимального размера куска угля, то есть должно соблюдаться условие [49]:

$$S_{\min} = (2 \div 3) \cdot a_{\max}, \quad (2.9)$$

Массу рядового угля, поступающую на просеивающую поверхность при полном опорожнении бункера, рассчитаем по формуле:

$$M = V \cdot \gamma, \text{ кг}, \quad (2.10)$$

где V – объем бункера, м^3 ; γ – объемная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Объем бункера зависит от его формы. Объем квадратного бункера определяется по формуле [45, 46, 50]:

$$V_6 = \frac{H}{3} \cdot (A^2 + A_b^2 + AA_b), \text{ м}^3, \quad (2.11)$$

где H – высота бункера, м; A – размер выпускного отверстия, м; A_b – размер загрузочного отверстия, м.

Масса угля, поступившего на грохот, будет разделена на каждом канатном поле, а также попадет в бункер подрешетного материала. Таким образом:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_{\text{ПМ}}, \quad (2.12)$$

где m_1, m_2, m_3 – масса, задержанная, соответственно, первым, вторым и третьим сортировочным полем, кг; $m_{\text{ПМ}}$ – масса подрешетного материала, кг.

Гранулометрический состав поступающего рядового угля зависит от типа добывающего оборудования. При зачерпывании угля экскаваторами циклического действия или фронтальными погрузчиками размеры кусков достаточно велики и требуют дробления перед сортировкой. Экскаваторы непрерывного действия подают уголь более мелкого гранулометрического состава.

Основные требования, предъявляемые к загрузочному бункеру:

- равномерное поступление угля по всей длине канатного поля;
- отсутствие торможения частиц груза на наклонных стенках бункера;
- обеспечение требуемой производительности по выдаче груза из бункера;
- приемные бункера устанавливаются таким образом, чтобы сортированный уголь попадал именно в бункер определенной фракции.

2.3.2. Обоснование параметров передней стенки грохота

К конструктивным параметрам передней стенки струнного грохота относятся:

- ширина передней стенки $B_{п.с.}$, мм;
- длина передней стенки $L_{п.с.}$, мм;
- угол наклона передней стенки β , град.

Ширина передней стенки грохота $B_{п.с.}$ (рисунок 2.1) определяется, исходя из ширины загрузочного бункера $B_{з.б.}$, что видно из рисунка 2.6.

Длина передней стенки грохота $L_{п.с.}$ зависит от количества просеивающих секций n (рисунок 2.1), и влияет на величину движущей силы, которую необходимо набрать куску угля, для осуществления вращения кантователя $F_{д.об.}$ (рисунок 2.7).

Как видно из рисунка 2.1, передняя стенка 3 располагается под углом β , который влияет на скорость движения сортируемого материала по канатному полю и, соответственно, на величину силы $F_{д.}$, необходимой для вращения кантователей. Угол установки передней стенки β зависит от свойств сортируемого материала. Пределы изменения угла наклона $\beta = 50 - 89^\circ$.

При необходимости увеличения скорости движения материала по канатному полю угол наклона передней стенки необходимо увеличить или уменьшить, если требуется снижение скорости.

С боковых сторон передняя стенка снабжена бортом (позиция 2, рис. 2.1) для предотвращения просыпания сортируемого материала. Высота борта H_6 не

должна превышать высоты двух кусков угля максимального гранулометрического состава просеивающей секции, т.е. $H_6 \leq 2 \cdot h_k$, где h_k – высота куска сортируемого материала (угля), мм.

В общем случае параметры передней стенки зависят от требуемой производительности грохота $Q_{тр}$.

2.3.3. Рассмотрение конструктивных параметров канатного поля

На струнном грохоте для рассортировки угля используется гравитационный метод. При этом рядовой уголь из приемного бункера под действием силы тяжести попадает на наклонную стенку, скользит и перекачивается по ней (рисунок 2.7). Для удобства рассмотрим отдельный кусок угля при его нахождении на рабочих поверхностях струнного грохота.

Кусок угля l массой m_1 из бункера поступает на переднюю наклонную стенку грохота 2 (участок I) (рисунок. 2.8), располагаемой под углом β к горизонту ($\beta = 50 - 89^\circ$). Движущая сила, на наклонной стенке длиной $l_{н.с.}$ струнного грохота будет равна [51]:

$$F_{L,Длн.с.} = m_1 \cdot g(\sin\beta - k_{тр.н.с.} \cdot \cos\beta), \text{ Н} \quad (2.13)$$

где $g(\sin\beta - k_{тр.н.с.} \cdot \cos\beta)$ – ускорение, набранное куском угля на наклонной стенке (участок I) длиной $l_{н.с.}$, м/с; $k_{тр.н.с.}$ – коэффициент трения угля по стали наклонной стенки (постоянная величина при скольжении куска угля $F_{тр} = k_{тр} \cdot mg \cos\beta$) (участок I).

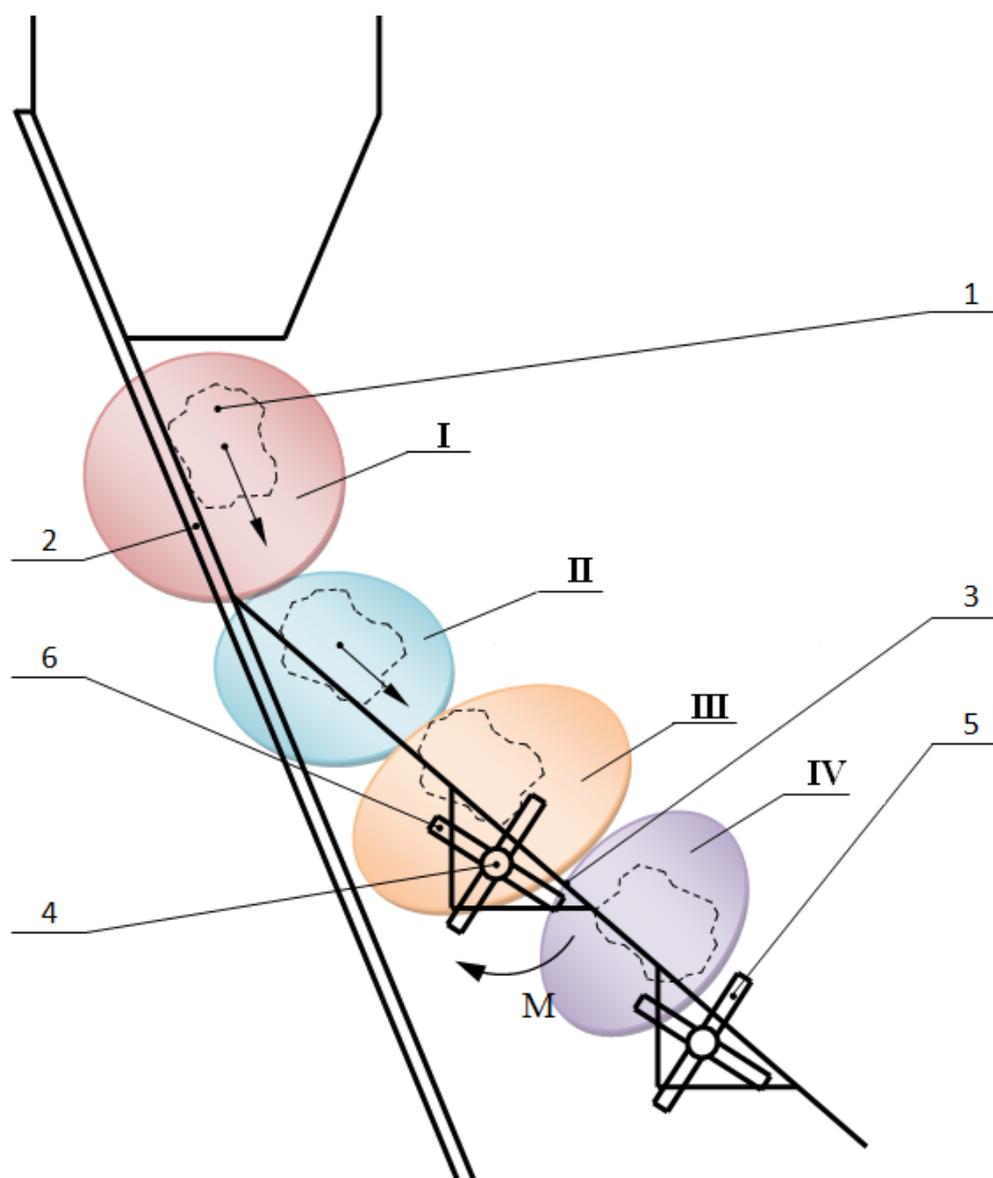


Рисунок 2.7 – Схема движения куска угля по элементам струнного грохота:

1 – кусок угля определенной фракции; 2 – передняя наклонная стенка; 3 – канатное поле;
 4 – кантователь; 5 – передняя лопатка кантователя; 6 – задняя (восходящая) лопатка кантователя; I – участок движения кусочка угля по наклонной стенке; II – участок движения кусочка угля по первой просеивающей секции; III – давление кусочка угля на лопатку кантователя;
 IV – переворот кусочка угля восходящей лопаткой кантователя и укладка его на просеивающую секцию

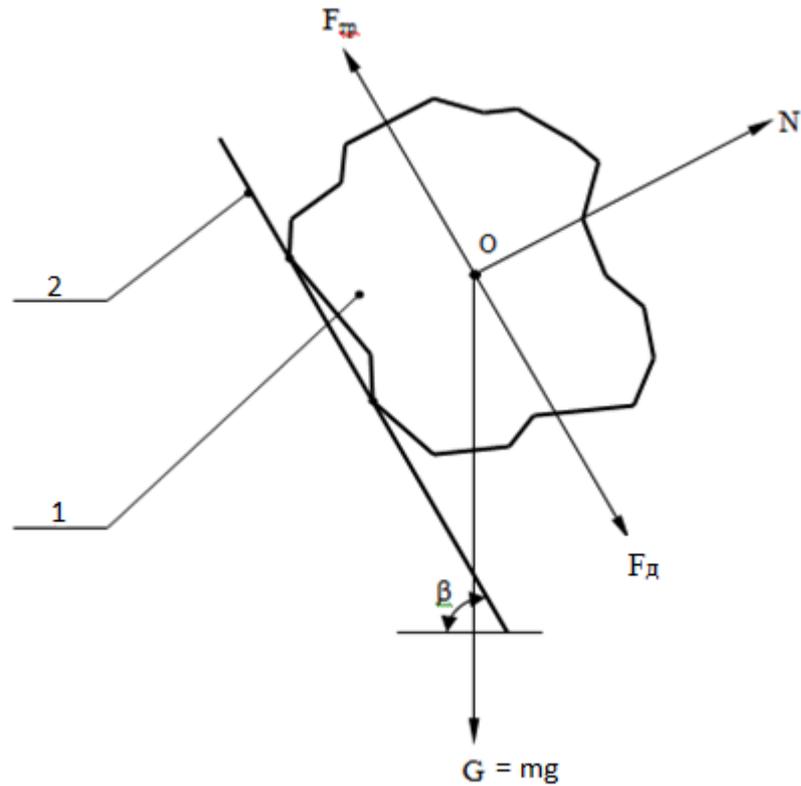


Рисунок 2.8 – Движение куска угля по наклонной стенке от бункера до канатного поля (участок I): 1 – кусок угля; 2 – передняя наклонная стенка; (обозначения: O – центр тяжести куска угля; N – нормальная сила (сила реакции опоры); $F_{тр}$ – сила трения; $F_{д}$ – движущая сила; G – сила тяжести)

После прохождения передней наклонной стенки тот же кусок угля массой m_1 попадает на первую просеивающую секцию (участок II) с углом наклона α (рисунок 2.9) к горизонту ($\alpha = 35 - 49^\circ$). Движущая сила, набранная куском угля на 1 просеивающей секции длиной l_1 до контакта с лопаткой кантователя, будет равна:

$$F_{II,дл.} = m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha), Н \quad (2.14)$$

где $g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha)$ – ускорение, набранное куском угля на II участке первой просеивающей секции, $м/с^2$; $k_{тр.1}$ – коэффициент трения угля по струнам первой просеивающей секции.

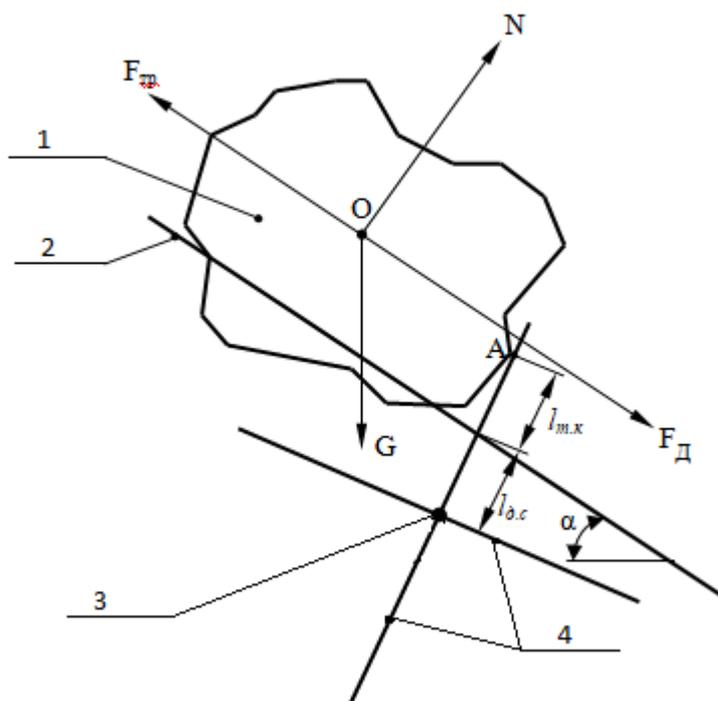


Рисунок 2.9 – Движение куска угля по канатному полю до встречи с кантователем (участок II): 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – ось кантователя; 4 – лопатки кантователя; (обозначения: А – точка касания кусочка угля с кантователем; $l_{д.с.}$ - расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции; $l_{т.к.}$ – расстояние от просеивающей секции до точки касания А куска с лопаткой кантователя)

Общая движущая сила, набранная куском угля на двух участках (I и II) первой просеивающей секции составит:

$$F_{Д.об.1} = F_{IД-1} + F_{IIД-1},$$

используя формулы 2.13, 2.14 получим:

$$F_{(I+II)Д.об.1} = (m_1 \cdot g(\sin \beta - k_{тр.н.с.} \cdot \cos \beta)) + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha)) \quad (2.15)$$

Далее на первой просеивающей секции движение куска угля продолжается по III, IV и ...*i*-му участкам. Соответственно, общая движущая сила, набранная куском на первой просеивающей секции, определится как

$$F_{Д.об.1} = F_{IД} + F_{IIД} + F_{IIIД} + F_{IVД} + F_{iД} \quad (2.16)$$

Распишем:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{Д.об.1}} = & (m_1 \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.1н.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-1} + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1}} \cdot \cos \alpha))_{I-1I} + \\
 & + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1}} \cdot \cos \alpha))_{III-1} + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1}} \cdot \cos \alpha))_{IV-1} + \\
 & + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1}} \cdot \cos \alpha))_{i-1}
 \end{aligned} \tag{2.17}*$$

где m_1 - масса куска угля на первой просеивающей секции, кг;
 $g(\sin \beta - k_{\text{тр.н.с.}} \cdot \cos \beta)_{I-1}$ - ускорение, набранное куском угля на передней наклонной стенке (участок I) длиной $l_{\text{н.с.}}$; $g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1}} \cdot \cos \alpha)$ - ускорение, набранное куском угля на II, III, IV... i - ом участке первой просеивающей секции, соответственно, m/c^2 ; $k_{\text{тр.1н.с.}}$ - коэффициент трения угля по наклонной стенке; β - угол наклона передней стенки, град; $k_{\text{тр.1}}$ - коэффициент трения угля по струнам канатного поля (1 просеивающая секция); α - угол наклона просеивающей секции, град.

Струнный грохот (рис. 2.1) имеет в своей конструкции количество просеивающих секций n , которое задается заказчиком при проектировании.

Аналогично определяется движущая сила, набранная куском угля на 2, 3 и n -ой просеивающей секции:

$$\left. \begin{aligned}
 F_{\text{Д.об.2}} = & (m_2 \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.2н.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-2} + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{II-2} + \\
 & + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{III-2} + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{IV-2} + \\
 & + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{i-2} \\
 F_{\text{Д.об.3}} = & (m_3 \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.3н.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-3} + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{II-3} + \\
 & + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{III-3} + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{IV-3} + \\
 & + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{i-3} \\
 F_{\text{Д.об.n}} = & (m_n \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.n-н.с.}} \cdot \cos \beta))_{In} + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{II_n} + \\
 & + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{III_n} + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{IV_n} + \\
 & + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{i_n}
 \end{aligned} \right\} \tag{2.18}*$$

*Примечание: индекс I - номер участка на просеивающей секции грохота (соответственно I, II, III, IV, i - ый участок); индекс 1, 2, 3... n - номер просеивающей секции грохота.

Далее по ходу движения кусок угля встречается с кантователем (рисунок 2.10), при этом он своей передней частью соприкасается с его лопаткой 4 и начинает ее вращать за счет набранной движущей силы $F_{Д.об}$.

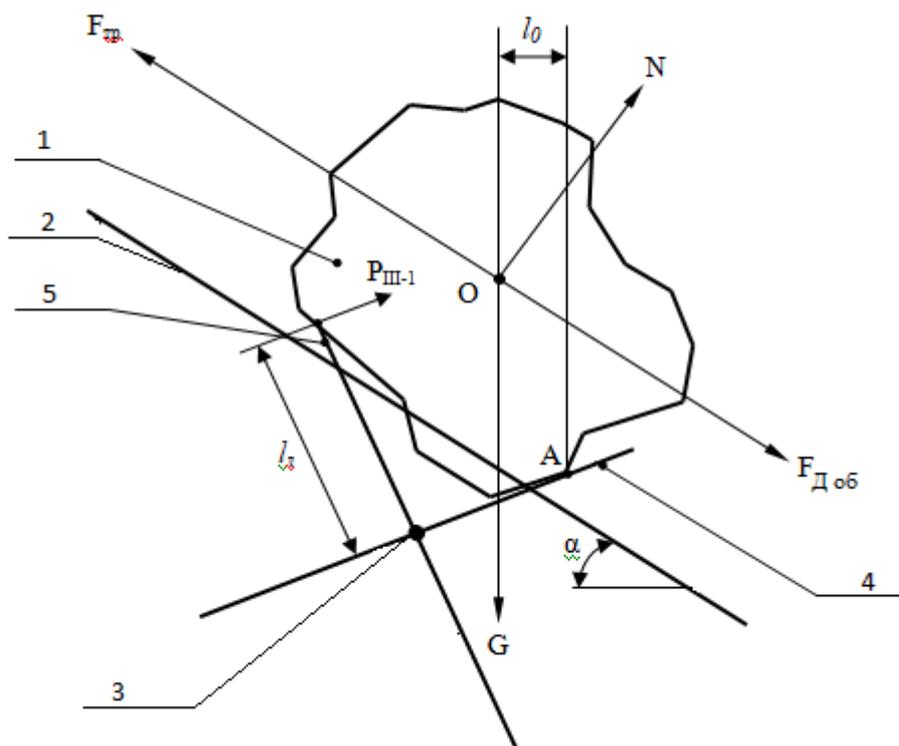


Рисунок 2.10 – Движение куска угля по канатному полю в момент встречи его с передней лопаткой кантователя (участок III – положение 1): 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – ось кантователя; 4 – передняя лопатка кантователя; 5 – задняя (восходящая) лопатка кантователя; (обозначения: А – точка касания кусочка угля с кантователем; $l_{л}$ – длина лопатки кантователя; l_0 – расстояние от центра тяжести куска угля О до точки касания А куска с лопаткой кантователя; P_{III-1} – сила поднимающая кусок угля: индекс III – номер участка на просеивающей секции, 1 – номер положения кусочка на данном участке)

При вращении задняя (восходящая) лопатка кантователя 5 (рисунок. 2.10, положение 1 на участке III) упирается в тыльную часть скользящего куска угля и с силой P_{III-1} начинает его поднимать (рисунок. 2.10, положение 1 на участке III).

На рисунке 2.11 показано неустойчивое положение куска угля (участок III - положение 2), когда центр тяжести куска угля массой m совпадает по вертикали с точкой A касания передней части куска угля с лопаткой кантователя.

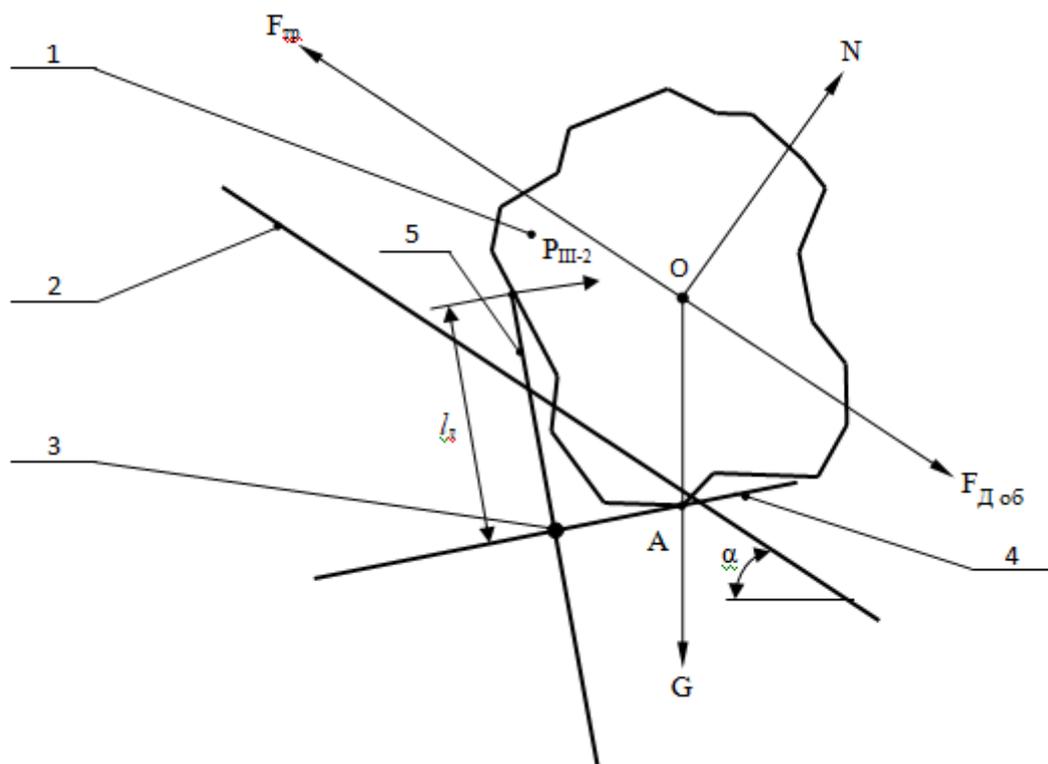


Рисунок 2.11 – Движение куска угля по канатному полю в момент неустойчивого его положения при переворачивании (участок III - положение 2): 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – ось кантователя; 4 – передняя лопатка кантователя; 5 – задняя (восходящая) лопатка кантователя

Далее кусок угля под действием поднимающей силы P_{III-3} , преодолевает неустойчивое положение. Вследствие чего, центр тяжести куска угля точка O смещается по вертикали относительно точки касания (опоры A) кусочка с передней лопаткой кантователя 4 с образованием расстояния (плеча) l_2 , а следовательно и момента M . Кусок угля при этом находится в начальной стадии переворота (рисунок 2.12, участок III - положение 3).

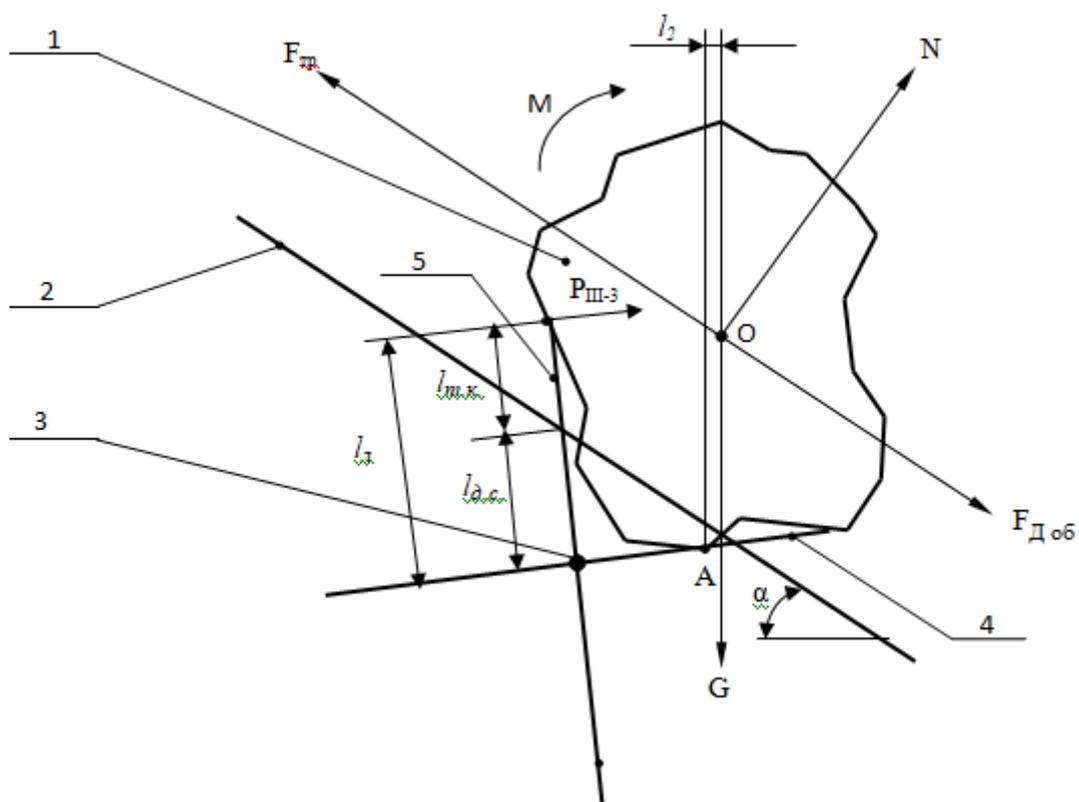


Рисунок 2.12 – Движение куска угля по канатному полю при начальном смещении центра тяжести точки О относительно опоры точки А (участок III - положение 3): 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – ось кантователя; 4 – передняя лопатка кантователя; 5 – задняя (восходящая) лопатка кантователя

Крутящий момент M определится по формуле:

$$M = F_{Д.об.} \cdot l_{л}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.19)$$

где $l_{л}$ – длина лопатки кантователя.

$$l_{л} = l_{д.с.} + l_{т.к.}, \text{ м}, \quad (2.20)$$

где $l_{д.с.}$ - расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции, м; $l_{т.к.}$ – расстояние от просеивающей секции до точки касания куска с лопаткой кантователя, м.

Сила $P_{ш-з}$ поднимающая тыльную часть куска угля, равна:

$$P_{ш-з} = \frac{M}{l_{л}}, \text{ Н} \quad (2.21)$$

где l_l – длина лопатки кантователя, м; M – крутящий момент, Н·м.

При смещении по вертикали центра тяжести куска угля O за точку опоры A (рисунок 2.13) возникает плечо l_3 , которое вместе с силой тяжести куска G переворачивает кусок угля, стряхивая с него более мелкую фракцию, т.е:

$$M_{\text{пер.}} = G \cdot l_3, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.22)$$

где G – сила тяжести.

$$G = m \cdot g, \text{ Н}, \quad (2.23)$$

где m – масса куска, кг; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

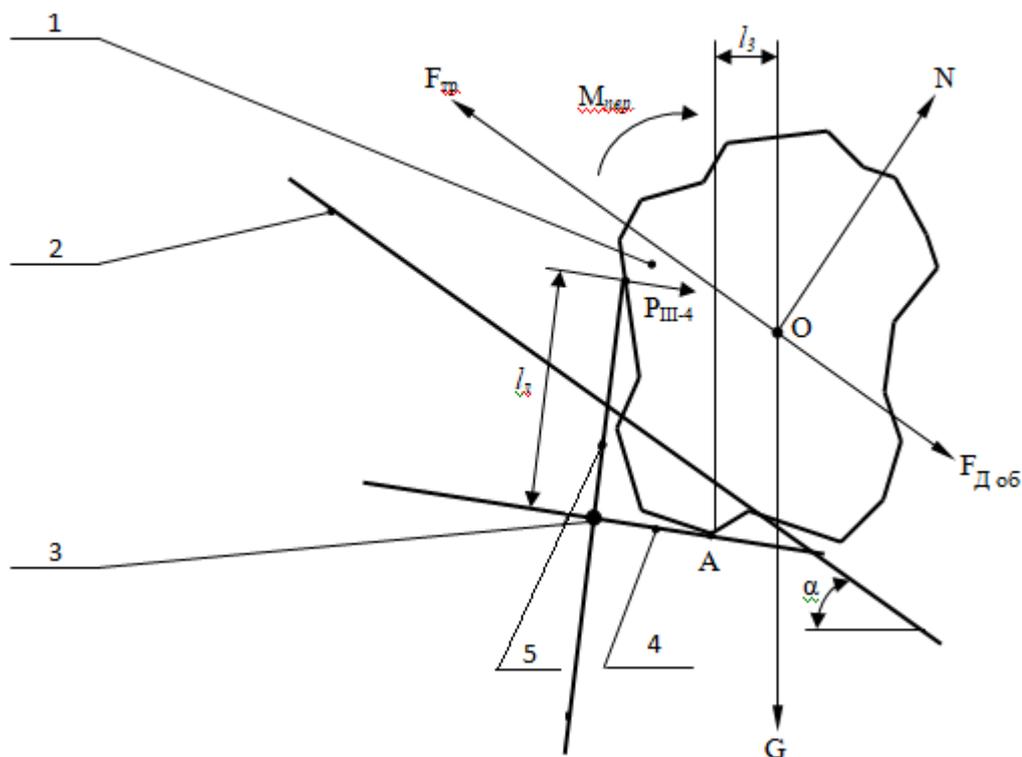


Рисунок 2.13 – Движение куска угля по канатному полю при дальнейшем смещении центра тяжести точки O относительно опоры точки A (участок III - положение 4):

1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – ось кантователя;

4 – передняя лопатка кантователя; 5 – задняя (восходящая) лопатка кантователя

При движении куска угля по наклонной стенке длиной $l_{1н.с.}$, струнного грохота, движущей силой $F_{I Д.1н.с.}$ (формула 2.13) совершается механическая работа, которая определится по формуле:

$$A_{Д.н.с} = F_{I Д.1н.с.} \cdot l_{1н.с.}, \text{ Дж} \quad (2.24)$$

Тогда, механическая работа, совершаемая движущей силой $F_{I Д.1}$ (формула 2.14) на первой просеивающей секции длиной l_1 , составит:

$$A_{Д.1} = F_{I Д.1} \cdot l_1, \text{ Дж.} \quad (2.25)$$

Общая механическая работа, совершаемая движущей силой на первой просеивающей секции, составит:

$$A_{Д.об.1} = A_{Д.н.с} + A_{I Д.1} + A_{II Д.2} + A_{III Д.3} + A_{IV Д.4} \quad (2.26)$$

Тогда, используя формулы 2.16, 2.17 работа совершаемая движущей силой на первой просеивающей секции будет иметь вид:

$$\begin{aligned} A_{Д.об.1} = & (m_1 \cdot g(\sin \beta - k_{тр.1н.с.} \cdot \cos \beta))_{I-1} \cdot l_{1н.с.} + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha))_{II-1} \cdot l_{II-1} + \\ & + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha))_{III-1} \cdot l_{III-1} + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha))_{IV-1} \cdot l_{IV-1} + \\ & + (m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1} \cdot \cos \alpha))_{i-1} \cdot l_{i-1}. \end{aligned} \quad (2.27)$$

где $l_{1н.с.}$ – длина передней наклонной стенки на первой просеивающей секции, м;
 l_{II-1} , l_{III-1} , l_{IV-1} , l_{i-1} – длина II, III, IV...i – го участка первой просеивающей секции, соответственно, м.

Аналогично, будет определена работа на 2, 3, n-ой просеивающих секциях:

$$\left. \begin{aligned}
 A_{\text{д.об.2}} &= (m_2 \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.2н.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-2} \cdot l_{2\text{н.с.}} + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{II-2} \cdot l_{II2} + \\
 &+ (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{III-2} \cdot l_{III-2} + (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{IV-2} \cdot l_{IV-2} + \\
 &+ (m_2 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2}} \cdot \cos \alpha))_{i-2} \cdot l_{i-2}. \\
 \\
 A_{\text{д.об.3}} &= (m_3 \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.3н.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-3} \cdot l_{3\text{н.с.}} + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{II-3} \cdot l_{II3} + \\
 &+ (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{III-3} \cdot l_{III-3} + (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{IV-3} \cdot l_{IV-3} + \\
 &+ (m_3 \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3}} \cdot \cos \alpha))_{i-3} \cdot l_{i-3}. \\
 \\
 A_{\text{д.об.n}} &= (m_n \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.nн.с.}} \cdot \cos \beta))_{I-n} \cdot l_{n\text{н.с.}} + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{II-n} \cdot l_{IIн} + \\
 &+ (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{III-n} \cdot l_{III-n} + (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{IV-n} \cdot l_{IV-n} + \\
 &+ (m_n \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.n}} \cdot \cos \alpha))_{i-n} \cdot l_{i-n}.
 \end{aligned} \right\} (2.28)*$$

*Примечание: индекс I – номер участка на просеивающей секции грохота (соответственно I, II, III, IV, i – i -ый участок); индекс 1, 2, 3... n – номер просеивающей секции грохота.

Для расчета производительности струнного грохота необходимо определить скорости движения сортируемого материала по просеивающей поверхности в зависимости от изменения углов наклона просеивающей секции и передней стенки за эталон принимаем 1 м^3 угля массой $m = 1,3 \text{ т}$ и плотностью $\gamma = 1,1 \text{ т/м}^3$. Тогда скорость движения сортируемого материала (угля) будет рассчитана:

$$V_{\text{дв.м.}} = m \cdot \gamma \cdot g \cdot \sin \alpha, \text{ м/с}, \quad (2.29)$$

где m – масса угля, т; γ – плотность угля, т/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; α – угол наклона просеивающей секции, град.

2.3.4. Обоснование конструктивных параметров кантователей

При рассмотрении конструкции струнного грохота одним из основных элементов являются кантователи, которые служат для переворачивания кусочка угля при сортировке, тем самым улучшая качество сортировки угля по крупности.

Для нахождения конструктивных параметров кантователей рассмотрим упрощенную схему движения куска угля по канатному полю в момент встречи его с кантователем, состоящим из разного количества лопаток (рисунки 2.14 – 2.17).

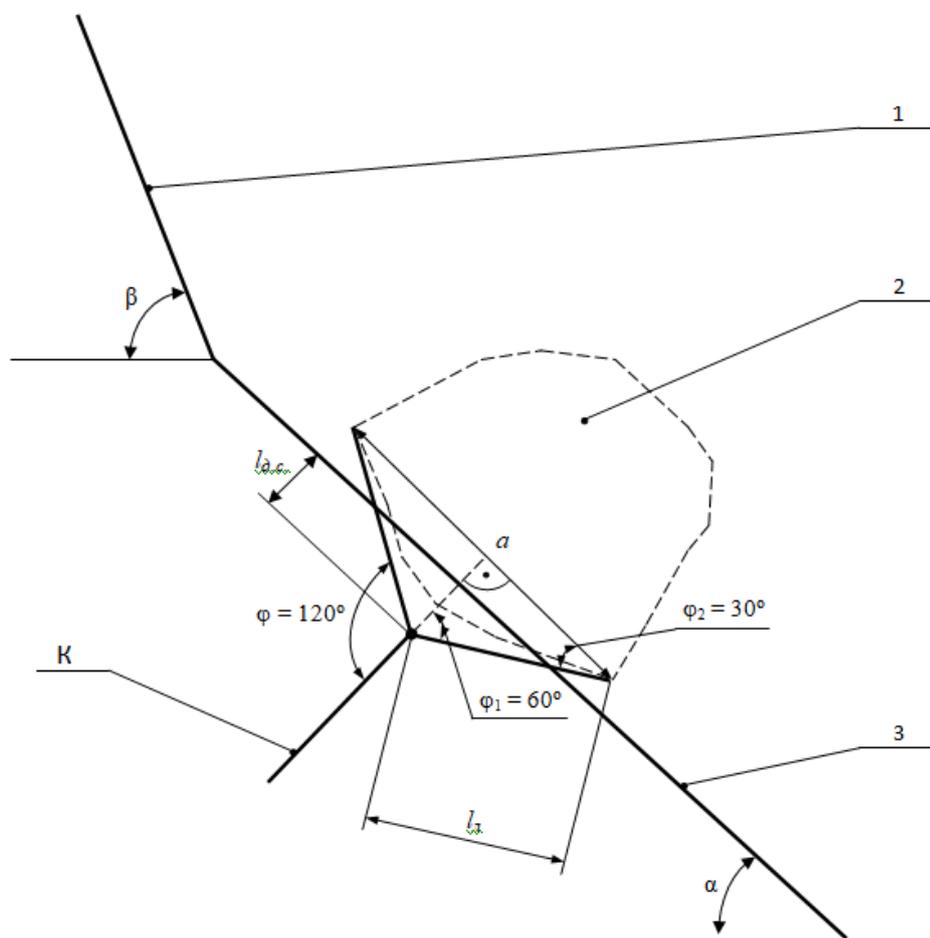


Рисунок 2.14 – Упрощенная схема движения куска угля по канатному полю при взаимодействии его с кантователем, имеющим три лопатки и углом между ними 120° :

1 – передняя стенка; 2 – кусок угля; 3 – струны просеивающей секции; a – размер фракции угля, мм; K – количество лопаток кантователя; $l_{d.c.}$ – расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции; l_l – длина лопатки кантователя; β – угол наклона передней стенки; α – угол наклона просеивающей секции

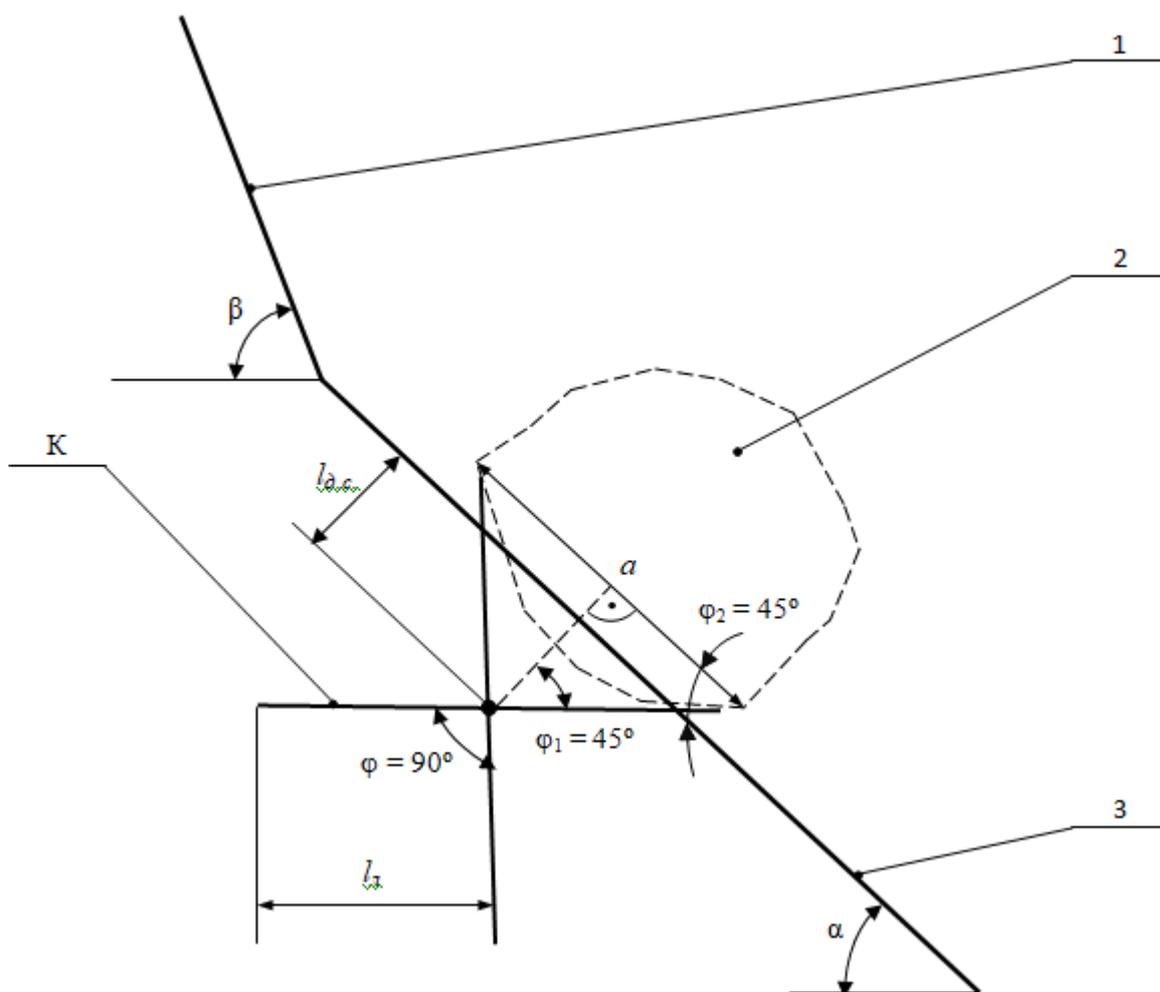


Рисунок 2.15 – Упрощенная схема движения куска угля по канатному полю при взаимодействии его с кантователем, имеющим 4 лопатки и углом между ними 90° :

1 – передняя стенка; 2 – кусок угля; 3 – струны просеивающей секции; a – размер фракции угля, мм; K – количество лопаток кантователя; $l_{d.c.}$ – расстояние от оси кантователя до струн просеивающей секции; l_n – длина лопатки кантователя; β – угол наклона передней стенки; α – угол наклона просеивающей секции

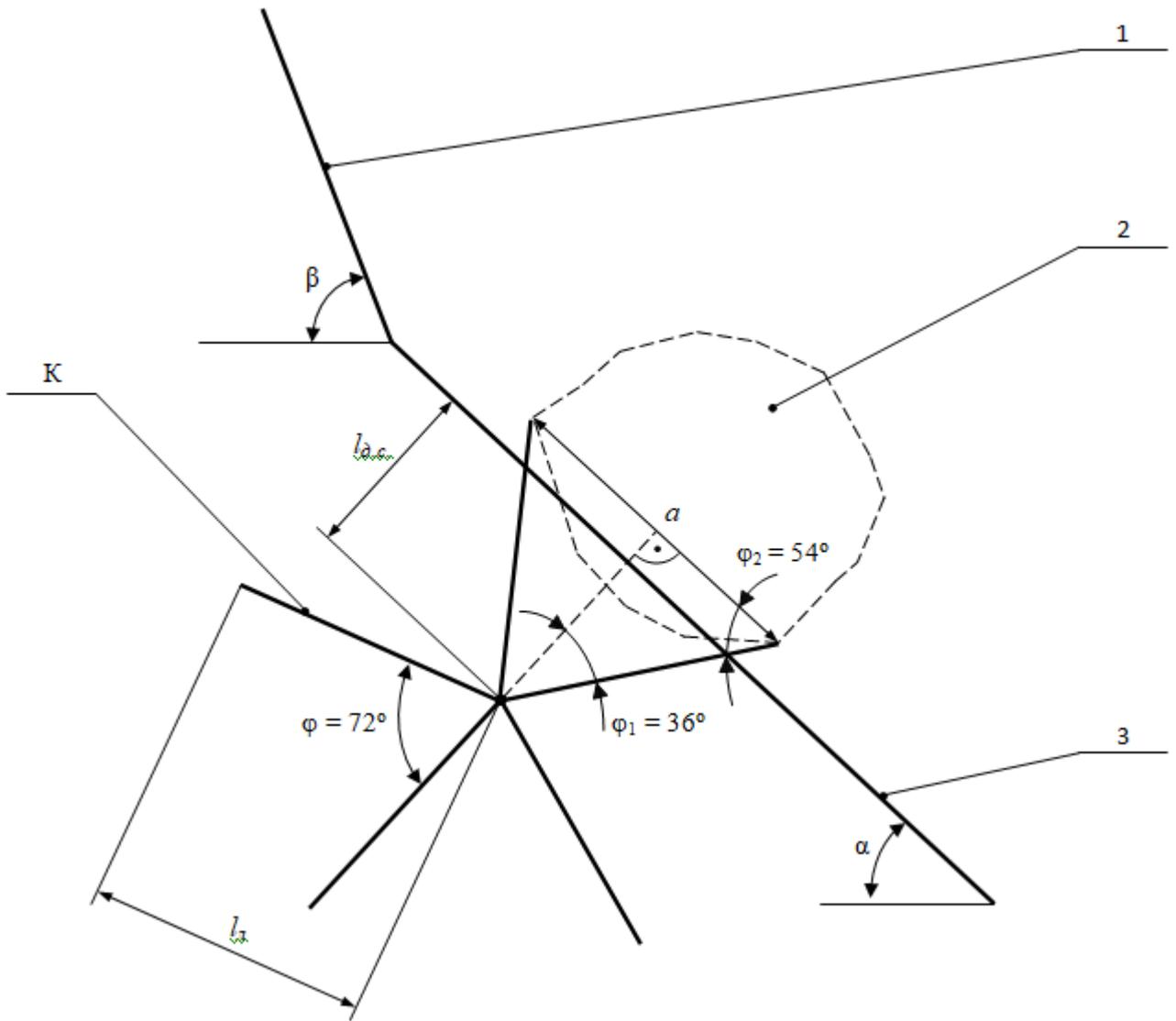


Рисунок 2.16 – Упрощенная схема движения куска угля по канатному полю при взаимодействии его с кантователем, имеющим 5 лопаток и углом между ними 72° :
 1 – передняя стенка; 2 – кусок угля; 3 – струны просеивающей секции; a – размер фракции угля, мм; K – количество лопаток кантователя

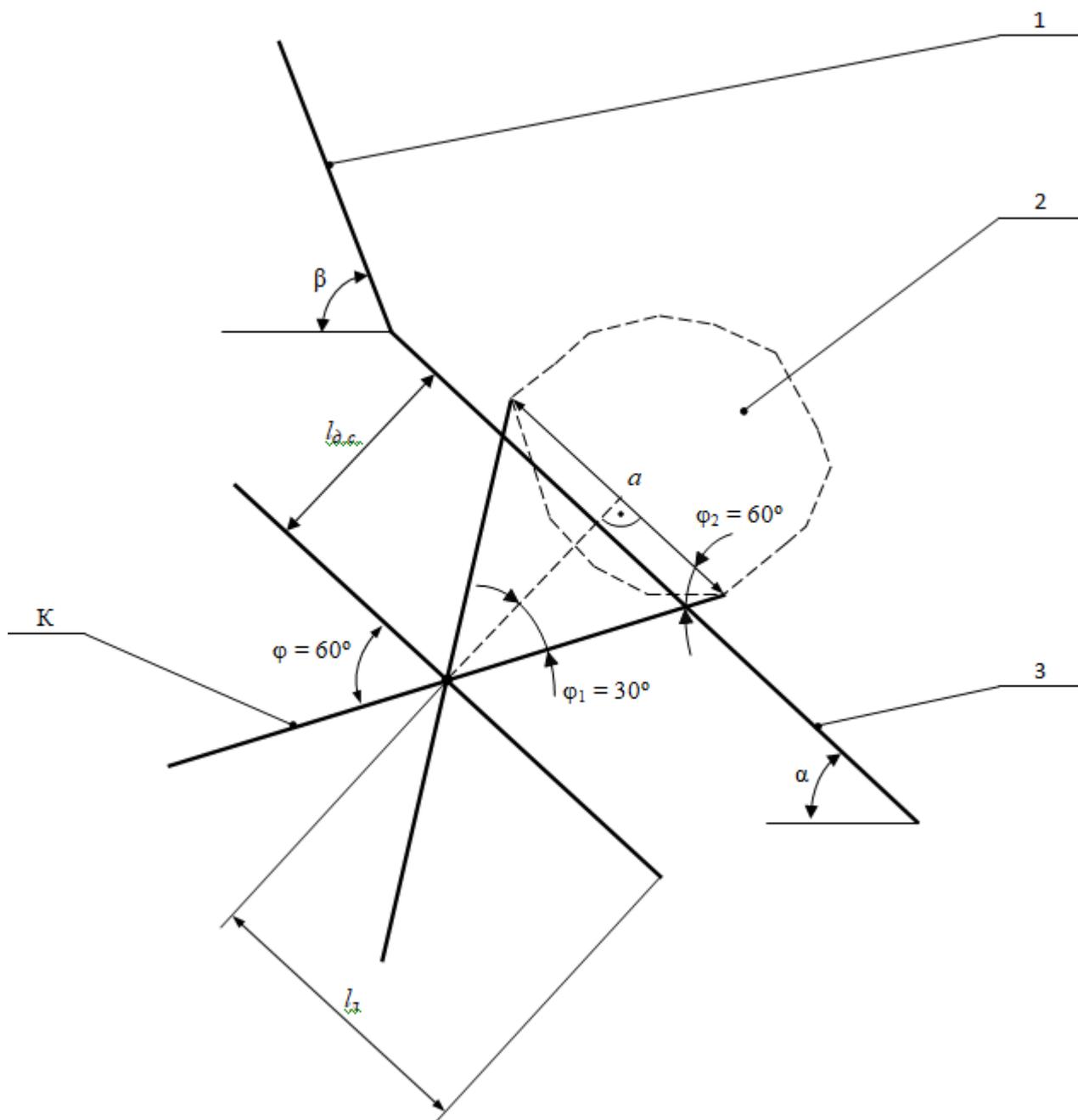


Рисунок 2.17 – Упрощенная схема движения куска угля по канатному полю при взаимодействии его с кантователем, имеющим 6 лопаток и углом между ними 60° :

1 – передняя стенка; 2 – кусок угля; 3 – струны просеивающей секции;
 a – размер фракции угля, мм; К – количество лопаток кантователя

Для определения длины лопатки кантователя l_l на упрощенной схеме движения куска угля отмечается размерная линия длины куска a , соединяющая 2 точки касания лопаток кантователя с куском угля (рисунки 2.14 – 2.17). К этой размерной линии из центра кантователя проводится перпендикуляр, который де-

лит угол между лопатками φ пополам (при количестве лопаток $K = 3$ угол $\varphi = 120^\circ$; при $K = 4$, $\varphi = 90^\circ$; при $K = 5$, $\varphi = 72^\circ$; при $K = 6$, $\varphi = 60^\circ$), а также делит пополам размерную линию. При этом образуется два равных прямоугольных треугольника. Тогда длина лопатки кантователя будет равна:

$$l_n = \frac{a/2}{\sin \varphi_1} = \frac{a/2}{\cos \varphi_2}. \quad (2.30)$$

Задачу расположения кантователя на определенном расстоянии от струн просеивающей секции рассмотрим на примере кантователя с 5-ю лопатками и решим ее графически (рисунки 2.18 – 2.20).

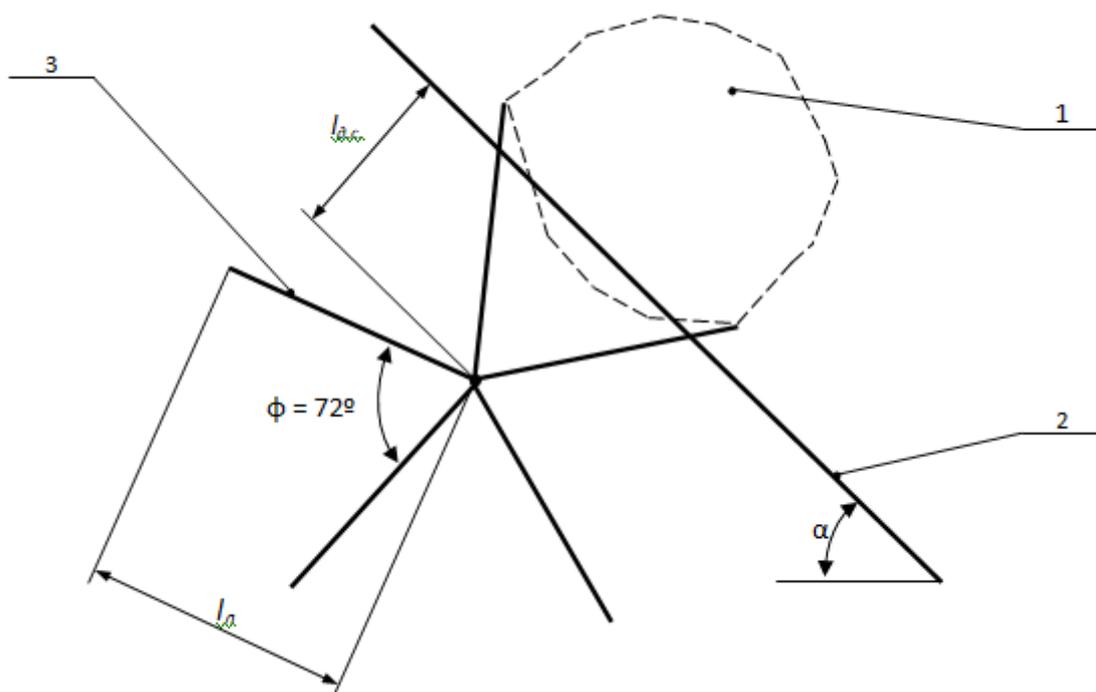


Рисунок 2.18 – Первое расположение кантователя по отношению к струнам просеивающей секции: 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – кантователь

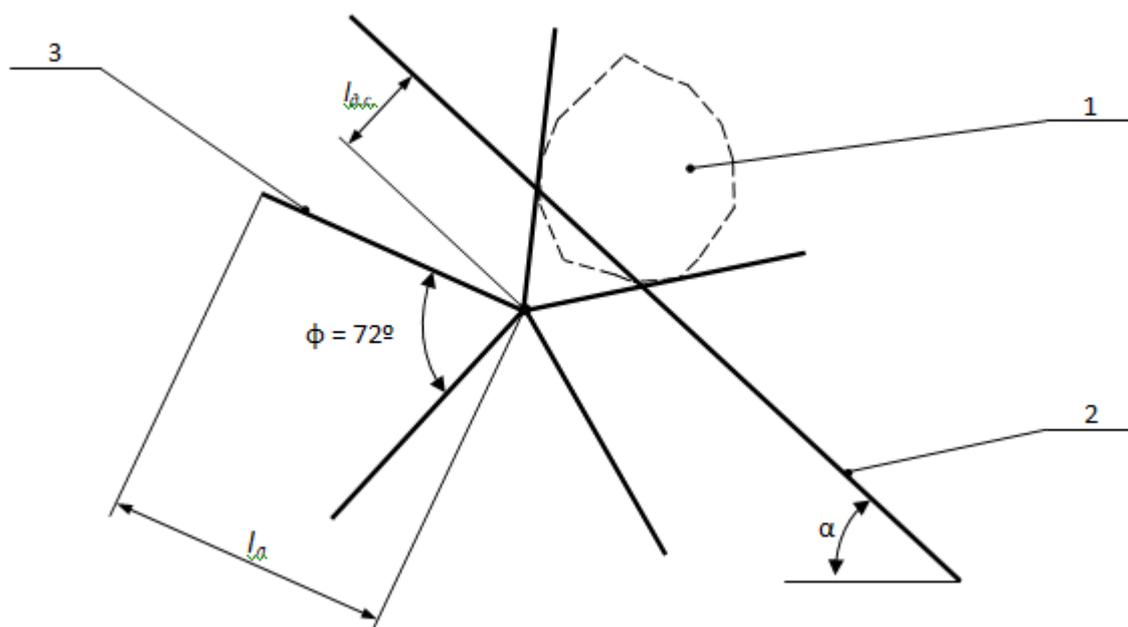


Рисунок 2.19 – Второе расположение кантователя по отношению к струнам просеивающей секции: 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – кантователь

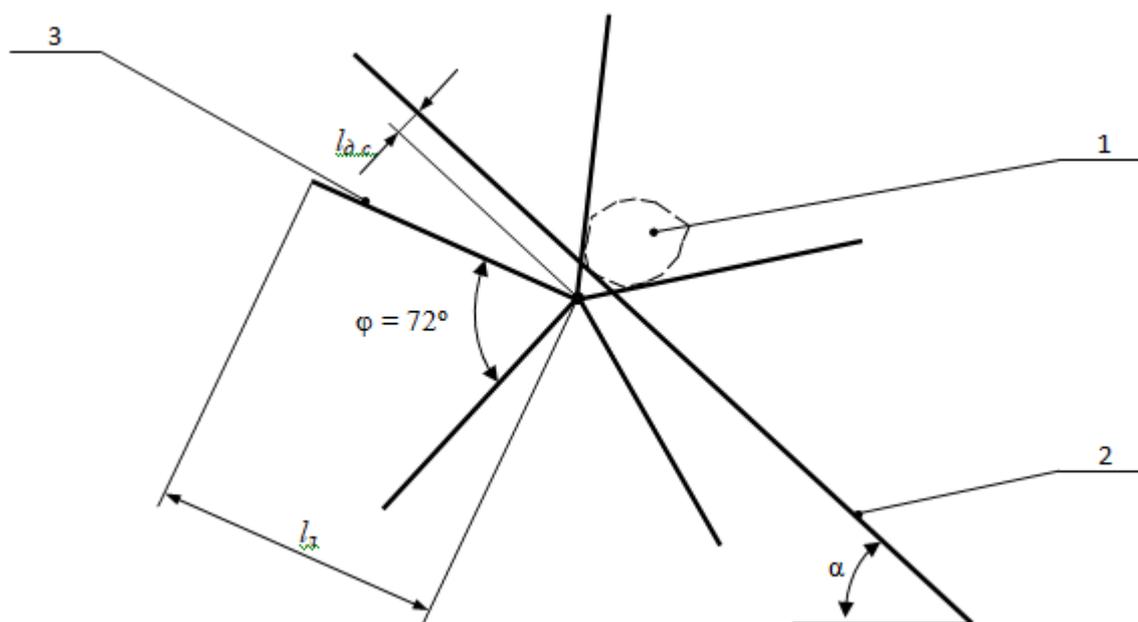


Рисунок 2.20 – Третье расположение кантователя по отношению к струнам просеивающей секции: 1 – кусок угля; 2 – струны просеивающей секции; 3 – кантователь

Таким образом, по графическому решению, можно сделать вывод о том, что, чем меньше сортируемая фракция, тем ближе к струнам просеивающей сек-

ции следует располагать кантователь и тем эффективнее будет процесс переворачивания кусков угля.

Следующим важным конструктивным параметром кантователей является ширина лопатки $B_{л}$, которая зависит от расстояния между струнами канатного поля b_i и зазора между струнами и кантователем Δ с двух сторон.

$$B_{л} = b_i - 2\Delta, \quad (2.31)$$

где b_i – расстояние между струнами, мм; Δ – зазор между кантователем и струнами, мм.

2.3.5. Рассмотрение параметров просеивающих секций струнного грохота

Струнный грохот состоит из просеивающих секций (рисунок 2.1), количество n которых определяется, исходя из задачи получения фракции сортируемого материала. Таким образом, на первой просеивающей секции остается уголь самой крупной фракции, и затем на каждой последующей секции фракция угля уменьшается.

Расстояние между просеивающими секциями s_i также зависит от крупности сортируемого материала, поэтому с уменьшением фракции на каждой последующей просеивающей секции расстояние между ними, соответственно, уменьшается.

Просеивающие секции состоят из струн, которые расположены на определенном расстоянии b_i , которое задается в зависимости от требований заказчика и определяется крупностью угля.

Крупность (фракция, сорт) угля устанавливается по нижнему значению самой мелкой фракции и верхнему значению самой крупной фракции, указанной в марке угля (таблица 2.1) [52].

Таблица 2.1 – Классификация углей по крупности [53]

Группа	Класс	Условное обозначение	Пределы крупности кусков, мм	
			Нижний	Верхний
Сортовые	Плитный	П	100	300
	Крупный кулак	К	50	100
	Орех	О	25	50
	Мелкий	М	13	25
	Семечко	С	6	13
	Штыб	Ш	0	6
Совмещенный и отсеvy	Крупный с плитным	ПК	50	300
	Орех с крупным	КО	25	100
	Мелкий с орехом	ОМ	13	50
	Семечко с мелким	МС	6	25
	Семечко со штыбом	СШ	0	13
	Мелкий с семечком и штыбом	МСШ	0	25
	Орех с мелким семечком и штыбом	ОМСШ	0	50
	Рядовой	Р	0	300

Ширина просеивающих секций $b_{\text{пр.с.}}$ зависит от ширины загрузочного бункера $L_{з.б.}$.

Длина просеивающих секций $l_{\text{пр.с.}}$ зависит от длины приемных бункеров $L_{\text{пр.б.}}$ и угла наклона передней стенки β .

Угол наклона просеивающих секций α задается и зависит от скорости, которую должен набрать кусок угля для того, чтобы перевернуться (рисунок 2.11). Угол может принимать значения в пределах $40 - 55^\circ$. С увеличением угла скорость движения сортируемого материала увеличивается.

2.3.6. Определение диаметра струн и усилия натяжения струн канатного поля

Просеивающие секции струнного грохота могут быть изготовлены из стального каната, прутка.

Рассмотрим следующий параметр струнного грохота, а именно диаметр струн d_c , который зависит от угла наклона струн и силы тяжести, оказываемой

грузом на струны.

Из вышесказанного диаметр струн (канатов) будет определяться из условия: разрывное усилие струн P_c больше силы давления насыпного груза P_d .

Тогда сила давления насыпного груза на канаты определяется:

$$P_d = G \cdot \cos \alpha \cdot k_{тр}, \quad (2.32)$$

где G – сила тяжести, Н; α – угол наклона струн, град.

Сила давления насыпного груза на струны P_d зависит от формы отверстия загрузочного бункера.

Натяжное усилие P_n должно быть меньше разрывного усилия P_p , но не должно допускать провисания струн (канатов), при действии динамической нагрузки от просеивающего материала.

Зависимость между движущей силой и силой трения выражается через выражение:

$$G \cdot \sin \alpha = F = f \cdot N = f \cdot G \cdot \cos \alpha,$$

где $G \cdot \sin \alpha$ – движущая сила, Н; F – сила трения, Н; f – коэффициент трения угля по стали ($f = 0,11$); N – сила реакции опоры, Н.

Угол наклона просеивающей секции, при котором уголь не будет двигаться по канатам, равен:

$$\alpha = \arctg f = \arctg 0,11 = 6,3^\circ.$$

Если угол наклона просеивающей секции α меньше угла трения φ , то уголь не будет двигаться по канатам.

Максимальный износ струн (канатов) будет происходить в верхней точке первой просеивающей секции, в которой возникает контактное напряжение в результате высыпания всего объема угля из загрузочного бункера. Но возникающее контактное напряжение будет кратковременным и износ будет несущественным, благодаря чему срок службы канатов будет достаточно длительным.

Давление в месте контакта:

$$p \leq [p],$$

где p – возникающее давление, Па; $[p]$ – допустимое давление, Па.

Интенсивность изнашивания определяется по формуле:

$$I = \frac{h}{S}, \quad (2.33)$$

где h – величина износа, %; S – путь трения, м.

В качестве рабочей поверхности просеивающей секции может использоваться не только канат, но и пруток [54].

Построенная математическая модель работы струнного грохота позволяет определить его конструктивные и режимные параметры.

2.4 ВЫВОДЫ

1. Предложена конструкция струнного грохота гравитационного типа, в которой для повышения эффективности рассортировки применены свободно вращающиеся кантователи на каждой просеивающей секции. Предлагаемый грохот может быть применен для разделения углей по классам крупности. Приведено описание принципа его работы.

2. Проведен анализ работы струнного грохота и выделены его основные конструктивные и режимные параметры, влияющие на функционирование предлагаемого грохота: пропускная способность загрузочного бункера; передней стенки грохота; канатного поля; просеивающих секций струнного грохота; габариты кантователей и их расположение; диаметр и усилия натяжения струн канатного поля.

3. Разработана математическая модель работы струнного грохота, которая позволит определить его конструктивные и режимные параметры, в зависимости от производительности и характеристик сортируемого материала.

ГЛАВА 3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ СТРУННОГО СТУПЕНЧАТОГО ГРОХОТА

Рассмотренная во 2 главе конструкция струнного грохота [42] обладает простотой, использует гравитацию при разделении горной массы на классы крупности не требующую привода. Изготовленная по результатам исследований лабораторная установка (см. главу 5) показала работоспособность предлагаемой схемы и выявила необходимость поддержания постоянного натяжения струн просеивающей поверхности, если они выполнены из стальных канатов. В противном случае в процессе эксплуатации струны растягиваются, пропуская более крупные куски, снижая при этом качество рассортировки.

Качество сортировки можно повысить, применив ступенчатое расположение просеивающих поверхностей, отсеивающих один класс крупности, причем располагать струны просеивающих поверхностей, отсеивающих один класс крупности, предлагается в шахматном порядке относительно друг друга. При этом в конце каждой ступени по пути движения сортируемой горной массы предлагается установить кантователи, задача которых переворачивать попадающие на них куски горной массы и укладывать их на следующую ступень просеивающей поверхности, струны которой имеют шахматное расположение относительно предыдущей. Кроме того выполнение просеивающих поверхностей ступенчато позволяет уменьшить длину струн, что благоприятно скажется на «жесткости» натянутых струн и в конечном итоге повысит эффективность сортировки. Рассмотрим конструкцию струнного ступенчатого грохота.

3.1. Разработка конструкции струнного ступенчатого грохота

Струнный ступенчатый грохот [55] содержит бункер питатель 1 (рисунок 3.1), одна из стенок которого является передней стенкой 2 , установленной под углом β , превышающим угол естественного откоса сортируемого материала. К передней стенке примыкают просеивающие поверхности, выполненные в виде сту-

пеней 3 и установленных с зазором по высоте l , причем просеивающие поверхности выполнены таким образом, что самая верхняя имеет наибольшую ширину между струнами, и на каждой последующей просеивающей поверхности ширина между струнами уменьшается. Ступени просеивающих поверхностей состоят из продольных струн 4, натянутых между верхней 5 и нижней 6 поперечинах. Причем верхние поперечины каждой верхней ступени закреплены с возможностью перемещения по направляющим передней стенки, а нижние поперечины каждой нижней ступени сопряжены с приемными бункерами 7. Все остальные поперечины ступеней просеивающих поверхностей закреплены с возможностью перемещения по боковым стенкам грохота (на чертеже не показано). Установка струн на просеивающей поверхности каждой ступени имеет шахматный порядок размещения относительно предыдущей, а угол установки струн α также превышает угол естественного откоса сортируемого материала. На верхней 5 поперечине каждой просеивающей ступени кроме самой верхней, между струнами, установлены свободно вращающиеся кантователи 8 с лопатками 9. Ширина и длина их лопаток одинаковы на каждом просеивающем ярусе. На нижней поперечине каждой просеивающей ступени кроме самой нижней установлены кожухи 10, направляющие сортируемые куски горной массы в сторону просеивающей поверхности и прикрывающие восходящие лопатки кантователей от попадания на них кусков сортируемого материала [55].

Сортировка горной массы на струнном ступенчатом грохоте (рисунок 3.1) происходит следующим образом.

При поступлении горной массы открываем затвор бункера питателя 1, при этом горная масса скатывается по передней стенке 2, установленной под углом β , превышающим угол естественного откоса сортируемого материала. Набрав необходимую кинетическую энергию по передней стенке, куски горной массы попадают на просеивающую поверхность ступени 3 верхнего яруса, образованную из продольных струн 4, установленных под углом α . Мелкие куски проваливаются между струнами верхнего яруса, а крупные задерживаются на струнах и, скользя

по ним, падают с высоты l на лопатки 8 кантователей 9 , установленные на верхней поперечине 5 , вращая их по часовой стрелке (рисунок 3.1).

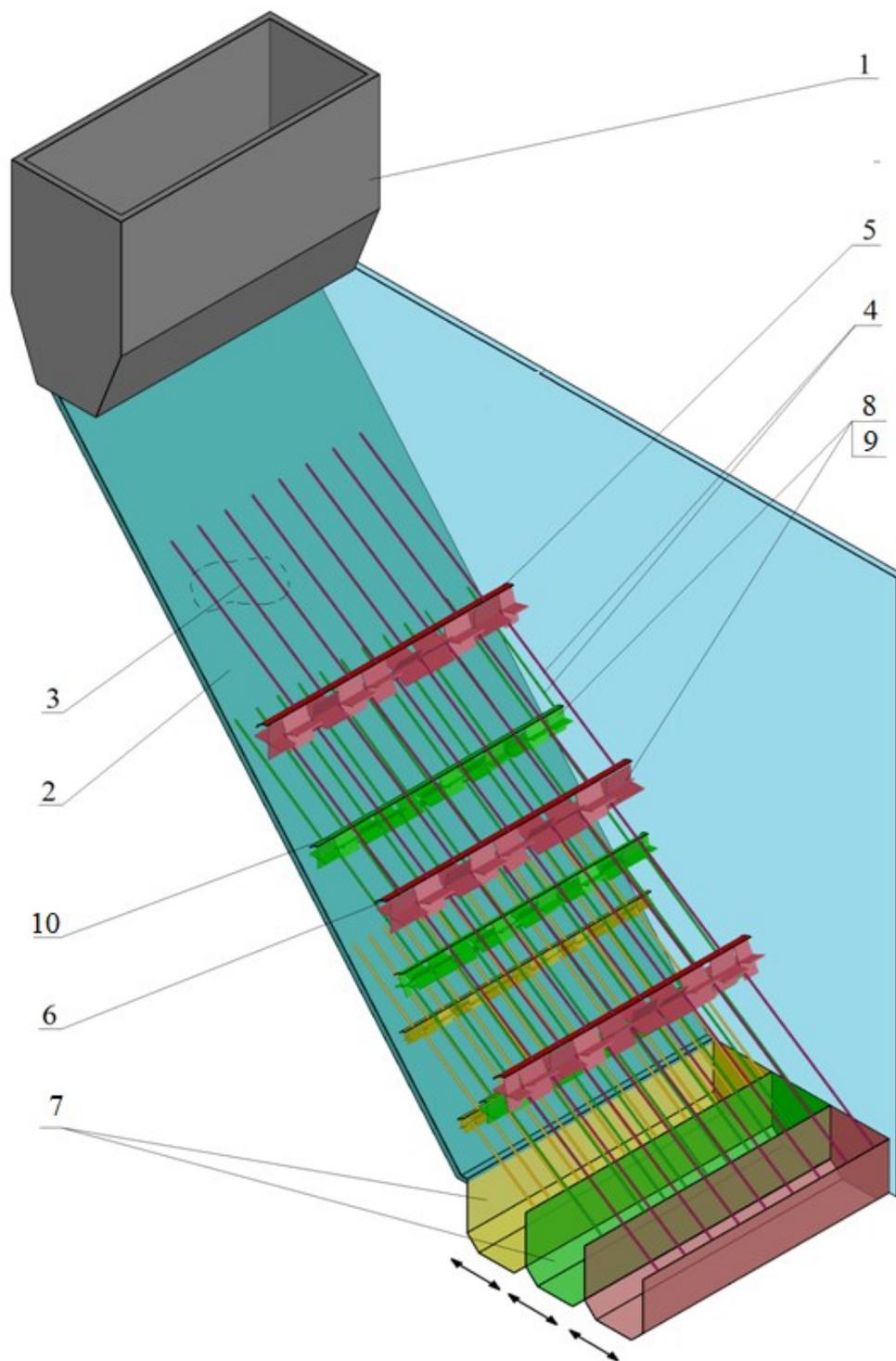


Рисунок 3.1 – Струнный ступенчатый грохот: 1 – бункер; 2 – передняя стенка; 3 – просеивающая поверхность (ступень); 4 – струны; 5 – верхняя поперечина; 6 – нижняя поперечина; 7 - приемные бункеры; 8 – лопатки кантователя; 9 – кантователи; 10 – кожух кантователей

Кусок горной массы, попадая на лопатку своей передней частью, какое-то время удерживается на ней, в то время когда следующая за ней другая лопатка, упиравшись в заднюю часть куска, переворачивает его, укладывая на нижележащую ступень этого же яруса сортировки. При этом струны 4 нижележащей ступени расположены в шахматном порядке относительно вышележащей. Попадание мелких кусков горной массы на восходящие лопатки кантователей предотвращается кожухом 10, установленным на нижней поперечине 6 каждой ступени просеивающей поверхности кроме самой нижней. Таким образом, кусок горной массы, пройдя несколько ступеней верхнего яруса, несколько раз переворачивается и укладывается каждый раз на просеивающую поверхность, имеющую шахматное расположение струн по отношению к предыдущей ступени. В конце самой нижней ступени куски горной массы попадают в приемный бункер 7. Аналогичным образом происходит сортировка более мелких кусков горной массы на нижних ярусах, где ширина между струнами, ширина и длина их лопаток одинакова на данном ярусе и меньше чем на вышележащем ярусе, задерживая свой класс сортируемой горной массы.

Струнный ступенчатый грохот помимо боковых стенок снабжен герметичной крышкой, (на чертеже не показано) предотвращающей пыление при рассортировке горной массы.

Применение предлагаемого струнного ступенчатого грохота позволяет более эффективно решить задачу разделения различной по составу горной массы на классы по крупности, а также быстро перенастраивать под другой гранулометрический состав [56, 57].

3.2. Выбор параметров струнного ступенчатого грохота

Для проектирования струнного ступенчатого грохота с требуемой производительностью необходимо проанализировать его рабочие процессы. В результате анализа выбрать и обосновать его конструктивные и режимные параметры.

Комплекс параметров и факторов, влияющих на них, представлен в виде схемы на рисунке 3.2.

Выбор и обоснование параметров струнного ступенчатого грохота осуществляется с учетом его конструктивных особенностей, эксплуатационных показателей и свойств сортируемого материала при обеспечении требуемой производительности [21]. Поэтому все параметры объединены в три группы: 1 – производительность грохота; 2 – конструктивные; 3 – эксплуатационные. Влияющие на них факторы в виде характеристики сортируемого материала представлены в 4 группе.

Параметры, объединенные в 3 группы, в основном соответствует параметрам струнного грохота приведенного в главе 2 (рисунок 2.5), однако есть и отличия. Основное отличие струнного ступенчатого грохота заключается в том, что просеивающие поверхности, отсеивающие один класс крупности, выполнены ступенчато и сдвинуты по ширине на каждой ступени на половину ширины расстояния между струнами (в шахматном порядке), а также тех параметрах, которые, которые могут зависеть от них.

На схеме (рисунок 3.2) параметры струнного ступенчатого грохота, которые не меняются, по сравнению со струнным грохотом окрашены в оранжевый цвет, параметры, изменение которых возможно в конструкции струнного ступенчатого грохота по сравнению со струнным грохотом выделены белым цветом. К ним относятся:

1. Скорость движения куска горной массы $v_{\text{дв.г.м.}}$ по рабочим поверхностям от которой напрямую зависит производительность грохота $Q_{\text{гр.}}$.

2. Габариты грохота (L – длина, B – ширина, H – высота грохота, мм); $l_{\text{пр.с.}}$, $b_{\text{пр.с.}}$ – длина и ширина просеивающей секции, мм; P_n – натяжное усилие струн (канатов) на каждом участке (ступени), Н.

Из конструктивных параметров кантователей и просеивающих секций (ступеней на них), отнесенных к конструктивным параметрам грохота: N – количество рядов кантователей на просеивающей секции меньше на единицу числа ступеней, шт. $l_{\text{л}}$ – длина лопатки кантователя, мм; $b_{\text{л}}$ – ширина лопатки кантователя,

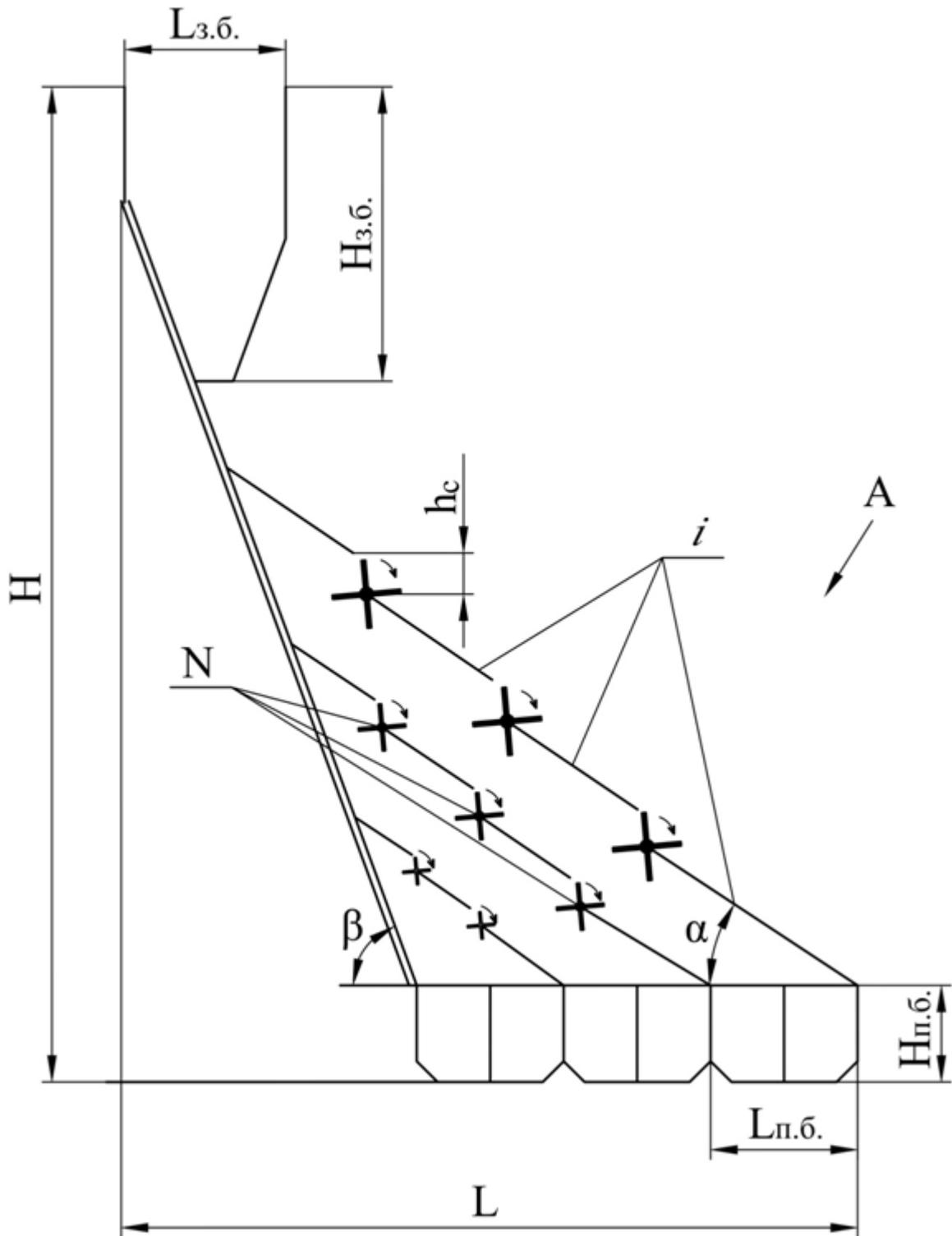
мм соответствуют рассмотренным в главе 2; i – количество ступеней на просеивающей секции, шт; h_c – высота ступени, мм.



Рисунок 3.2 – Схема параметров и факторов, влияющих на работу струнного ступенчатого грохота: $Q_{гр}$ – требуемая производительность, $m^3/ч$; $Q_{з.б.}$, $Q_{п.б.}$ – пропускные способности загрузочного и приемных бункеров, $m^3/ч$; C_n – способ подачи сортируемого материала (равномерный

или неравномерный грузопоток. В рассматриваемом нами грохоте применяется равномерная подача сортируемого материала); $v_{\text{дв.г.м.}}$ – скорость движения горной массы по рабочей поверхности грохота, м/с; $P_{\text{с.м.}}$ – характеристика сортируемого материала (γ – плотность, кг/м³; w – влажность, %; a – гранулометрический состав, мм; δ – абразивность, мг); k_p – коэффициент работы грохота, учитывающий сменность работы; t_3 – время эксплуатации, ч; t_p – время, затрачиваемое на ремонт, ч; $t_{\text{п}}$ – время простоев, ч; габариты грохота (L – длина, B – ширина, H – высота грохота), мм; $L_{\text{з.б.}}$, $L_{\text{п.б.}}$ – длина загрузочного и приемных бункеров, мм; $B_{\text{з.б.}}$, $B_{\text{п.б.}}$ – ширина загрузочного и приемных бункеров, мм; $H_{\text{з.б.}}$, $H_{\text{п.б.}}$ – высота загрузочного и приемных бункеров, мм; N – количество рядов кантователей на просеивающей секции меньше на единицу числа ступеней, шт; n – количество просеивающих секций, шт; i – количество ступеней на просеивающей секции, шт; h_c – высота ступени, мм; K – количество лопаток кантователя, шт; l_l – длина лопатки кантователя, мм; b_l – ширина лопатки кантователя, мм; $L_{\text{п.с.}}$, $B_{\text{п.с.}}$ – соответственно, длина и ширина передней стенки, мм; α – угол наклона просеивающей секции, град.; b_1 – расстояние между струнами, мм; z – количество струн (канатов) на просеивающей секции, шт; d_c – диаметр струн (канатов), мм; P_n – натяжное усилие струн (канатов) на каждом участке (ступени), Н; $l_{\text{пр.с.}}$, $b_{\text{пр.с.}}$ – соответственно, длина и ширина просеивающей секции, мм; β – угол наклона передней стенки, град

Для наглядности основные конструктивные параметры струнного ступенчатого грохота приведены на рисунках 3.3, 3.4.



Вид А

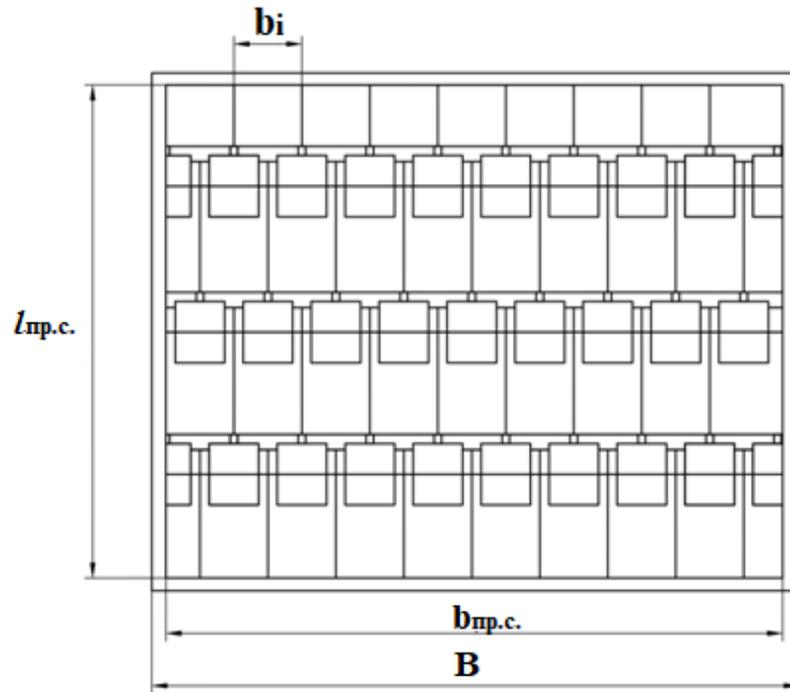


Рисунок 3.3 – Основные конструктивные параметры струнного ступенчатого грохота:

L – длина, B – ширина, H – высота грохота, мм; $L_{з.б.}$, $L_{п.б.}$ – длина загрузочного и приемных бункеров, мм; $H_{з.б.}$, $H_{п.б.}$ – высота загрузочного и приемных бункеров, мм; N – количество рядов кантователей на просеивающей секции, шт; i – количество ступеней на просеивающей секции, шт; h_c – высота ступени, мм; α – угол наклона просеивающей секции, град.; β – угол наклона передней стенки, град.; b_i – расстояние между струнами, мм; $l_{пр.с.}$, $b_{пр.с.}$ – соответственно, длина и ширина просеивающей секции, мм

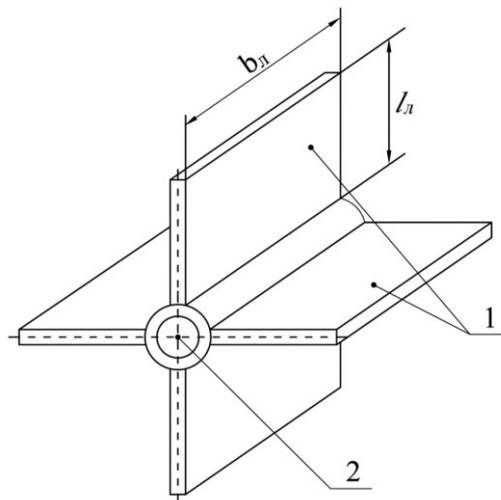


Рисунок 3.4 – Конструктивные параметры кантователя: 1 – лопатки кантователя; 2 – ось вращения; $l_л$ – длина лопатки кантователя, мм; $b_л$ – ширина лопатки кантователя

Выбранные параметры струнного ступенчатого грохота позволяют перейти к построению его математической модели и в дальнейшем оценки этих параметров в зависимости от заданной производительности.

3.3. Разработка математической модели работы струнного ступенчатого грохота

Математическая модель расчета параметров и определение пропускной способности загрузочного бункера в струнном ступенчатом грохоте будет соответствовать математической модели для струнного грохота рассмотренной в главе 2.

На струнном ступенчатом грохоте для рассортировки угля используется также гравитационный метод. Для удобства рассмотрения движения куска угля на струнном ступенчатом грохоте, разобьем его на несколько участков (рисунок 3.5): участок I – движение куска угля из загрузочного бункера по наклонной стенке; участок II – движение куска угля по просеивающей поверхности (1 ступень); участок III – падение куска угля и встреча его с кантователем; участок IV – нахождение куска на просеивающей поверхности (2 ступень).

Рядовой уголь (рассмотрим для удобства кусок угля) из загрузочного бункера 1 поступает на переднюю наклонную стенку грохота (рисунок 3.5, участок I), располагаемой под углом β . При этом кусок, скатываясь, набирает движущую силу $F_{\text{д.н.с.}}$:

$$F_{\text{д.н.с.}} = m_I \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.н.с.}} \cdot \cos \beta), \text{ Н} \quad (3.1)$$

где m_I - масса куска угля на первой (цифра I) просеивающей секции $g(\sin \beta - k_{\text{тр.н.с.}} \cdot \cos \beta)$ – ускорение, набранное куском угля на наклонной стенке (участок I) длиной $l_{\text{н.с.}}$, м/с; $k_{\text{тр.н.с.}}$ – коэффициент трения угля по стали наклонной стенки (постоянная величина при скольжении куска угля $F_{\text{тр}} = k_{\text{мп}} \cdot mg \cos \beta$) (участок I).

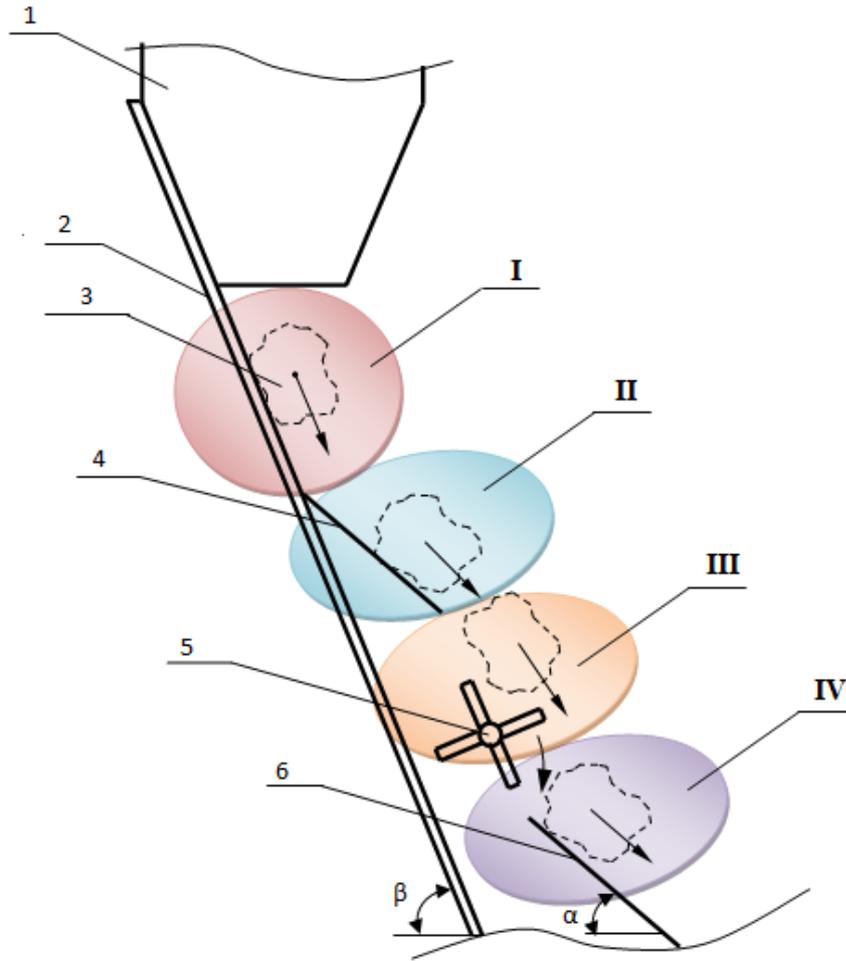


Рисунок 3.5 – Движение куска угля на струнном ступенчатом грохоте:
 1 – загрузочный бункер; 2 – передняя наклонная стенка; 3 – кусок угля;
 4 – просеивающая поверхность (1 ступень); 5 – кантователь;
 6 – просеивающая поверхность (2 ступень)

Пройдя переднюю наклонную стенку, кусок угля попадает на канатное поле (участок II, рисунок 3.5), с углом наклона α . Движущая сила, набранная куском угля на наклонном канатном поле (1 ступень) до момента свободного падения (рисунок 3.6) со ступени будет $F_{д.1с}$:

$$F_{д.1с} = m_1 \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.1с} \cdot \cos \alpha), Н \quad (3.2)$$

где $k_{тр.1с}$ – коэффициент трения угля по струнам канатного поля (1 ступень).

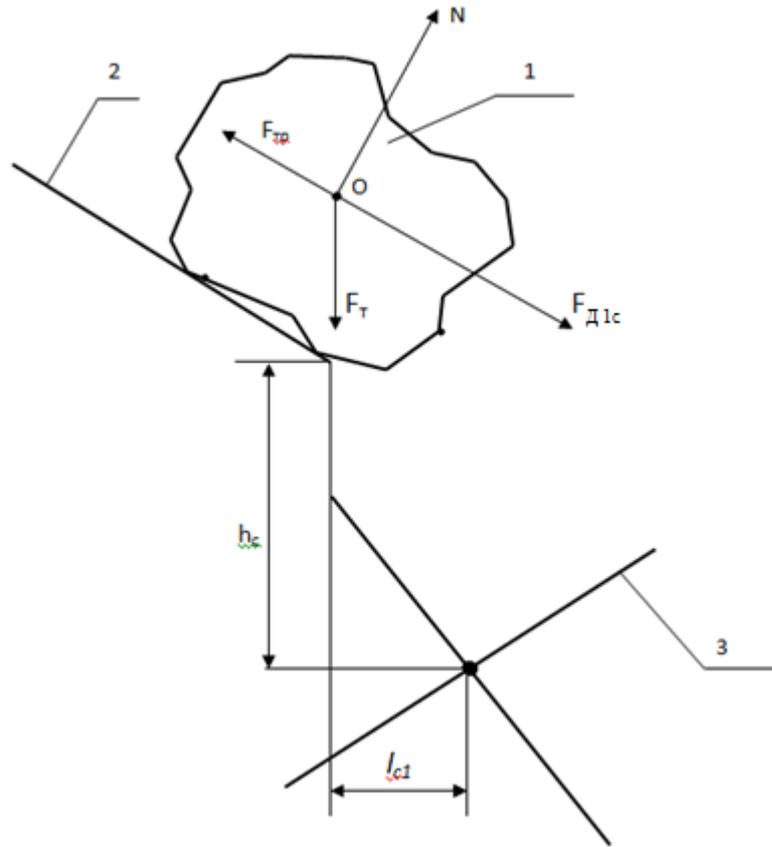


Рисунок 3.6 – Движение куска угля по канатному полю (участок II):
1 – кусок угля; 2 – канатное поле (1 ступень); 3 – лопатка кантователя

Далее рассматриваемый кусок угля находится в свободном полете до встречи с лопаткой кантователя. При этом набранная движущая сила прирастет на силу падения:

$$F_{\text{II}} = m_1 \cdot g, \text{ Н}, \quad (3.3)$$

где m_1 – масса куска на первой просеивающей секции, кг; g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$.

Общая движущая сила, набранная куском угля до второй ступени (участки I, II и участок падения III, рисунок 3.5) на первой просеивающей секции и первой ступени рассчитывается по формуле

$$F_{\text{Д.обI}} = F_{\text{Д.н.с.}} + F_{\text{Д.1с}} + F_{\text{Тп1с}} - F_{\text{тр.кан.1с}} \quad (3.4)$$

С учетом формул 3.1, 3.2, 3.3 получаем:

$$F_{Д.об.1с} = (m_I \cdot g(\sin \beta - k_{тр.н.с.} \cdot \cos \beta)) + (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-1с} \cdot \cos \alpha)) + m_I \cdot g - F_{тр.к.1с} \quad (3.5)$$

$k_{тр.I-1с}$ – коэффициент трения угля по струнам канатного поля (I просеивающая секция, 1 ступень); α – угол наклона просеивающей секции, град; $F_{Iтр.к.1с}$ – сила трения качения подшипника кантователя на первой (I) просеивающей секции (1 ступень), Н.

Аналогично определяется движущая сила, набранная куском угля на 2, 3 и i -ой ступени первой просеивающей секции:

$$\left. \begin{aligned} F_{IД.об2с} &= F_{ДI1с} + F_{ТпI-2с} - F_{тр.к.2с} = (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-2с} \cdot \cos \alpha)) + \\ &+ m_I \cdot g - F_{тр.к.2с} \\ F_{IД.об3с} &= F_{ДI.3с} + F_{ТпI-3с} - F_{тр.к.3с} = (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-3с} \cdot \cos \alpha)) + \\ &+ m_I \cdot g - F_{тр.к.3с} \\ F_{IД.об.iс} &= F_{ДI.iс} + F_{ТпI-iс} - F_{тр.к.iс} = (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-iс} \cdot \cos \alpha)) + \\ &+ m_I \cdot g - F_{тр.к.i-1с} \end{aligned} \right\} \quad (3.6)^*$$

где $F_{IД.об1}$, $F_{IД.об2}$, $F_{IД.об3}$, $F_{IД.обi}$ – общая движущая сила, набранная куском угля на 1, 2, 3, i -ой ступени первой просеивающей секции, соответственно, Н; $F_{IД.1с}$, $F_{IД.2с}$, $F_{IД.3с}$, $F_{IД.iс}$ – движущая сила, набранная куском на 1, 2, 3, i -ой ступени I-ой просеивающей секции соответственно, Н; $F_{ТпI-1с}$, $F_{ТпI-2с}$, $F_{ТпI-3с}$, $F_{ТпI-iс}$ – сила тяжести при падении куска угля на 1, 2, 3, i -ой ступени I-ой просеивающей секции соответственно, Н; m_I – масса куска угля на первой просеивающей секции, кг; $k_{тр.I-2с}$, $k_{тр.I-3с}$, $k_{тр.I-iс}$ – коэффициент трения угля по струнам канатного поля на 2, 3, i -ой ступени I-ой просеивающей секции, соответственно; $F_{тр.к.1с}$, $F_{тр.к.2с}$, $F_{тр.к.3с}$, $F_{тр.к.i-1с}$ – сила трения качения подшипника кантователя на 1, 2, 3, i -ой ступени I-ой просеивающей секции соответственно, Н.

*Примечание: индекс I – номер просеивающей секции грохота (соответственно I – ая просеивающая секция); индекс 1с, 2с, 3с, $iс$ – номер ступени на просеивающей секции грохота (соответственно 1,

2, 3, i -ая ступень); индекс $П_{i-1}$ обозначает предпоследнюю ступень просеивающей секции. На последней кантователи не ставятся.

Для обеспечения работоспособности кантователя необходимо, чтобы на I -ой просеивающей секции, на каждой ступени, кроме последней выполнялось условие:

$$F_{IД\text{об}1} > F_{I\text{тр.к.}1с}; \quad F_{IД\text{об}2} > F_{I\text{тр.к.}2с}; \quad F_{IД\text{об}3} > F_{I\text{тр.к.}3с}$$

Соответственно, для II , III , n – ой просеивающих секций условия работоспособности кантователей аналогичны.

После свободного падения кусок угля (рисунок 3.7), своей передней частью соприкасается с лопаткой кантователя и начинает ее вращать за счет набранной движущей силы $F_{Д\text{об}}$ и силы тяжести при падении куска $F_{Тп}$.

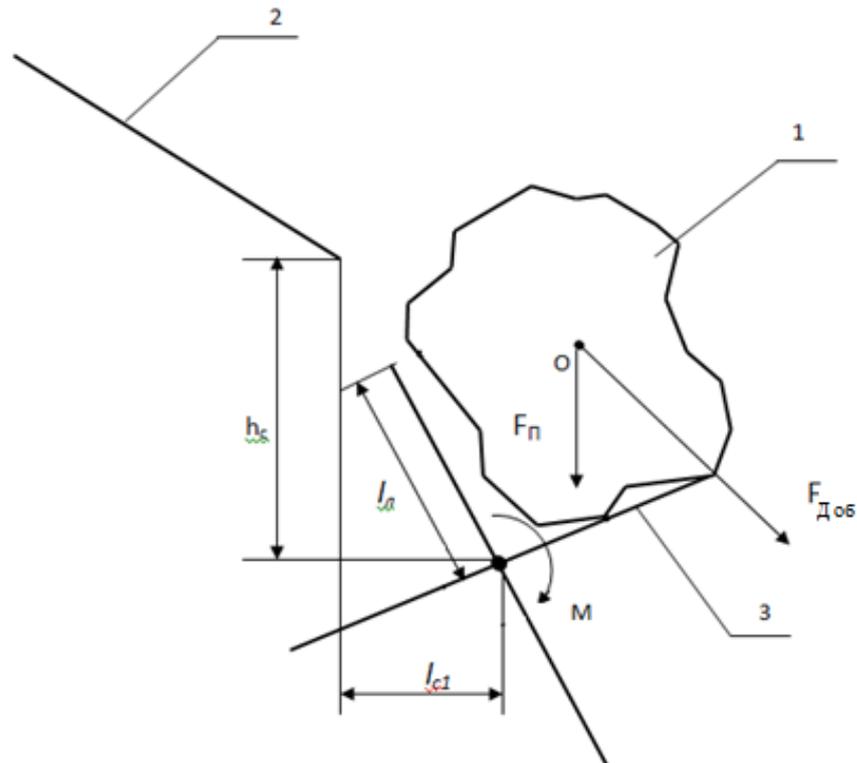


Рисунок 3.7 – Движение куска угля по канатному полю (участок III – положение 1- при встрече с кантователем): 1 – кусок угля; 2 – канатное поле (1 ступень); 3 – лопатка кантователя

При вращении набегающая лопатка кантователя (рисунок 3.8) упирается в тыльную часть скользящего куска угля и с усилием P , набранным за счет общей силы инерции $F_{Д.об}$ (формула 3.5) и начинает его переворачивать (участок III – положение 2).

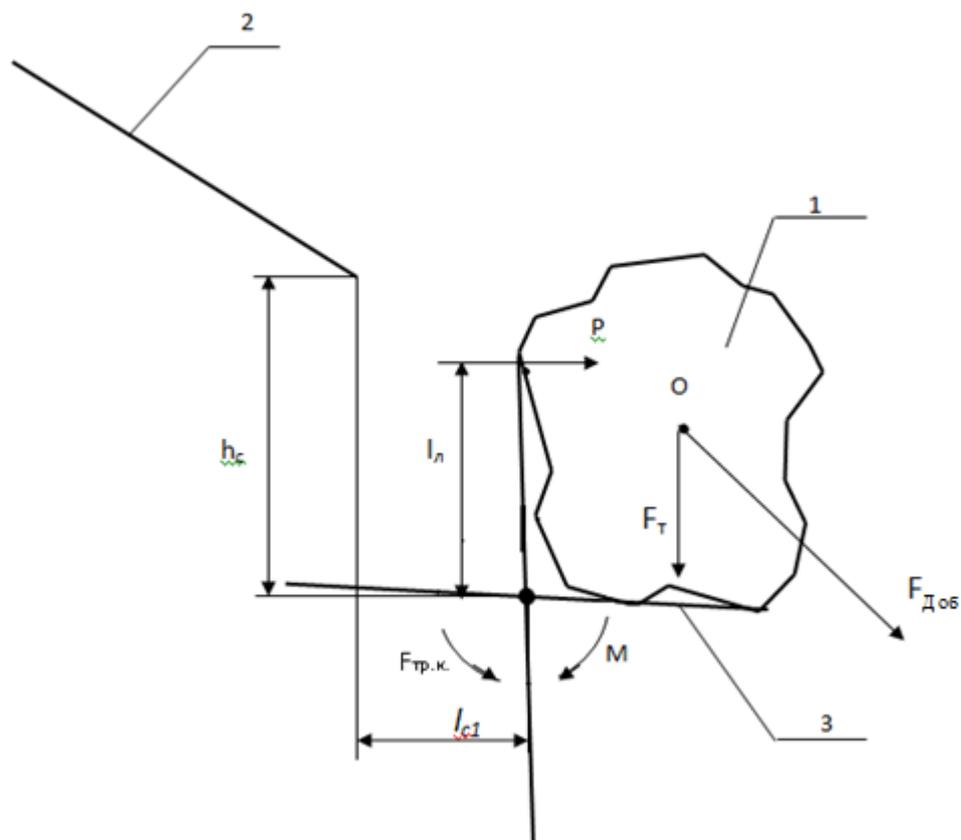


Рисунок 3.8 – Движение куска угля по канатному полю (участок III) (положение 2):

1 – кусок угля;. 2 – канатное поле (1 ступень); 3 – лопатка кантователя

После переворота кусок угля оказывается уже на нижележащей ступени с кантователями (рисунок 3.5, участок IV). Таким образом, кусок движется по просеивающим поверхностям струнного ступенчатого грохота, пока не попадет по размеру своей фракции в приемный бункер.

Общая движущая сила, набранная при движении куска угля по наклонной передней стенке и затем по первой просеивающей секции ($F_{IД.об.i}$), состоящей из i ступеней, определится как:

$$F_{I Д.об.i} = F_{Д.н.с.} + (F_{I Д.1с} + F_{I Тп1} - F_{I Тр1с} - F_{I Тр.к1}) + (F_{I Д.2с} + F_{I Тп2} - F_{I Тр2с} - F_{I Тр.к2}) + \\ + (F_{I Д.3с} + F_{I Тп3} - F_{I Тр3с} - F_{I Тр.к3}) + (F_{I Д.и.с} + F_{I Тпi} - F_{I Тр.и.с} - F_{I Тр.к.i}) \quad (3.7)$$

Выражение 3.7 распишем, используя формулы 3.5 и 3.6:

$$F_{I Д.об.i} = (m_I \cdot g(\sin \beta - k_{тр.н.с.} \cdot \cos \beta)) + (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-1с} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - \\ - F_{ТрI-1с} - F_{тр.к.I-1с}) + (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-2с} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - \\ - F_{ТрI-2с} - F_{тр.к.I-2с}) + (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-3с} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - \\ - F_{ТрI-3с} - F_{тр.к.I-3с}) + (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{тр.I-и.с} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - \\ - F_{ТрI-и.с} - F_{тр.к.I-и.с}), \quad (3.8)$$

где $F_{Д.н.с.}$ – движущая сила, набранная кусочком при движении по наклонной передней стенке, Н; $F_{Тр I-1с}$, $F_{Тр I-2с}$, $F_{Тр I-3с}$, $F_{Тр I-и.с}$ – сила трения на 1, 2, 3, i -ой ступени I – ой просеивающей секции, соответственно, Н; $F_{тр.к I-1}$, $F_{тр.к I-2}$, $F_{тр.к I-3}$, $F_{тр.к I-i}$ – сила трения качения подшипника кантователя, на 1, 2, 3, i -ой ступени I – ой просеивающей секции, соответственно, Н.

*Примечание: индекс I, II, III, n – номер просеивающей секции грохота (соответственно I, II, III, n – ая просеивающая секция); индекс 1с, 2с, 3с, и.с – номер ступени на просеивающей секции грохота (соответственно 1, 2, 3, i -ая ступень).

Движение куска угля на второй и других нижележащих просеивающих ступенчатых секциях будет аналогично движению на I – ой просеивающей секции, с учетом количества ступеней на II, III, IV...n-ой просеивающей секции.

Количество просеивающих секций n , определяющих выход сортового угля по фракциям, задается заказчиком при проектировании грохота.

Крутящий момент, образующийся при давлении куском угля своей передней частью на лопатку кантователя и вращения ее за счет набранной движущей силы $F_{Д.об}$ и силы тяжести при падении куска $F_{Тп}$ (рисунок 3.7), определится следующим образом:

$$M = (F_{Д.об.} + F_{Тп}) \cdot l_{л}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.9)$$

где $l_{л}$ – длина лопатки кантователя, м.

При вращении набегающая лопатка кантователя (рисунок 3.8) упирается в тыльную часть скользящего куска угля и с усилием P , набранным за счет общей движущей силы $F_{Д.об}$ (формула 3.1) и начинает его переворачивать (участок III – положение 2, рисунок 3.5):

$$P = \frac{M}{l_{л}}, \text{ Н}, \quad (3.10)$$

где M – момент вращения, Н·м; $l_{л}$ – длина лопатки кантователя, м.

При движении куска угля по наклонной стенке длиной $l_{н.с.}$, струнного ступенчатого грохота, движущей силой $F_{Д.н.с.}$ (формула 3.1) совершается механическая работа, которая определится по формуле:

$$A_{Д.н.с} = F_{Д.н.с.} \cdot l_{н.с.}, \text{ Дж} \quad (3.11)$$

Тогда, механическая работа, совершаемая движущей силой $F_{I Д.1с}$ (формула 3.2) на 1 ступени первой просеивающей секции длиной l_{Ic1} , составит:

$$A_{I Д.1с} = F_{I Д.1с} \cdot l_{Ic1}, \text{ Дж}. \quad (3.12)$$

Соответственно, работа на 2, 3 и i -ой ступени той же первой просеивающей секции определится как:

$$\left. \begin{aligned} A_{I Д.2с} &= F_{I Д.2с} \cdot l_{Ic2}, \\ A_{I Д.3с} &= F_{I Д.3с} \cdot l_{Ic3}, \\ A_{I Д.ic} &= F_{I Д.3с} \cdot l_{Ici}, \text{ Дж}. \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

Общая механическая работа, совершаемая движущей силой на первой ступенчатой просеивающей секции, состоящей из i ступеней составит:

$$A_{I \text{ Д.об.}i} = A_{I \text{ Д.н.с.}} + A_{I \text{ Д.1с.}} + A_{I \text{ Д.2с.}} + A_{I \text{ Д.3с.}} + A_{I \text{ Д.и.с.}} \quad (3.14)$$

Распишем, используя формулы 3.1 - 3.6 получим:

$$\begin{aligned} A_{I \text{ Д.об.}i} &= (m_I \cdot g(\sin \beta - k_{\text{тр.н.с.}} \cdot \cos \beta)) \cdot l_{\text{н.с.}} + \\ &+ (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.1с.}} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - F_{\text{тр.к.}I-1} \cdot l_{I-1с.} + \\ &+ (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.2с.}} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - F_{\text{тр.к.}I-2} \cdot l_{I-2с.} + \\ &+ (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.3с.}} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - F_{\text{тр.к.}I-3} \cdot l_{I-3с.} + \\ &+ (m_I \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{тр.и.с.}} \cdot \cos \alpha) + m_I \cdot g) - F_{\text{тр.к.}I-i} \cdot l_{I-iс.}, \end{aligned} \quad (3.15)$$

где m_I – масса куска угля на I -ой просеивающей секции, кг; $k_{\text{тр.н.с.}}$ – коэффициент трения угля по стали наклонной стенки; β – угол наклона передней стенки, град.; $k_{\text{тр.1с.}}$, $k_{\text{тр.2с.}}$, $k_{\text{тр.3с.}}$, $k_{\text{тр.и.с.}}$ – коэффициент трения угля по струнам канатного поля на 1, 2, 3, i -ой ступени I -ой просеивающей секции, соответственно; α – угол наклона просеивающей секции, град; $F_{\text{тр.к.}I-1}$, $F_{\text{тр.к.}I-2}$, $F_{\text{тр.к.}I-3}$, $F_{\text{тр.к.}I-i}$ – сила трения подшипника кантователя, на 1, 2, 3, i -ой ступени I -ой просеивающей секции, соответственно, Н; $l_{\text{н.с.}}$ – длина передней наклонной стенки, м; $l_{I-1с.}$, $l_{I-2с.}$, $l_{I-3с.}$, $l_{I-iс.}$ – длина 1, 2, 3, i -ой ступени I -ой просеивающей секции, соответственно, м.

Аналогично определится механическая работа на 2, 3, n -ой просеивающей секции струнного ступенчатого грохота:

$$\begin{aligned}
A_{\text{IIД.об.i}} &= (m_{\text{II}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{II.т.т.р}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{II}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.II-1}}) \cdot l_{\text{II-1с}} + \\
&+ (m_{\text{II}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{II.т.т.р.2}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{II}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.II-2}}) \cdot l_{\text{II-2с}} + \\
&+ (m_{\text{II}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{II.т.т.р.3}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{II}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.II-3}}) \cdot l_{\text{II-3с}} + \\
&+ (m_{\text{II}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{II.т.т.р.i}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{II}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.II-i}}) \cdot l_{\text{II-ic}}. \\
A_{\text{IIIД.об.i}} &= (m_{\text{III}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{III.т.т.т}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{III}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.III-1}}) \cdot l_{\text{III-1с}} + \\
&+ (m_{\text{III}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{III.т.т.р.2}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{III}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.III-2}}) \cdot l_{\text{III-2с}} + \\
&+ (m_{\text{III}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{III.т.т.р.3}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{III}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.III-3}}) \cdot l_{\text{III-3с}} + \\
&+ (m_{\text{III}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{III.т.т.р.i}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{III}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.III-i}}) \cdot l_{\text{III-ic}}. \\
A_{\text{nД.об.i}} &= (m_{\text{n}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{n.т.т.р}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{n}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.n-1}}) \cdot l_{\text{n-1с}} + \\
&+ (m_{\text{n}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{n.т.т.р.2}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{n}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.n-2}}) \cdot l_{\text{n-2с}} + \\
&+ (m_{\text{n}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{n.т.т.р.3}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{n}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.n-3}}) \cdot l_{\text{n-3с}} + \\
&+ (m_{\text{n}} \cdot g(\sin \alpha - k_{\text{n.т.т.р.i}} \cdot \cos \alpha) + m_{\text{n}} \cdot g) - F_{\text{mp.к.n-i}}) \cdot l_{\text{n-ic}}.
\end{aligned} \tag{3.16}*$$

*Примечание: индекс I, II, III, n – номер просеивающей секции грохота (соответственно I, II, III, n – ая просеивающая секция); индекс 1с, 2с, 3с, ic – номер ступени на просеивающей секции грохота (соответственно 1, 2, 3, i-ая ступень);

Для расчета производительности струнного ступенчатого грохота необходимо определить скорости движения сортируемого материала по просеивающей поверхности, которая равна [58]:

$$V_{\text{дв.м.}} = m \cdot \gamma \cdot g \cdot \sin \alpha, \tag{3.17}$$

а также скорость с учетом высоты падения сортируемого материала со ступеней [58]:

$$V_{\text{n}} = \sqrt{2gh}, \tag{3.18}$$

где h – высота падения, м.

Тогда скорость движения сортируемого материала (угля) по просеивающей поверхности и с учетом ступеней, имеющих определенную высоту, будет рассчитана:

$$V_{\text{дв.м.}} = m \cdot \gamma \cdot g \cdot \sin \alpha + s \cdot \sqrt{2gh_c}, \text{ м/с} \quad (3.19)$$

где m – масса угля, кг; γ – плотность угля, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол наклона просеивающей секции, град.; s – количество ступеней, шт.; h_c – высота ступени (падения), м.

Сортовой уголь, задерживаемый каждой просеивающей секцией, транспортируется в приемные бункера, ширина которых, во избежание просыпки, должна быть не меньше ширины просеивающей секции (рис. 3.3), т.е. должно соблюдаться условие [16]:

$$B_{\text{п.б.}} = (1 \div 1,1) \cdot b_{\text{пр.с.}} \quad (3.20)$$

где $B_{\text{п.б.}}$ – ширина приемного бункера, м; $b_{\text{пр.с.}}$ – ширина просеивающей секции, м.

Длина приемных бункеров $L_{\text{п.б.}}$ должна быть не меньше расстояния между просеивающими секциями, чтобы сортируемый материал (соответствующего размера) попадал в свой приемный бункер.

Высота приемного бункера зависит от объема сортируемого материала, и наибольшего размера его фракции.

Объем одного приемного бункера должен быть на 20% больше объема загрузочного и должно выполняться условие [59]:

$$V_{\text{п.б.}} \geq 1,2 \frac{V_{\text{з.б.}}}{\gamma}, \quad (3.21)$$

где $V_{\text{з.б.}}$ – объем загрузочного бункера, т/м³; γ – объемная плотность угля, т/м³.

В соответствии с полученными зависимостями можно определить необходимые конструктивные параметры струнного ступенчатого грохота, а именно, габаритные размеры грохота (длину L , ширину B , высоту H), углы наклона и пара-

метры просеивающих секций и передней стенки (α , β , высоту ступени h_c); параметры кантователей (длину и ширину лопатки кантователя $l_{л}$, $b_{л}$).

3.4 ВЫВОДЫ

1. Предложен струнный ступенчатый грохот оригинальной конструкции гравитационного типа, характеризующейся наличием ступеней на просеивающих секциях и шахматным расположением струн на каждой последующей нижележащей ступени, причем в конце каждой ступени кроме последней расположен кантователь для переворачивания кусков сортируемого материала, что приводит к более качественной рассортировке материала.

2. Проанализировав рабочие процессы струнного ступенчатого грохота, были выделены и обоснованы его основные конструктивные и режимные параметры, в том числе габариты грохота и геометрические параметры его отдельных элементов, эксплуатационные показатели, включающие пропускные способности загрузочного и приемных бункеров, производительность грохота.

3. Разработана математическая модель работы струнного ступенчатого грохота, которая позволит определить его конструктивные и режимные параметры, в зависимости от производительности и характеристик сортируемого материала.

ГЛАВА 4. РАСЧЕТ И СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУННЫХ ГРОХОТОВ

При разработке любых машин и механизмов, в том числе грохотов, большое значение имеет определение их конструктивных и режимных параметров. В главе 2 и 3 были разработаны конструкции струнного и струнного ступенчатого грохотов, выделены их основные параметры. Построены математические модели их работы. Это позволяет перейти к расчету режимных и конструктивных параметров рассматриваемых грохотов для обеспечения их работоспособности. Определить массогабаритные размеры струнного и струнного ступенчатого грохотов в зависимости от задаваемой производительности, количества получаемого гранулометрического состава для их оптимизации. Сравнить полученные расчетные параметры струнного и струнного ступенчатого грохотов.

Струнный и струнный ступенчатый грохота имеют как одинаковые конструктивные элементы, например загрузочный и приемные бункеры так и элементы присущие конкретной конструкции. Сначала рассмотрим характеристику сортируемого материала и рассчитаем конструктивные параметры свойственные обеим конструкциям грохотов.

4.1. Обоснование параметров конструкций струнных грохотов

4.1.1. Массогабаритная характеристика сортируемого материала

От свойств сортируемого материала, а также условий эксплуатации грохота зависит определение и расчет основных параметров грохота.

Свойства, характеризующие сортируемый материал (уголь), которые необходимо учитывать при проектировании грохота: гранулометрический состав (размер фракций); плотность; влажность; угол естественного откоса [60, 61].

Наибольший размер куска угля определяет размер фракции (рисунок 4.1).

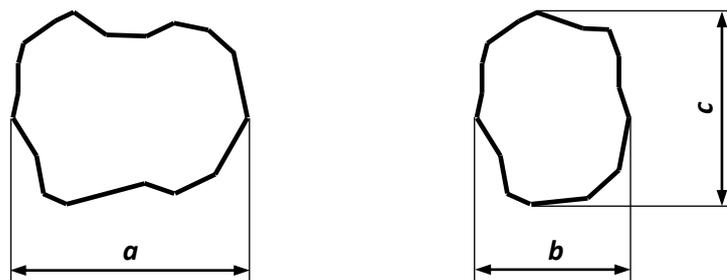


Рисунок 4.1 - Размер частиц фракции угля: a – длина; b – ширина; c – высота куска угля

Проектируется струнный грохот таким образом, чтобы получить требуемый размер сортового угля: $a > 300$ мм; $200 < a < 300$ мм; $100 < a < 200$ мм; $50 < a < 100$ мм; $25 < a < 50$ мм; $13 < a < 25$ мм; $6 < a < 13$ мм; $0 < a < 6$ мм.

Плотность угля, в зависимости от его вида (каменный, бурый, антрацит) составляет 0,8–1,5 т/м³ [62, 63].

Для примера рассмотрим Балахтинский уголь [64], который поставляется на рынок с соответствующими характеристиками: размером фракции в пределах от 0 до 300 мм, зольностью не более 6,0 %, влажностью не более 23%, низшей теплотой сгорания – от 4900 - 5230 ккал/кг.

Примерные (усредненные) размеры и масса кусочков представлены на рисунках 4.2 – 4.7.



Рисунок 4.2 – Кусок угля крупностью 13 мм и примерной массой 2 г



Рисунок 4.3 – Кусок угля крупностью 25 мм и примерной массой 6 г



Рисунок 4.4 – Кусок угля крупностью 50 мм и примерной массой 30 г



Рисунок 4.5 – Кусок угля крупностью 100 мм и примерной массой 124 г



Рисунок 4.6 – Кусок угля крупностью 200 мм и примерной массой 1263 г



Рисунок 4.7 – Кусок угля крупностью 300 мм и примерной массой 1895 г

Рассмотренные массогабаритные характеристики угля, являются средними. Причем в расчетах будут приняты минимальные или максимальные значения для расчета кантователей.

4.1.2 Расчет параметров загрузочного бункера струнных грохотов

Расчет параметров загрузочного бункера может быть применен как для струнного, так и для струнного ступенчатого грохота.

Геометрические параметры бункеров - размеры в плане, высота, форма выпускного окна, угол наклона ее стенок, размеры выпускного окна определяются при выполнении следующих технологических требований:

- обеспечение требуемой пропускной способности, или скорости истечения сыпучего материала;
- исключение сводообразований при истечении для создания непрерывности выпуска;
- исключение налипания и намерзания сыпучего материала.

На разрезах для доставки угля часто используются карьерные автосамосвалы, в том числе специализированные – углевозы.

Ширина загрузочного бункера должна соответствовать ширине применяемой при загрузке бункера внутренней ширины автотранспортных средств B_k (рисунок 4.8), с учетом разброса разгружаемого сыпучего материала.

В свою очередь, если доставка осуществляется автосамосвалами, то можно рассчитать расстояние, учитывающее разброс сортируемого материала с учетом используемой марки автосамосвала:

$$l_p = \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

где φ – угол естественного откоса (для угля $\varphi = 30 - 45^\circ$) [65]; h – высота разгрузки (см. рисунок 4.8), м.

Для расчетов примем угол естественного откоса φ для угля, равным 45° .

Полученные расчетные значения l_p , для различных моделей автосамосвалов БелАЗ [6] представим в таблице 4.1. Их анализ показывает, что ширину загрузочного бункера можно принять равной ширине автосамосвала, плюс 1 – 1,7 м с каж-

дой стороны, учитывающее боковой разброс сортируемого материала при разгрузке.

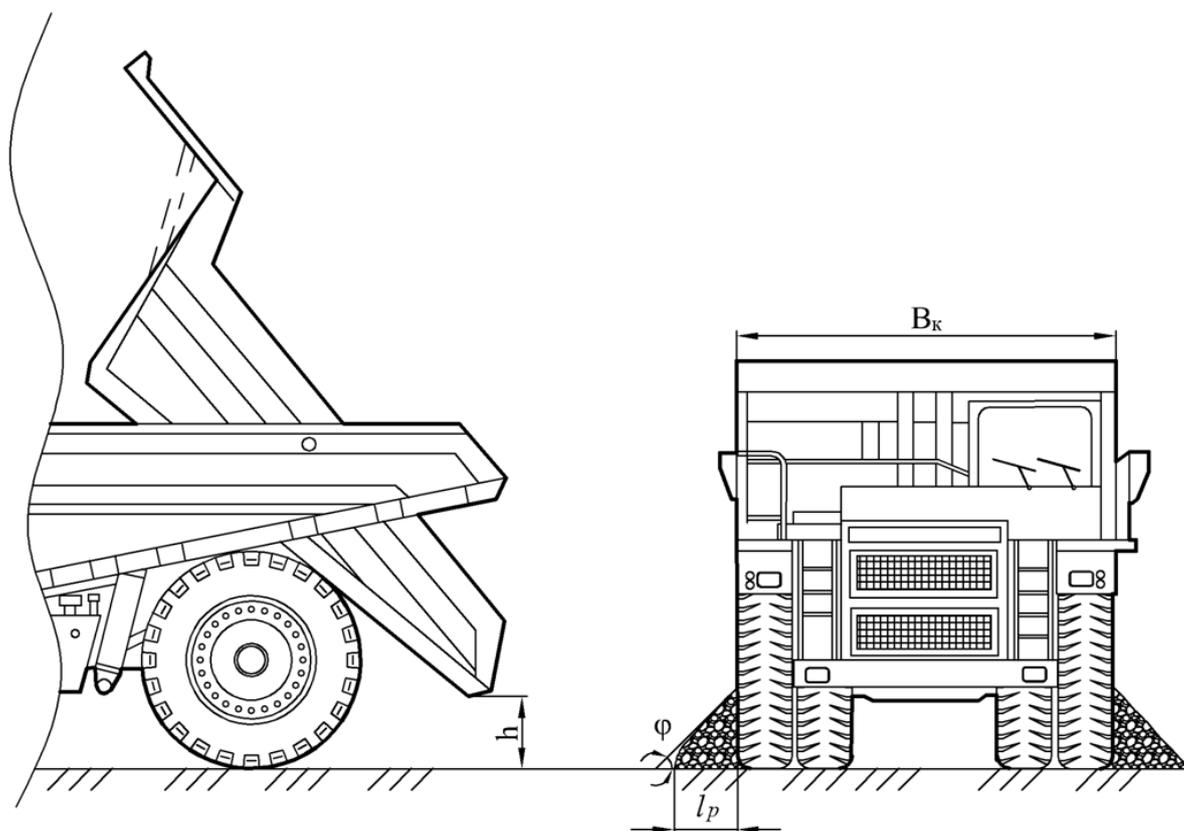


Рисунок 4.8 – Схема автосамосвала БелАЗ:

h – высота разгрузки, м; B_k – внутренняя ширина кузова, м; l_p – расстояние разброса сыпучего материала при разгрузке, м; φ – угол естественного откоса материала, град

Для определения объема бункера зададимся ограничением, что он должен вмещать 1,5 – 2 объема кузова применяемого автосамосвала для непрерывной работы пункта разгрузки. Данным ограничением можно пренебречь, если сортировка технологически связана с дробилкой и загрузка осуществляется конвейером.

Принимаем пирамидальную форму бункера (рисунок 4.9) и определяем остальные геометрические параметры его высоту и длину.

Изложенная авторами методика рекомендует определять размеры бункера через размеры выпускного окна. Поэтому высоту бункера определим в зависимости от размера сторон выпускного отверстия, который в свою очередь, вычислим от размера максимального куска сыпучего материала [66, 75].

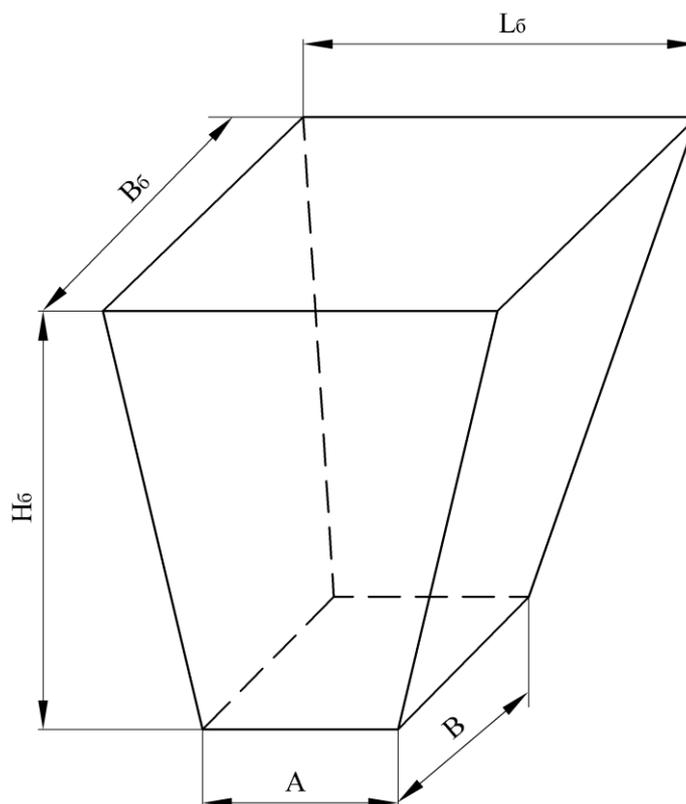


Рисунок 4.9 – Схема пирамидального бункера:

A, B – размеры сторон выпускного отверстия, м; H_6 – высота бункера, м;
 B_6 – ширина бункера, м; L_6 – длина бункера, м

$$A = 2,4 \cdot (0,01 \cdot a_{\max} + 0,08) \operatorname{tg} \varphi, \text{ м}, \quad (4.2)$$

где A – размер стороны выпускного отверстия, м; a_{\max} – максимальный размер куска материала (исходя из размера фракции угля, принимаем 0,3 м), м; φ – угол естественного откоса материала (для угля, принимаем 45°), град.

Подставляя в формулу 4.2 принятые данные, получаем:

$$A = 2,4 \cdot (0,01 \cdot 0,3 + 0,08) \operatorname{tg} 45^\circ = 0,2 \text{ м}.$$

Угол наклона стенок воронки бункера, в нашем случае, принимаем произвольным. Если потребуется полное опорожнение бункера, тогда угол можно принять 50° (угол естественного откоса материала + 5°) [67, 76].

Определим высоту бункера:

$$H_6 = \frac{6V}{(2B_6 + A)B_6 + (2A + B_6) \cdot A}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

где V – объем бункера, м^3 ; B_6 – ширина бункера, м; A – размер стороны выпускного отверстия, м.

Подставляя в формулу значения из таблицы 4.1 для автосамосвала БелАЗ 7540, получим:

$$H_{61} = \frac{6 \cdot 22,65}{(2 \cdot 5,86 + 0,2) \cdot 5,86 + (2 \cdot 0,2 + 5,86) \cdot 0,2} = \frac{135,9}{71,05} = 1,9 \text{ м};$$

$$H_{62} = \frac{6 \cdot 30,2}{(2 \cdot 6,86 + 0,2) \cdot 6,86 + (2 \cdot 0,2 + 6,86) \cdot 0,2} = \frac{181,2}{96,95} = 1,87 \text{ м}.$$

Так как разница между нижним и верхним пределами высот незначительная, то округляем и принимаем $H = 1,9$ м.

Далее определим длину бункера, зная его объем:

$$V_6 = L_6 \cdot B_6 \cdot H_6, \quad (4.4)$$

где H_6 – высота бункера, м; B_6 – ширина бункера, м; L_6 – длина бункера, м.

Преобразовав формулу 4.4 и зная все величины, определим длину бункера L_6 для марки автосамосвала БелАЗ 7540:

$$L_6 = \frac{V_6}{B_6 \cdot H_6} = \frac{30,2}{6,86 \cdot 1,9} = 2,3 \text{ м}.$$

Аналогично, проводим расчеты длин и высот бункера для каждой марки автосамосвала. Результаты приведем в таблице 4.1.

Полученные габаритные размеры бункера соответствуют п. 7.2.1 СНиП 2.09.03-85 устанавливающую высоту вертикальной части, которая не должна превышать полуторного минимального размера в плане [67].

Таблица 4.1 – Зависимость размеров и объема загрузочного бункера от размеров и объема кузова автосамосвала

№ п.п	Марка самосвала	Грузоподъемность автосамосвала, т	Объем кузова (с «шапкой 2:1»), м ³	Высота разгрузки (h), м	Внутренняя ширина кузова (B_k), м	Расстояние, учитывающее разброс сыпучего материала (l_p), м	Объем* бункера ($V_б$), м ³	Ширина** бункера ($B_{3.б}$), м	Длина бункера ($L_{3.б}$), м	Высота бункера ($H_{3.б}$), м
1.	БелАЗ 7540	30	15,1 (24,7)	0,51	3,86	0,51	22,65 – 30,2	5,86 – 6,86	2,3	1,9
2.	БелАЗ 7544	32	14,5 (19,2)	0,65	4,04	0,65	21,75 – 29	6,04 – 7,04	2,4	1,7
3.	БелАЗ 7547	42 - 45	21,5 (35,9)	0,56	4,11	0,56	32,35 – 43	6,11 – 7,11	2,4	2,5
4.	БелАЗ 7545	45	21,1 (29,3)	0,75	4,24	0,75	31,65 – 42,2	6,24 – 7,24	2,5	2,3
5.	БелАЗ 7555	55 - 60	22,3 (51,5)	0,77	4,74	0,77	33,45 – 44,6	6,74 – 7,74	2,6	2,2
6.	БелАЗ 7557	90	37,7 (75)	0,86	5,40	0,86	56,55 – 75,4	7,40 – 8,40	2,9	3,1
7.	БелАЗ 7513	110 - 136	40 - 103,8 (67 – 134,8)	1,2	6,40	1,2	60 – 107,6	6,40 – 9,40	3,2	3,6
8.	БелАЗ 7517	160	65,6 (96,5)	1,7	6,85	1,7	98,4 – 131,2	8,85 – 9,85	3,3	4,0
9.	БелАЗ 7530	220	80 – 117 (112 - 147)	1,5	7,82	1,5	120 – 234	9,82 – 10,82	3,7	5,9

Примечание:

*Объем бункера при расчетах принимаем по большему значению, который составляет 2 объема кузова автосамосвала.

** Ширина бункера (ее диапазон) соответствует сумме внутренней ширины кузова и расстоянию разброса материала: нижний предел = $B_k + 2$ м (по 1 м с каждой стороны), верхний предел = $B_k + 3$ м (по 1,5 м с каждой стороны).

Если перед сортировкой уголь или другой материал проходит дробление, тогда ширина загрузочного бункера грота будет зависеть от ширины бункера, из которого материал попадает на конвейер. Тогда $B_{3.б} = 2 \div 3$ м.

Пропускная способность бункера $Q_б$ (м³/ч) зависит от скорости истечения сыпучих материалов (угля) [68, 69, 70]:

$$Q_б = 3600 \cdot v_{и} \cdot S_{отв.} \quad (4.5)$$

где $v_{и}$ – скорость истечения насыпного груза из бункера, м/с [70, 71, 72]; $S_{отв.}$ – площадь выпускного отверстия, определяемая с учетом кусковатости материала, м².

Минимальная площадь выпускного отверстия бункера, должна отвечать условию:

$$S_{отв.} = (2 \div 3) \cdot a_{\max} \quad (4.6)$$

$$S_{отв.\min} = 2,5 \cdot 0,3 = 0,75 \text{ м}^2$$

где a_{\max} – максимальный размер куска, м.

Зная минимальную площадь выпускного отверстия и один из размеров стороны выпускного окна А (рисунок 4.9, формула 4.2), узнаем размер стороны выпускного окна В (рисунок 4.9):

$$B = \frac{S_{отв.\min}}{A} = \frac{0,75}{0,2} = 0,38 \text{ м}$$

Определим гидравлический радиус выпускного отверстия [66, 72, 78]:

$$R = \frac{S}{\Pi}, \quad (4.7)$$

где S – площадь выпускного отверстия бункера, м²; Π – периметр выпускного отверстия, м.

$$R = \frac{0,75}{0,38 \cdot 2 + 0,2 \cdot 2} = 0,65 \text{ м}$$

Далее определяем скорость истечения материала [66]:

$$v_{и} = 5,65 \cdot \mu \sqrt{R}, \quad (4.8)$$

где μ – коэффициент истечения материала (для угля $\mu = 0,5 - 0,6$); R – гидравлический радиус, м.

$$v_{и} = 5,65 \cdot 0,5 \sqrt{0,65} = 2,3 \text{ м/с}$$

Таким образом, пропускная способность бункера по истечению материала через выпускное отверстие определится (формула 4.5):

$$Q_6 = 3600 \cdot 2,3 \cdot 0,75 = 6210 \text{ м}^3/\text{ч}$$

При расчете производительности струнного грохота необходимо выбрать его конструктивные параметры таким образом, чтобы соблюдалось следующее условие [66]:

$$Q_{\Gamma} > Q_6, \quad (4.9)$$

где Q_{Γ} – производительность грохота, $\text{м}^3/\text{ч}$; Q_6 – пропускная способность загрузочного бункера, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Из формулы 4.5 видно, что основными параметрами, влияющими на пропускную способность бункера, являются: площадь выпускного отверстия S и скорость истечения насыпного груза из бункера $v_{\text{и}}$. Таким образом, регулируя размер выходного отверстия достигаем требуемого объема подачи материала на грохот и дальнейший расчет производительности грохота производится исходя из максимальной пропускной возможности бункера.

В таблице 4.2. приведены значения площади выпускного окна, рассчитанные по формуле 4.5, в зависимости от принятой пропускной способности бункера.

Таблица 4.2 – Площадь выпускного отверстия в зависимости от принятой пропускной способности бункера

Пропускная способность (Q_6), $\text{м}^3/\text{ч}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Площадь выпускного отверстия ($S_{\text{отв.}}$), м^2	0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	0,072	0,084	0,097	0,109	0,121

На рис. 4.10 показана зависимость размера выпускного отверстия от пропускной способности бункера.

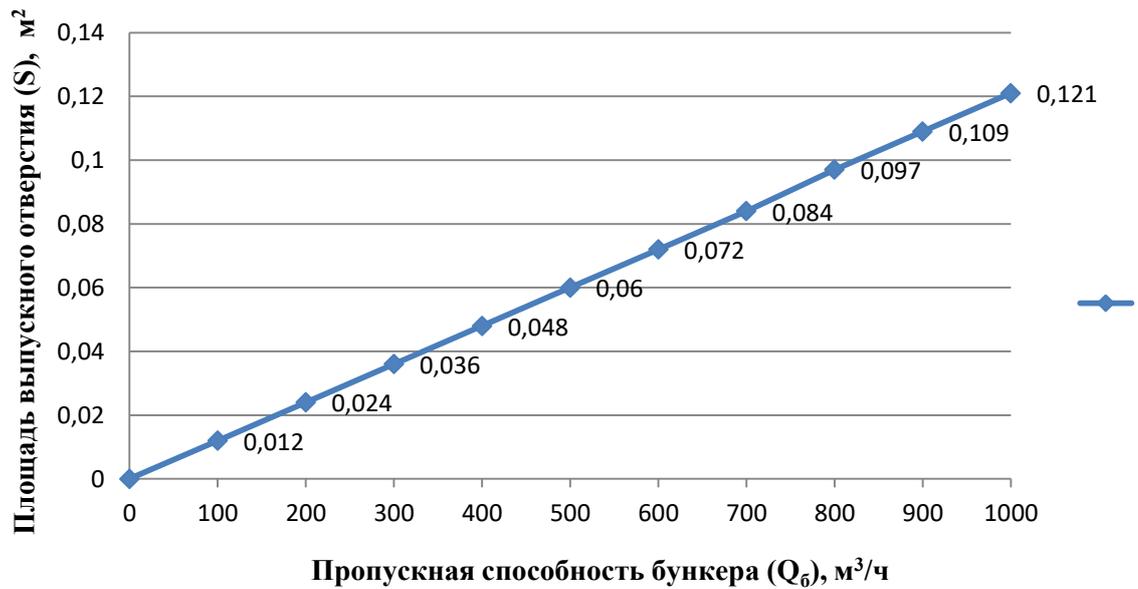


Рисунок 4.10 - Зависимость площади выпускного отверстия S от пропускной способности бункера Q_B

4.1.3 Расчет параметров приемных бункеров струнных грохотов

Расчет габаритных размеров приемных бункеров необходимо начать с определения их количества. Исходя из таблицы 2.1 (глава 2) классификации углей по крупности, примем количество приемных бункеров, равным шести.

Длины приемных бункеров определяются по формуле:

$$L_{п.б.} = 3 \cdot a_{\max}, \text{ м}, \quad (4.10)$$

где $L_{п.б.}$ – длина приемных бункеров, м; a_{\max} – максимальный размер куска угля, м.

Полученные длины приемных бункеров приведены в таблице 4.3.

Несмотря на то, что длины приемных бункеров достаточны для временного хранения отсортированного материала, тем не менее, если возникнет необходимость обеспечения большего запаса и регулирования грузопотока возможно увеличение их длины, но не более величины, равной длине просеивающих поверхностей.

Ширина приемных бункеров принимается равной ширине загрузочного бункера или может быть увеличена в зависимости от ширины просеивающих поверхностей.

$$B_{п.б.} = B_{з.б.} \quad (4.11)$$

Соответственно, исходя из данных таблицы 4.1, ширину приемных бункеров принимаем равной ширине загрузочного бункера, в зависимости от марки автосамосвала.

Высоты приемных бункеров зависят от длины и гранулометрического состава сортируемого угля:

$$H_{п.б.} = f(a; L_{п.б.}). \quad (4.12)$$

Следуя условию п. 7.2.1 СНиП 2.09.03-85 устанавливающую высоту вертикальной части, которая не должна превышать полуторного минимального размера в плане [67], определим максимально допустимую высоту приемных бункеров:

$$H_{п.б.} \leq 1,5 \cdot L_{п.б. \max}, \quad (4.13)$$

где $L_{п.б. \max}$ – максимальная длина приемного бункера, м.

$$H_{п.б.} \leq 1,5 \cdot 0,9 = 1,35 \text{ м}$$

Таблица 4.3. Параметры приемных бункеров

№ п/п	Класс крупности	a_{\max} , М	$L_{п.б.}$, М	$H_{п.б.}$, М	$B_{п.б.}$, М
1	Штыб	0,006	0,018	0,03	Принимается равной ширине загрузочного бункера, в зависимости от марки автосамосвала (табл. 4.1)
2	Семечко	0,013	0,039	0,06	
3	Мелкий	0,025	0,075	0,11	
4	Орех	0,05	0,15	0,23	
5	Крупный кулак	0,1	0,3	0,45	
6	Плитный	0,3	0,9	1,35	

Приемные бункеры выполняют функцию буферного звена перед транспортированием отсортированного материала, поэтому их пропускная способ-

ность определяется скоростью наполнения отсортированным материалом и периодичностью открывания шиберных затворов для опорожнения.

4.1.4 Расчет параметров передней стенки струнных грохотов

Передняя стенка предлагаемых грохотов служит для набора необходимой движущей силы для вращения кантователей и предотвращения или уменьшения раскалывания кусков угля.

Ширину передней стенки, принимаем равной ширине загрузочного бункера:

$$B_{п.с.} = B_{з.б.} \quad (4.14)$$

Длина передней стенки определится исходя из количества просеивающих секций, а также от нее будет зависеть величина силы, которую необходимо набрать куску угля, для осуществления вращения кантователя $F_{Д.об.}$

Угол установки передней стенки β , влияющий на скорость движения сортируемого материала, должен регулироваться по типу просеивающего материала и в зависимости от его свойств.

Пределы изменения угла наклона $\beta = 50 - 85^\circ$. При необходимости увеличения скорости движения материала по канатному полю угол наклона передней стенки необходимо увеличить или уменьшить, если требуется снижение скорости.

Таким образом, длина передней стенки определится, исходя из скорости истечения материала (формула 4.8), а также в зависимости от угла наклона передней стенки [58]:

$$L_{п.с.} = \frac{v_n^2}{2g \sin \beta}, \quad (4.15)$$

Определим длину передней стенки для угла наклона $\beta = 50^\circ$:

$$L_{п.с.} = \frac{2,3^2}{2 \cdot 9,8 \cdot \sin 50^\circ} = 0,35 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитаем длину передней стенки для различных углов наклона передней стенки β . Результаты представлены в таблице 4.3.

Зная длину передней стенки, определим ее высоту:

$$H_{п.с.} = L_{п.с.} \cdot \sin \beta \quad (4.16)$$

$$H_{п.с.} = 0,35 \cdot \sin 50^\circ = 0,27 \text{ м}$$

Аналогично определяем высоту передней стенки для соответствующей длины и угла наклона. Результаты сведены в таблицу 4.4.

Движущую силу при скольжении угля по наклонной стенке, определяем [58]:

$$F_{I, Длн.с.} = m_1 \cdot g \cdot (\sin \beta - k_{тр.лн.с.} \cdot \cos \beta), \text{ Н} \quad (4.17)$$

Удельный вес угля изменяется в пределах $1,2 - 1,5 \text{ кг/м}^3$ [60]. При расчете примем 1 м^3 угля равный массе $m = 1,3 \text{ т}$. Коэффициент трения угля по стали составляет $k_{тр} = 0,11$ [54] (если передняя стенка выполнена из стали).

Рассчитанные силы инерции при различных углах наклона передней стенки приведены в таблице 4.4.

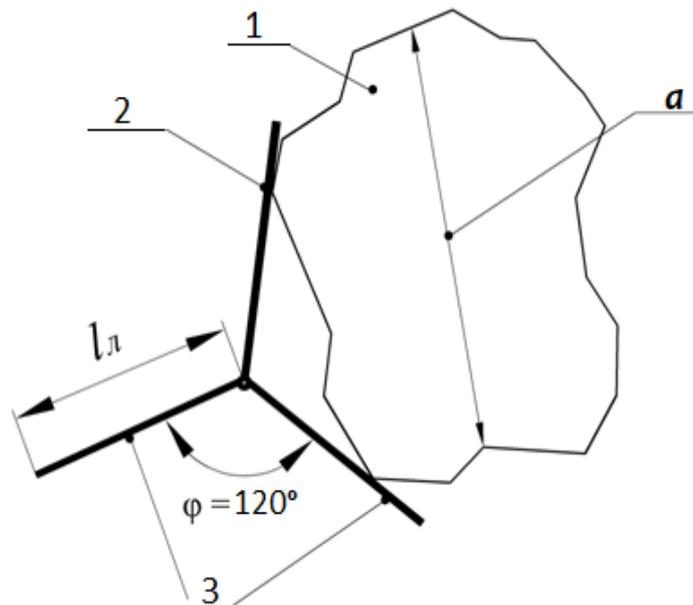
Таблица 4.4. Результаты расчетов длины, высоты передней стенки и силы инерции

Угол наклона передней стенки, β , град	50	55	60	65	70	75	80	85
Длина передней стенки, $L_{п.с.}$, м	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21
Высота передней стенки, $H_{п.с.}$, м	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,22	0,20
Движущая сила, $F_{I, Длн.с.}$, Н	6497,4	7516,6	8535,8	9427,6	10192	11083,8	11593,4	12103

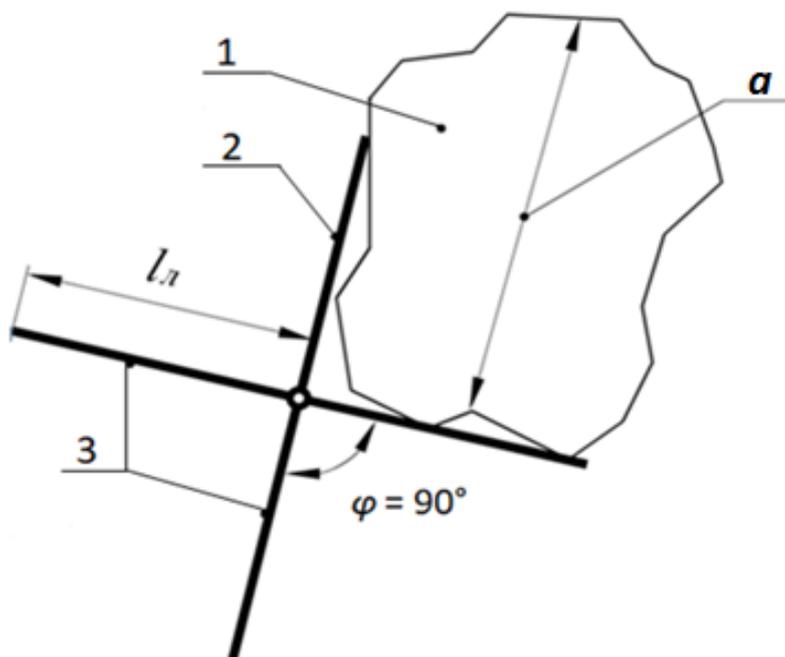
4.1.5 Обоснование конструктивных параметров кантователей струнных грохотов

При рассмотрении конструкций струнных грохотов, одним из важных элементов, влияющих на качество сортировки, являются кантователи, которые служат для переворачивания куска угля при сортировке, тем самым улучшая качество сортировки угля по крупности.

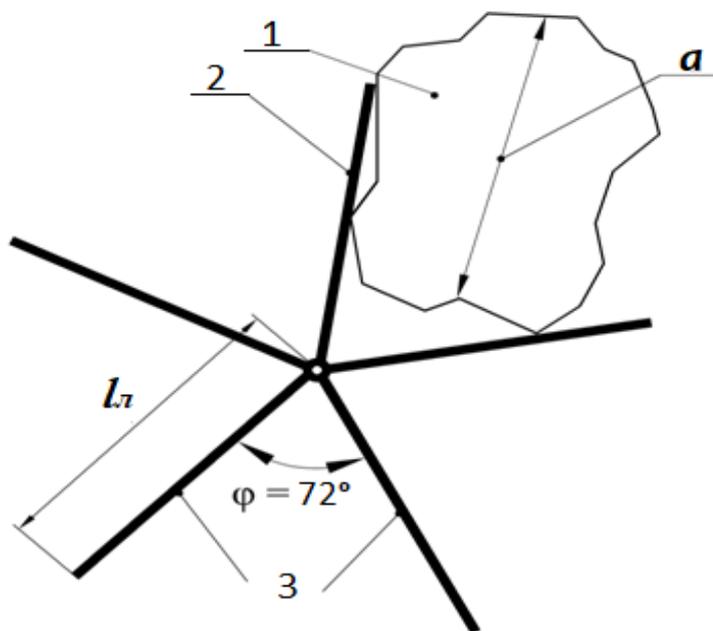
Кантователь может быть конструктивно исполнен с 3-мя, 4-мя, 5-ю или 6-ю лопатками. Моделирование процесса показывает (рисунки 4.11- *а*; 4.11- *б*; 4.11- *в*;) что для фракций угля с размером куска от 300 до 13 мм, можно применять кантователи с 4, 5, или 6-ю лопатками. Кантователь с 3-мя лопатками по результатам моделирования не будет выполнять качественное переворачивание кусочка, т.к. угол между лопатками способствует скатыванию кусочка по нисходящей лопатке (рисунок 4.11- *а*) [79].



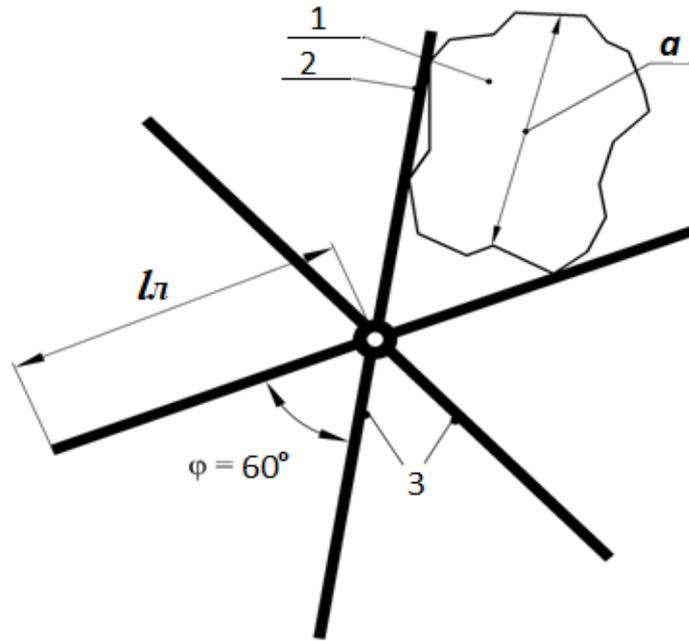
а) кантователь с 3-мя лопатками



б) кантователь с 4-мя лопатками



в) кантователь с 5-ю лопатками



з) кантователь с 6-ю лопатками

Рисунок 4.11- а, б, в, г – Моделирование процесса переворачивания куска угля кантователем (М 1:5, кусок угля размером, $a = 300$ мм): 1 – кусок угля; 2 – кантователь; 3 – лопатки кантователя; a - размер куска угля, мм; φ – угол между лопатками кантователя, град.;

l_l – длина лопатки кантователя, мм

Количество лопаток в кантователе и минимально необходимую длину лопатки определяем графически, построив в масштабе взаимодействие куска угля с лопаткой (рисунки 4.11- а, б, в) и выполнив необходимые замеры длины лопатки по каждому классу фракции угля. Результаты замеров приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Длина лопаток кантователей

Размер фракции угля, a , мм	Минимальная длина лопатки кантователя, l_l , мм		
	Кантователь с 4-мя лопатками	Кантователь с 5-ю лопатками	Кантователь с 6-ю лопатками
13	12	13	18
25	20	25	30
50	40	50	60
100	80	100	120
300	180	250	330

По результатам графического моделирования процесса, можно сделать вывод о том, что, наиболее оптимальным решением будет применение кантователя с 4-мя лопатками, позволяющего выполнять качественное переворачивание куска угля, что приведет к улучшению сортировки по фракциям. Применение кантователей с 5-ю и 6-ю лопатками является избыточным, т.к. приводит к увеличению длины лопатки, что особенно значимо с увеличением размера фракции сортируемого угля.

4.2. Расчет параметров струнного грохота

В определении параметров струнного грохота большое значение имеют длины просеивающих секций, зависящие от количества просеивающих секций, а также от угла установки наклонной стенки и угла наклона просеивающей секции.

4.2.1 Расчет параметров просеивающих секций струнного грохота

Струнный грохот, состоит из просеивающих секций (глава 2, рисунок 2.1), количество которых определяется заказчиком (таблица 4.5). Таким образом, на первой просеивающей секции (сверху вниз) остается уголь самой крупной фракции, и затем на каждой последующей секции фракция угля уменьшается.

Определяемыми параметрами просеивающих секций являются: ширина, длина, расстояние между просеивающими секциями по высоте.

Ширина просеивающих секций напрямую связана с размерами загрузочного бункера и передней стенки, а именно с их шириной.

Таким образом,

$$B_{\text{пр.с.}} = B_{\text{з.б.}} = B_{\text{п.с.}} \quad (4.18)$$

Значения ширины приведены в таблице 4.3.

Расчет длин просеивающих секций лучше начать с самой нижней секции, и рассматривать ее как первую просеивающую секцию.

Длина просеивающих секций будет зависеть от длины приемных бункеров $L_{п.б.}$, углов наклона передней стенки β и просеивающих секций α , а также от расстояния между просеивающими секциями s и высот от приемных бункеров до просеивающих секций. На рисунке 4.12 приведены необходимые параметры для расчета.

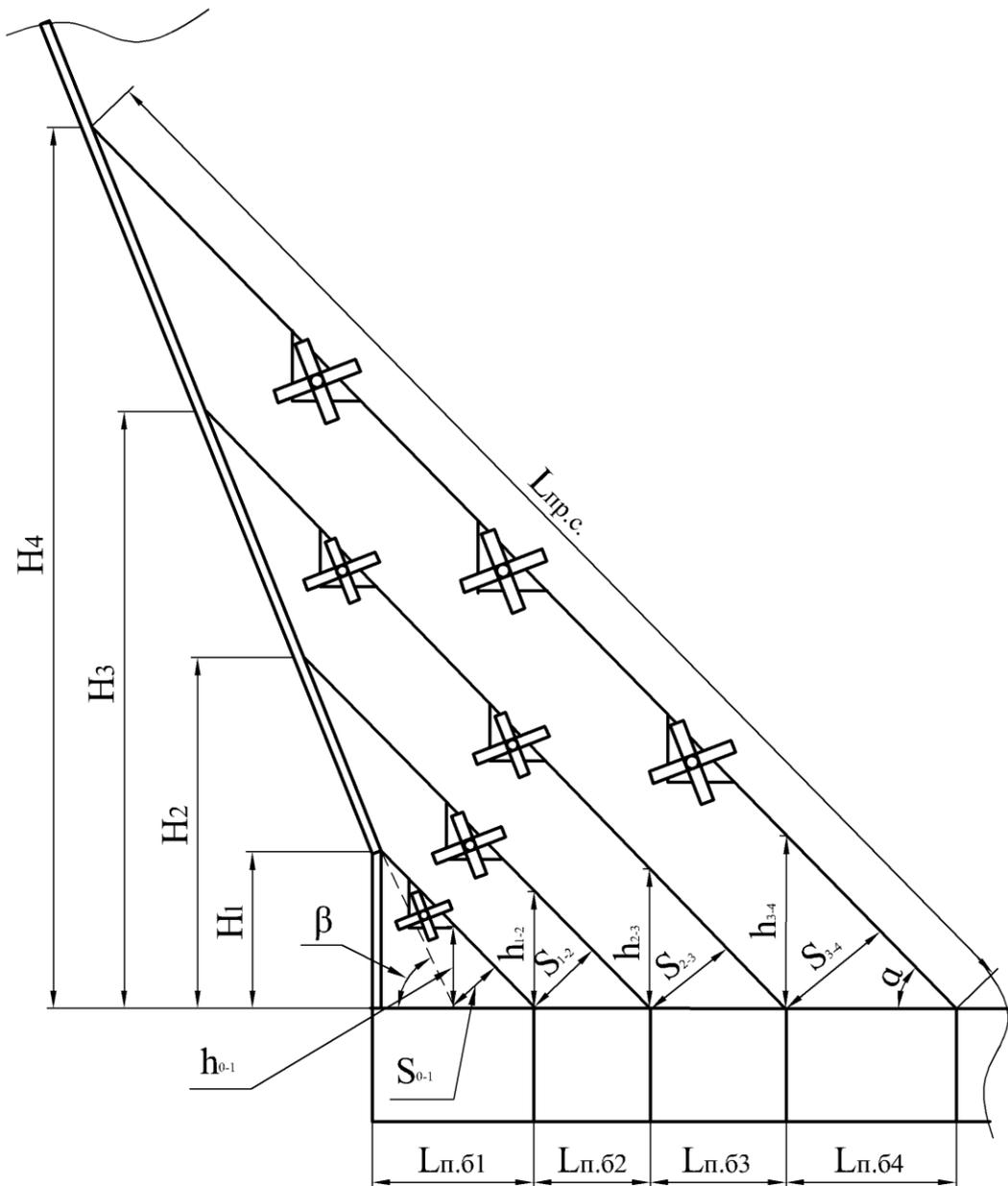


Рисунок 4.12 – Схема струнного грохота для расчета параметров:

$L_{п.б1}, L_{п.б2}, L_{п.б3}, L_{п.б4}$, - длины 1, 2, 3, 4-го приемных бункеров, м; H_1, H_2, H_3, H_4 – высоты от верха приемных бункеров до крепления 1, 2, 3, 4 – ой просеивающей секции, м; $L_{пр.с}$ – длина

просеивающей секции, м; $s_{0-1}, s_{1-2}, s_{2-3}, s_{3-4}$ – расстояние между просеивающими секциями, м;

$h_{0-1}, h_{1-2}, h_{2-3}, h_{3-4}$ – высота от приемных бункеров до просеивающих секций, м;

α – угол наклона просеивающей секции, град; β – угол наклона передней стенки, град

Для определения длины просеивающих секций, необходимо найти высоту от приемных бункеров до просеивающих секций [73]:

$$h_{\text{расч.}} = \operatorname{tg}\alpha \cdot L_{\text{п.б.}}, \text{ м}, \quad (4.19)$$

где α – угол наклона просеивающих секций, град; $L_{\text{п.б.}}$ – длина соответствующего приемного бункера, м (значения приведены в табл. 4.3).

Для расчетов угол наклона просеивающих секций α задается и может принимать значения в пределах $40 - 55^\circ$, принимаем $\alpha = 50^\circ$.

Рассчитаем для примера высоту h_{0-1} от 1-го приемного бункера (слева) до первой просеивающей секции (снизу):

$$h_{0-1\text{расч}} = \operatorname{tg}50^\circ \cdot 0,18 = 0,02\text{ м}$$

Аналогично, рассчитываем высоты $h_{1-2}, h_{2-3}, h_{3-4}, h_{4-5}, h_{5-6}$ и заносим полученные значения в таблицу 4.5.

Полученные значения высот h являются расчетными и применимы для идеальных условий сортировки.

Так как поступление угля на просеивающие поверхности регулируется открыванием (закрыванием) шиберного затвора загрузочного бункера, рассчитанные минимальные высоты между просеивающими секциями мы можем увеличить до значений, равных по высоте 3-м кусочкам угля (соответствующей фракции), исходя из конструкции струнного грохота и с учетом неидеальных условий.

С учетом вышесказанного принимаем высоту h , равную:

$$h_{\text{прин.}} = 3 \cdot a_{\text{max}} + \Delta, \quad (4.20)$$

где a_{\max} – максимальный размер куска угля, получаемый при сортировке на определенной просеивающей секции, м; Δ – величина, учитывающая реальные условия сортировки и препятствующая затору горной массы на грохоте, м (принимаем $\Delta = 0,5 - 1,5$ м, по нарастающей от 1 до 6 просеивающей секции, снизу вверх).

$$h_{0-1\text{прин.}} = 3 \cdot 0,006 + 0,5 = 0,52 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитываем остальные принимаемые высоты и заносим в таблицу 4.5.

Тогда, исходя из полученных принимаемых высот от приемного бункера до просеивающей секции, соответственно увеличатся и длины самих приемных бункеров:

$$L_{\text{п.б.прин.}} = \frac{h_{\text{прин.}}}{\text{tg}\alpha}, \text{ м.} \quad (4.21)$$

Полученные значения принимаемых длин приемных бункеров также заносим в таблицу 4.5.

Расстояние между просеивающими секциями s также зависит от крупности сортируемого материала, поэтому с уменьшением фракции на каждой последующей просеивающей секции расстояние между ними, соответственно, уменьшается.

Определяем расстояние между просеивающими секциями (снизу вверх (s_{0-1} , s_{1-2} , s_{2-3} , s_{3-4} , s_{4-5} , s_{5-6}), рисунок 4.12), исходя из принятой длины приемных бункеров ($L_{1\text{п.б.прин.}}$, $L_{2\text{п.б.прин.}}$, $L_{3\text{п.б.прин.}}$, $L_{4\text{п.б.прин.}}$, $L_{5\text{п.б.прин.}}$, $L_{6\text{п.б.прин.}}$) [73]:

$$s = \sin\alpha \cdot L_{\text{п.б.прин.}}, \quad (4.22)$$

где α – угол наклона просеивающих секции, град ($\alpha = 50^\circ$); $L_{\text{п.б.прин.}}$ – длина соответствующего приемного бункера, м (таблица 4.5).

Полученные данные приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Параметры просеивающих секций струнного грохота

№ п/п	Класс крупности (размер куска, м)	Длина приемного бункера, $L_{п.б.},$ м		Высота от приемных бункеров до просеива- ющих секций, $h,$ м		Расстояние между про- сеиваю- щими сек- циями, $s,$ м	Длина про- сеивающей секции, $L_{пр.с.},$ м	Высота от верха при- емных бунке- ров до крепле- ния просеива- ющих секций, $H,$ м;	Ширина просеи- вающей секции, $B_{пр.с.},$ м
		$L_{п.б.расч.},$	$L_{п.б.прин.},$	$h_{расч.}$	$h_{прин.}$				
1	Штыб (0,006)	0,018	0,4	0,02	0,52 (h_{0-1})	0,32 (s_{0-1})	0,78	0,61	Принимается равной ширине загрузочного бункера, в зави- симости от мар- ки автосамосва- ла (табл. 4.1)
2	Семечко (0,013)	0,039	0,6	0,05	0,74 (h_{1-2})	0,48 (s_{1-2})	1,96	1,54	
3	Мелкий (0,025)	0,075	0,8	0,09	0,97 (h_{2-3})	0,64 (s_{2-3})	3,52	2,76	
4	Орех (0,05)	0,15	1,1	0,18	1,25 (h_{3-4})	0,88 (s_{3-4})	5,68	4,46	
5	Крупный кулак (0,1)	0,3	1,3	0,36	1,6 (h_{4-5})	1,04 (s_{4-5})	8,23	6,47	
6	Плитный (0,3)	0,9	2,0	1,07	2,4 (h_{5-6})	1,6 (s_{5-6})	12,15	9,55	

Для расчета длин просеивающих секций воспользуемся теоремой синусов [72] и получим соотношение:

$$\frac{L_{\text{п.б.прин.}}}{\sin(180^\circ - (180^\circ - \beta) - \alpha)} = \frac{L_{\text{пр.с.}}}{\sin(180^\circ - \beta)} \quad (4.23)$$

Отсюда, получаем:

$$L_{\text{пр.с.}} = \frac{L_{\text{п.б.прин.}} \cdot \sin(180^\circ - \beta)}{\sin(180^\circ - (180^\circ - \beta) - \alpha)}, \text{ м}, \quad (4.24)$$

где $L_{\text{пр.с.}}$ – длина просеивающей секции, м; β – угол наклона передней стенки, град; α – угол наклона просеивающих секции, град, ($\alpha = 50^\circ$); $L_{\text{п.б.прин.}}$ – принимаемая длина приемного бункера, соответствующая определенной просеивающей секции, м.

Угол наклона передней стенки β , регулируемый по типу просеивающего материала и в зависимости от его свойств, может изменяться в пределах от 55° – 89° . Для расчета принимаем $\beta = 80^\circ$.

Тогда длина 1-ой просеивающей секции будет равна:

$$L_{\text{пр.с.}} = \frac{L_{1\text{п.б.}} \cdot \sin(180^\circ - \beta)}{\sin(180^\circ - (180^\circ - \beta) - \alpha)}, \quad (4.25)$$

где $L_{1\text{п.б.}}$ – принимаемая длина 1-го приемного бункера, находящегося под 1-ой просеивающей секцией, м (табл. 4.5).

$$L_{1\text{п.пр.}} = \frac{0,4 \cdot \sin(180^\circ - 80^\circ)}{\sin(180^\circ - (180^\circ - 80^\circ) - 50^\circ)} = 0,78 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитываем 2, 3, 4, 5, 6-ю просеивающие секции. Только длины приемных бункеров под соответствующей просеивающей секцией необходимо суммировать (рисунок 4.12). Результаты представлены в таблице 4.4.

Далее длины просеивающих секций просчитаем по формуле 4.22, изменяя один из углов (α или β) с шагом 5° . В первом случае, постоянным оставим угол наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$, а угол наклона просеивающих секций будем менять от 40 до 55° .

Во втором случае, постоянным оставим угол наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$, а угол наклона передней стенки будем менять от 55 до 85° . Полученные результаты расчетов представлены в таблице 4.5 и в виде графических зависимостей на рисунках 4.13, 4.14.

Анализируя рисунок 4.12, необходимо определить высоты от верха приемных бункеров до крепления 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ой просеивающей секции $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6$.

Определим их, также, используя теорему синусов:

$$H = \frac{\sin \alpha \cdot L_{\text{пр.с.}}}{\sin(180^\circ - \beta)}, \text{ м}, \quad (4.26)$$

где H - высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, м; $L_{\text{пр.с.}}$ – длина соответствующей просеивающей секции (1, 2, 3, 4, 5, 6 - ой), м; β – угол наклона передней стенки, град, ($\beta = 80^\circ$); α – угол наклона просеивающих секции, град, ($\alpha = 50^\circ$).

Рассчитаем высоту до крепления первой просеивающей секции:

$$H_1 = \frac{\sin 50^\circ \cdot 0,78}{\sin(180^\circ - 80^\circ)} = 0,61 \text{ м.}$$

Аналогичным образом находим остальные высоты и вносим полученные значения в таблицу 4.5.

В зависимости от количества просеивающих секций (определяется в зависимости от количества фракций угля, которые необходимо получить при сортировке) будет меняться высота грохота (H_T), а также высота его передней стенки ($H_{\text{п.с.}}$).

Таблица 4.6 – Длины просеивающих секций при изменении углов

№ просеивающей секции, (размер фракции, мм)	Угол наклона передней стенки β , град	Длина просеивающей секции при изменении угла наклона просеивающей секции α , град				Угол наклона просеивающей секции	Длина просеивающей секции при изменении угла наклона передней стенки β , град						
		40	45	50	55		55	60	65	70	75	80	85
1 (6мм)	80	1,1	0,9	0,78	0,86	50	3,9	2,2	1,5	1,2	0,98	0,78	0,75
2 (13 мм)		2,6	2,2	1,96	2,1		9,6	5,4	3,7	2,9	2,4	1,7	1,6
3 (25)		4,5	3,8	3,5	3,7		16,9	9,5	6,5	5,1	4,2	3,5	3,2
4 (50 мм)		7,1	5,9	5,7	5,8		26,4	14,8	10,1	8,0	6,6	5,7	5,0
5 (100 мм)		10,3	8,7	8,2	8,4		38,5	21,6	14,8	11,7	9,7	8,23	7,3
6 (300 мм)		15,2	12,9	12,1	12,4		56,7	31,9	21,8	17,2	14,2	12,1	10,8

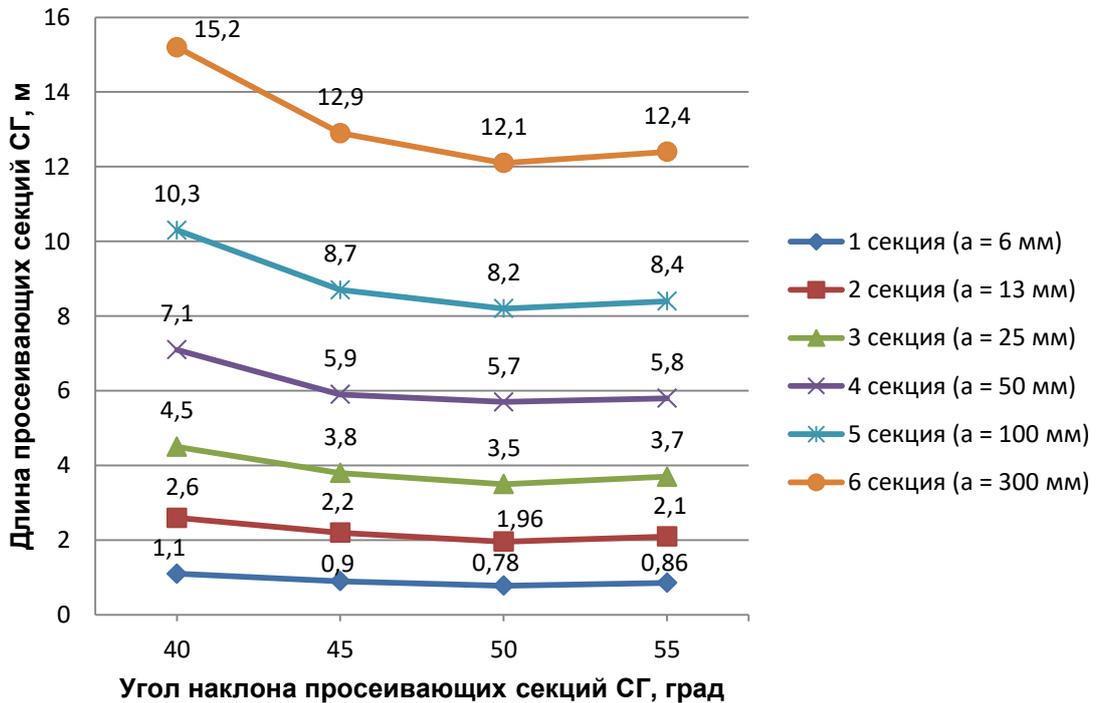


Рисунок 4.13 – Зависимость длины просеивающих секций СГ от угла наклона просеивающих секций

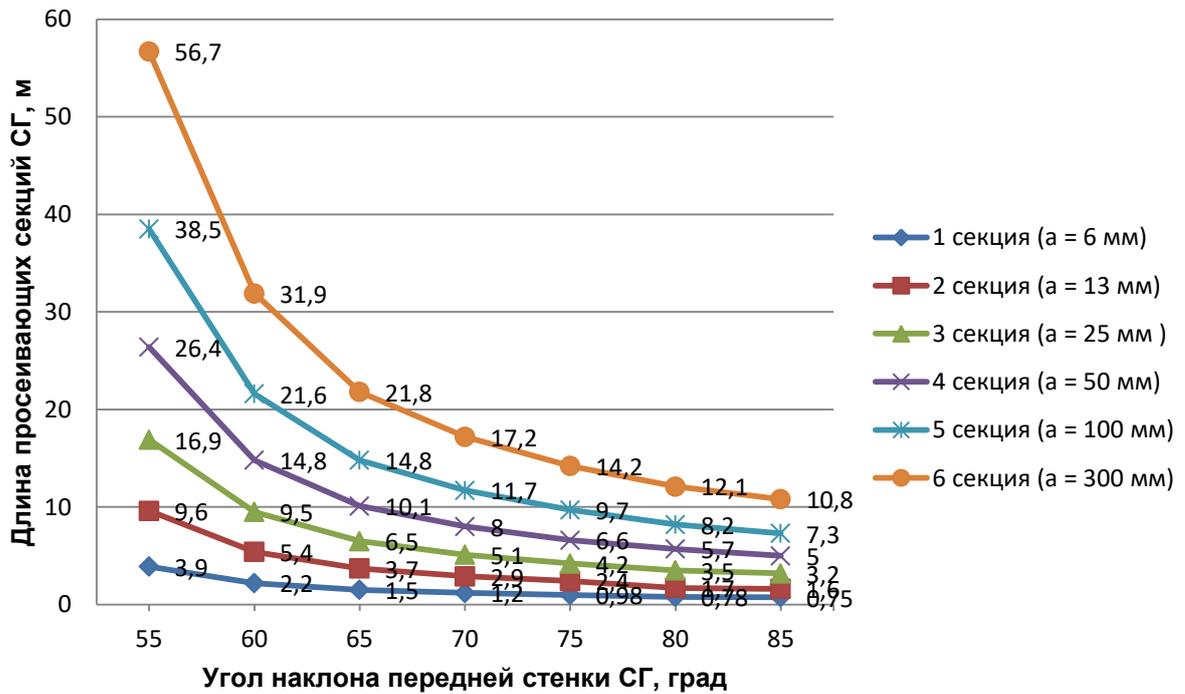


Рисунок 4.14 – Зависимость длины просеивающих секций СГ от угла наклона передней стенки

Анализ полученных данных по расчету длины просеивающих секций в зависимости от угла их наклона, позволяет сделать вывод о том, что оптимальным углом наклона просеивающих секций является угол $\alpha = 50^\circ$, при котором длина просеивающих секций минимальна (рисунок 4.13).

В свою очередь зависимость длины просеивающих секций от угла наклона передней стенки (рисунок 4.14) показывает, что с увеличением угла β , длина просеивающих секций уменьшается, и оптимальное значение угла будет определяться исходя из определения эффективности сортировки.

4.2.2. Определение габаритов струнного грохота

Габаритами струнного грохота являются: длина (L), ширина (B) и высота (H). На рисунке 4.15 приведена упрощенная схема струнного грохота для определения его длины и высоты.

Длина грохота будет зависеть от количества приемных бункеров (их длины), которое в свою очередь зависит от количества просеивающих секций грохота, а также от угла наклона передней стенки β .

Таким образом, длина грохота с 6-ю просеивающими секциями определится:

$$L = (L_{п.6.1} + L_{п.6.2} + L_{п.6.3} + L_{п.6.4} + \dots L_{п.6.n}) + \frac{H_{\max}}{\operatorname{tg}\beta} + L_{з.б.}, \text{ м}, \quad (4.27)$$

где $L_{п.6.1} - L_{п.6.n}$ - длины приемных бункеров (принимаемые, таблица 4.5), м; H_{\max} - максимальная высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций (при 6-ти просеивающих секциях, таблица 4.5), м; β - угол наклона передней стенки ($50 - 85^\circ$); $L_{з.б.}$ - длина загрузочного бункера (в случае его расположения не над просеивающей поверхностью грохота (рисунок 4.15), м.

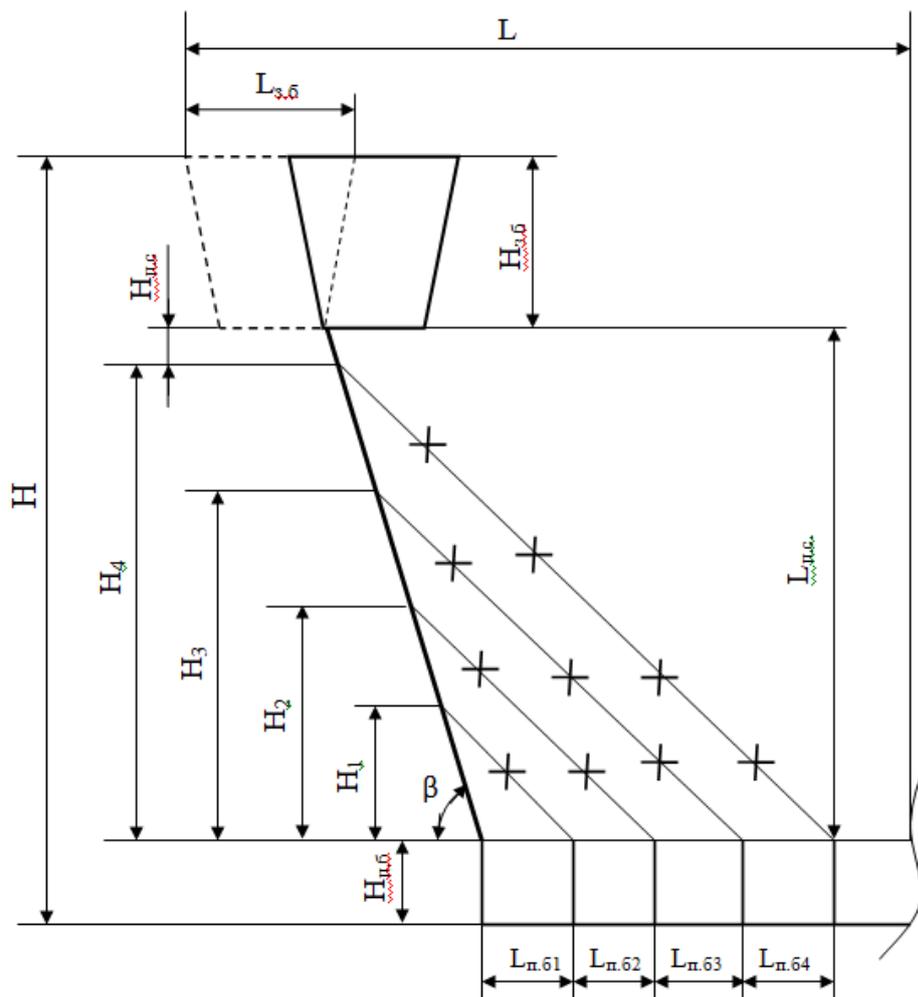


Рисунок 4.15 – Упрощенная схема струнного грохота

Для угла наклона передней стенки 50° грохота с 6-ю просеивающими секциями (при этом, не включая длину загрузочного бункера) получаем длину струнного грохота:

$$L = (0,4 + 0,6 + 0,8 + 1,1 + 1,3 + 2,0) + \frac{9,55}{\operatorname{tg}50^\circ} = 6,2 + 8,0 = 14,2 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитаем длину грохота с учетом изменения угла наклона передней стенки с шагом в 5° и количества просеивающих секций. Полученные результаты приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Длина струнного грохота

Количество просеивающих секций струнного грохота снизу вверх (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.5)	Угол наклона передней стенки, β , град.							
		50	55	60	65	70	75	80	85
		Длина грохота, L, м							
1 (6 мм)	0,61	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6	0,56	0,5	0,45
2 (13 мм)	1,54	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
3 (25 мм)	2,76	4,1	3,7	3,4	3,1	2,8	2,5	2,3	2,0
4 (50 мм)	4,46	6,6	6,0	5,5	5,0	4,5	4,1	3,7	3,3
5 (100 мм)	6,47	9,6	8,7	7,9	7,2	6,6	5,9	5,3	4,8
6 (300 мм)	9,55	14,2	13,0	11,8	10,7	9,7	8,8	7,9	7,04

Графическая зависимость длины струнного грохота от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.16.

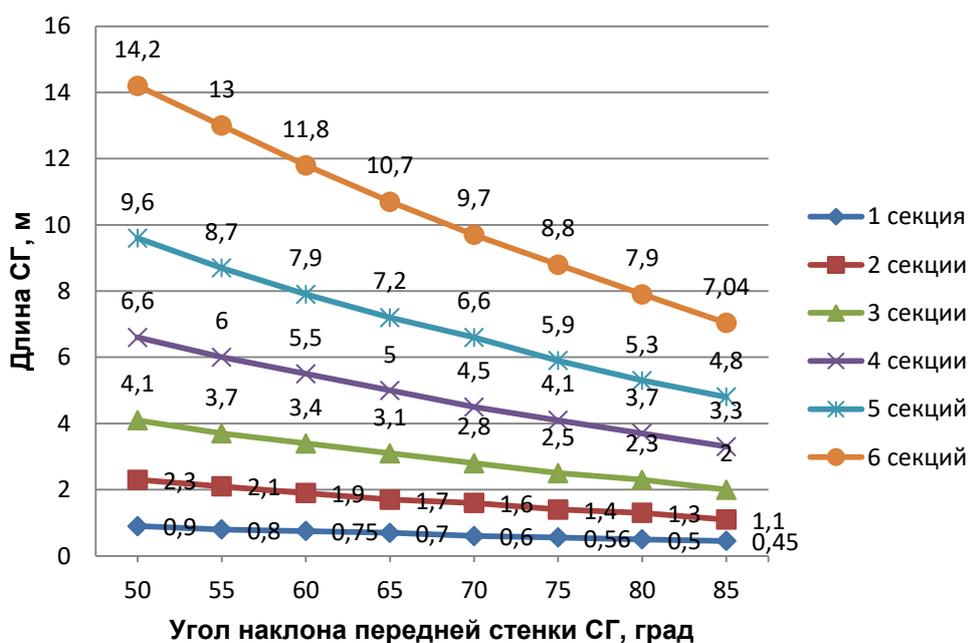


Рисунок 4.16 – Зависимость длины СГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки

Также возможна сортировка, с получением определенной фракции или нескольких фракций, при установке на грохот необходимых просеивающих секций. При этом длина струнного грохота также будет меняться. Рассмотрим пример, когда используются по две просеивающих секции, при этом угол наклона передней стенки будет меняться $\beta = 50^\circ - 80^\circ$ (с шагом 10°). Результаты расчетов приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 Длина струнного грохота в зависимости от установленных просеивающих секций (получаемой фракции)

Установленные просеивающие секции (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.5)	Длина грохота, м
1	2	3
Угол наклона передней стенки $\beta = 50^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,54	2,3
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,76	3,5
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,46	5,2
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,47	7,1
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,55	10,4
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,76	3,7
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,46	5,4
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,47	7,3

1	2	3
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,55	10,6
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,46	5,6
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,47	7,5
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,55	10,8
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,47	7,8
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,55	11,1
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,55	11,3
Угол наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,54	1,9
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,76	2,8
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,46	4,1
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,47	5,4
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,55	7,9
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,76	3,0
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,46	4,3
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,47	5,6
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,55	8,1
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,46	4,5
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,47	5,8
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,55	8,3
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,47	6,1
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,55	8,6
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,55	8,8
Угол наклона передней стенки $\beta = 70^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,54	1,6
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,76	2,2
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,46	3,1
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,47	4,0
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,55	5,9
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,76	2,4
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,46	3,3
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,47	4,2
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,55	6,1
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,46	3,5
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,47	4,4
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,55	6,3
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,47	4,7
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,55	6,6
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,55	6,8
Угол наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,54	1,3
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,76	1,69
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,46	2,2
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,47	2,8
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,55	4,1
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,76	1,9
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,46	2,5
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,47	3,0
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,55	4,3

1	2	3
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,46	2,7
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,47	3,2
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,55	4,5
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,47	3,5
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,55	4,8
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,55	5,0

Графическая зависимость длины струнного грохота от установленных просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.17.

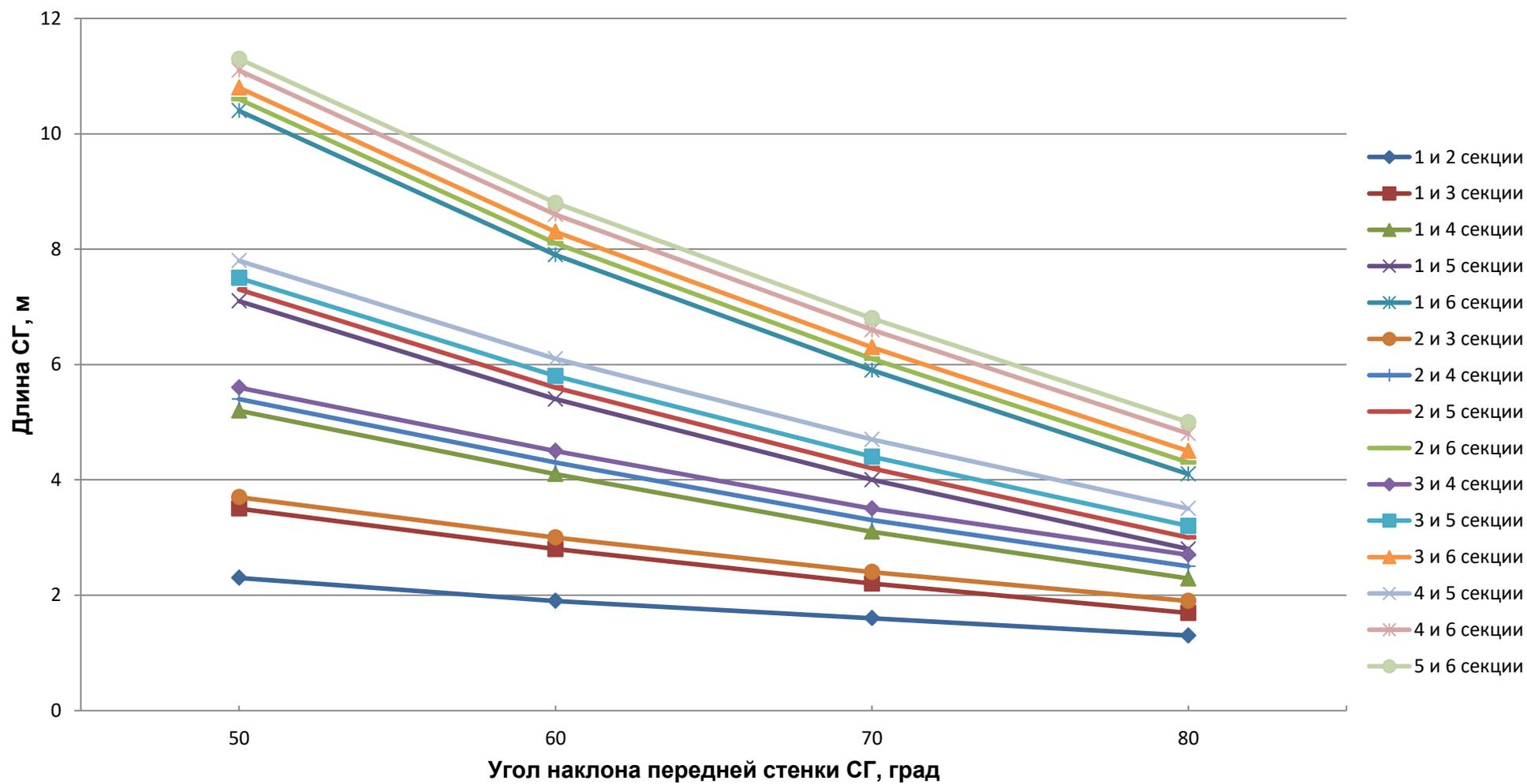


Рисунок 4.17 – Зависимость длины струнного грохота от установленных просеивающих секций (получаемой фракции) и угла наклона передней стенки

Ширина струнного грохота B зависит от ширины загрузочного бункера $B_{з.б.}$, которая в свою очередь будет зависеть от марки автосамосвала или ширины конвейера, если до сортировки рядовой уголь проходит дробление, поэтому:

$$B = B_{з.б.} \quad (4.28)$$

Числовые значения ширины загрузочного бункера в зависимости от марки автосамосвала приведены в таблице 4.1.

Высота грохота определяется исходя из высоты приемных бункеров и высот от верха приемных бункеров до крепления 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ой просеивающей секции H_{1-6} , а также высоты загрузочного бункера:

$$H = H_{п.б.} + H_{1-6} + H_{п.с.} + H_{з.б.}, \text{ м}, \quad (4.29)$$

где $H_{п.б.}$ – высота приемных бункеров; H_{1-6} – высота от верха приемных бункеров до места крепления просеивающих секций; $H_{п.с.}$ – высота наклонной передней стенки (таблица 4.3); $H_{з.б.}$ – высота загрузочного бункера.

В свою очередь, высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} будет меняться в зависимости от угла наклона передней стенки. Рассчитанные значения этих высот приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Значения высот H_{1-6}

Угол наклона передней стенки, β , град.	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м					
	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)
50	0,78	1,96	3,52	5,68	8,23	12,15
55	0,73	1,84	3,30	5,33	7,73	11,41
60	0,69	1,73	3,11	5,03	7,28	10,75
65	0,66	1,66	2,98	4,81	6,96	10,28
70	0,64	1,60	2,88	4,65	6,74	9,95
75	0,62	1,57	2,82	4,55	6,60	9,74
80	0,61	1,54	2,76	4,46	6,47	9,55
85	0,60	1,52	2,73	4,42	6,40	9,45

Таким образом, высота грохота с 6-ю просеивающими секциями с углом наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$, при разгрузке автосамосвалом БелАЗ 7540 и при максимальной высоте приемных бункеров (таблица 4.3):

$$H = 1,35 + 9,55 + 0,22 + 1,9 = 13,02 \text{ м.}$$

Аналогично рассчитаем высоту грохота, с учетом изменения количества просеивающих секций грохота, угла наклона передней стенки ($\beta = 50 - 80^\circ$) и изменением высоты приемных бункеров. Результаты приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Высота струнного грохота

Количество просеивающих секций струнного грохота снизу вверх (размер получаемой фракции)	Угол наклона передней стенки, β , град.							
	50	55	60	65	70	75	80	85
	Высота грохота, Н, м							
1 (6 мм)	2,98	2,93	2,88	2,85	2,82	2,79	2,76	2,73
2 (13 мм)	4,19	4,07	3,95	3,88	3,81	3,77	3,72	3,68
3 (25 мм)	5,8	5,58	5,38	5,25	5,14	5,07	4,99	4,94
4 (50 мм)	8,08	7,73	7,42	7,2	7,03	6,92	6,81	6,75
5 (100 мм)	10,85	10,35	9,89	9,57	9,34	9,19	9,04	8,95
6 (300 мм)	15,67	14,93	14,26	13,79	13,45	13,23	13,02	12,92

Графическая зависимость высоты струнного грохота от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.18.

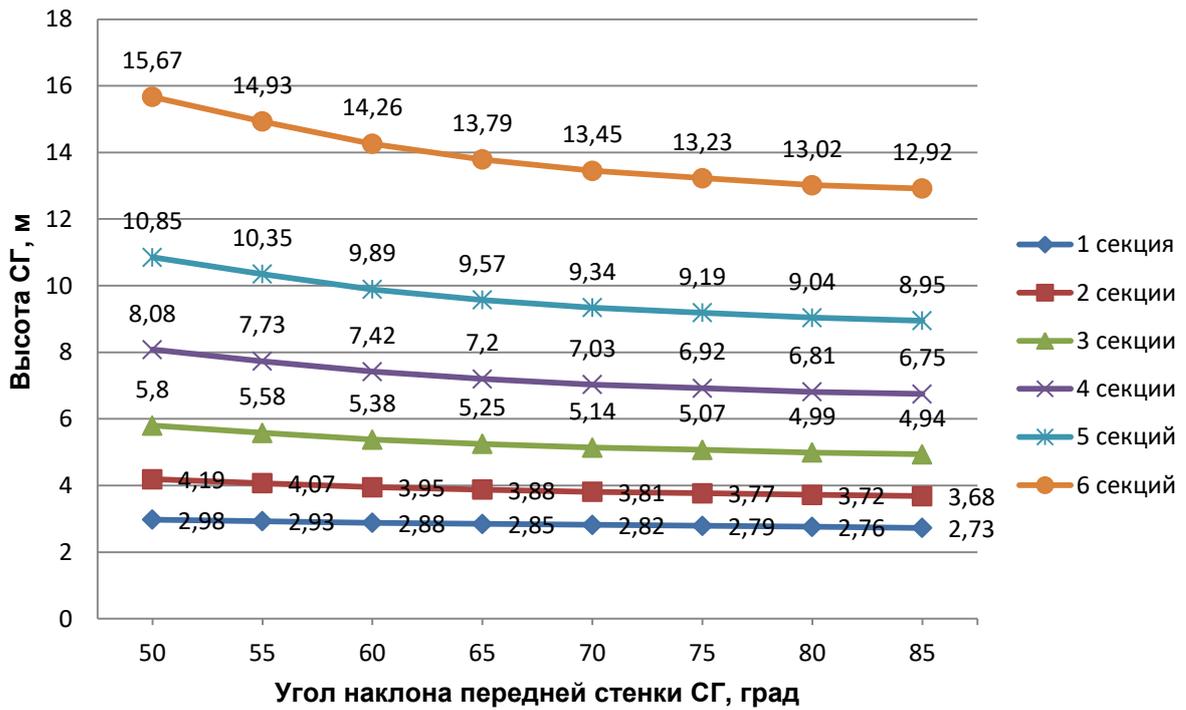


Рисунок 4.18 - Зависимость высоты СГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки струнного грохота

С увеличением количества просеивающих секций, высота грохота увеличивается. Также, с увеличением объема загрузочного бункера (в зависимости от марки применяемого автосамосвала) высота грохота будет также расти.

Рассмотрим изменение высоты грохота при установке двух различных просеивающих секций (получаемой фракции) и изменения угла наклона передней стенки. Результаты приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 Высота струнного грохота в зависимости от установленных просеивающих секций (получаемой фракции)

Установленные просеивающие секции (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.9)	Высота грохота, м
1	2	3
Угол наклона передней стенки $\beta = 50^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,96	4,19
1 и 3 (6 и 25 мм)	3,52	5,8
1 и 4 (6 и 50 мм)	5,68	8,08
1 и 5 (6 и 100 мм)	8,23	10,85
1 и 6 (6 и 300 мм)	12,15	15,67
2 и 3 (13 и 25 мм)	3,52	5,8
2 и 4 (13 и 50 мм)	5,68	8,08

1	2	3
2 и 5 (13 и 100 мм)	8,23	10,85
2 и 6 (13 и 300 мм)	12,15	15,67
3 и 4 (25 и 50 мм)	5,68	8,08
3 и 5 (25 и 100 мм)	8,23	10,85
3 и 6 (25 и 300 мм)	12,15	15,67
4 и 5 (50 и 100 мм)	8,23	10,85
4 и 6 (50 и 300 мм)	12,15	15,67
5 и 6 (100 и 300 мм)	12,15	15,67
Угол наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,73	3,95
1 и 3 (6 и 25 мм)	3,11	5,38
1 и 4 (6 и 50 мм)	5,03	7,42
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,28	9,89
1 и 6 (6 и 300 мм)	10,75	14,26
2 и 3 (13 и 25 мм)	3,11	5,38
2 и 4 (13 и 50 мм)	5,03	7,42
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,28	9,89
2 и 6 (13 и 300 мм)	10,75	14,26
3 и 4 (25 и 50 мм)	5,03	7,42
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,28	9,89
3 и 6 (25 и 300 мм)	10,75	14,26
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,28	9,89
4 и 6 (50 и 300 мм)	10,75	14,26
5 и 6 (100 и 300 мм)	10,75	14,26
Угол наклона передней стенки $\beta = 70^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,60	3,81
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,88	5,14
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,65	7,03
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,74	9,34
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,95	13,45
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,88	5,14
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,65	7,03
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,74	9,34
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,95	13,45
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,65	7,03
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,74	9,34
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,95	13,45
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,74	9,34
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,95	13,45
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,95	13,45
Угол наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,54	3,72
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,76	4,99
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,46	6,81
1 и 5 (6 и 100 мм)	6,47	9,04
1 и 6 (6 и 300 мм)	9,55	13,02
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,76	4,99
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,46	6,81
2 и 5 (13 и 100 мм)	6,47	9,04

1	2	3
2 и 6 (13 и 300 мм)	9,55	13,02
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,46	6,81
3 и 5 (25 и 100 мм)	6,47	9,04
3 и 6 (25 и 300 мм)	9,55	13,02
4 и 5 (50 и 100 мм)	6,47	9,04
4 и 6 (50 и 300 мм)	9,55	13,02
5 и 6 (100 и 300 мм)	9,55	13,02

Графическая зависимость высоты струнного грохота от установленных просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.19.

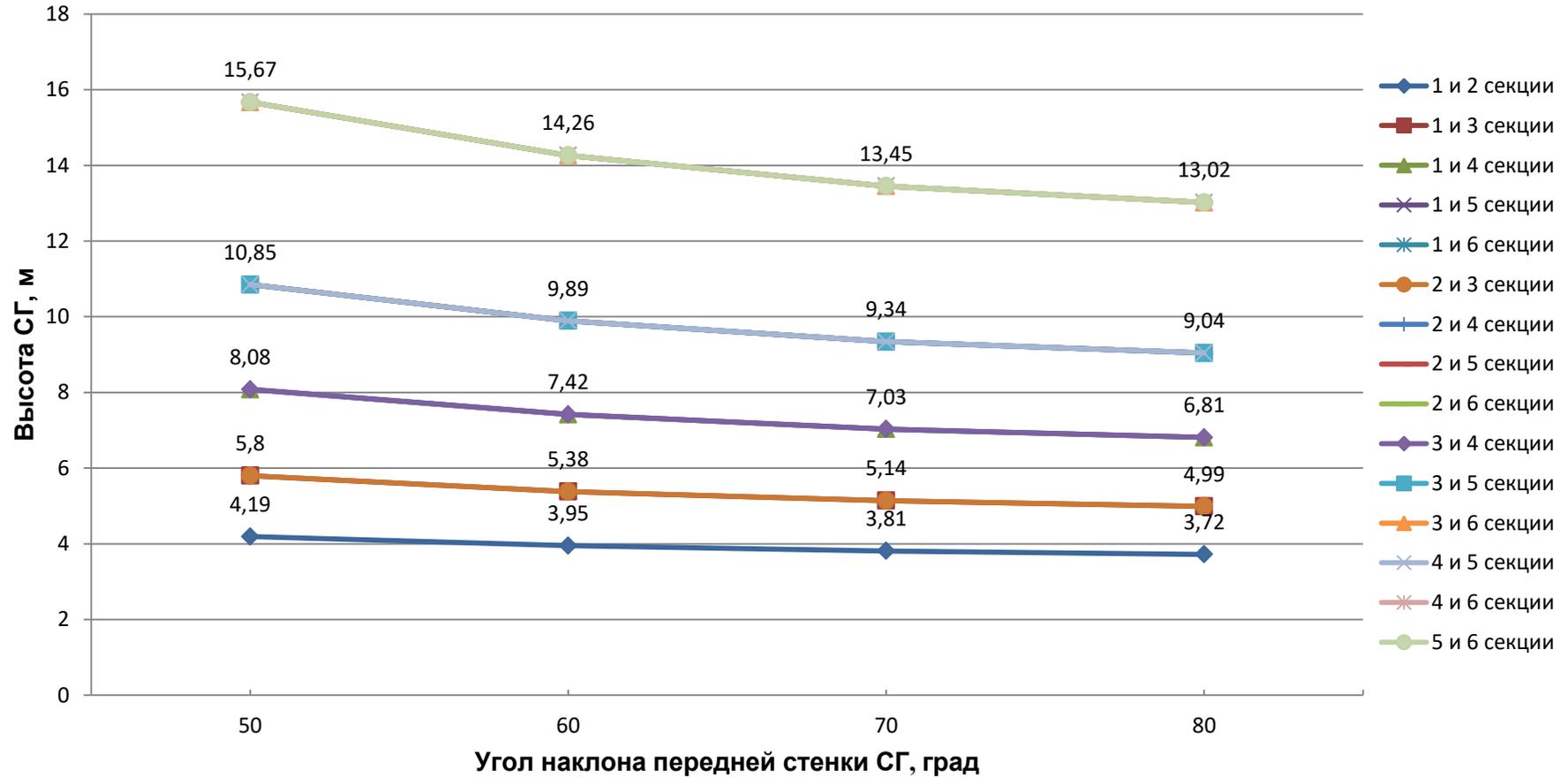


Рисунок 4.19 – Зависимость высоты струнного грохота от установленных просеивающих секций (получаемой фракции) и угла наклона передней стенки

Из расчета высоты струнного грохота в зависимости от установленных просеивающих секций (получаемой фракции) и угла наклона передней стенки, можно сделать вывод о том, что, сколько бы просеивающих секций не было установлено на грохоте (по желанию заказчика), высота грохота будет рассчитываться исходя из высоты крепления наибольшей просеивающей секции (снизу вверх), то есть, на которой получается наибольшая фракция просеиваемого материала (угля).

4.3. Расчет параметров струнного ступенчатого грохота

Длина и высота струнного ступенчатого грохота зависит от длины и количества составляющих грохот просеивающих секций, от углов установки наклонной стенки и просеивающих секций, а также от количества ступеней на каждой просеивающей секции.

4.3.1 Расчет параметров просеивающих секций струнного ступенчатого грохота

Определяемыми параметрами просеивающих секций являются длина, ширина, расстояние между просеивающими секциями по высоте, количество ступеней на каждой просеивающей секции и их высота (рисунок 4.20).

Ширина просеивающих секций струнного ступенчатого грохота также как и у струнного грохота будет определяться исходя из ширины загрузочного бункера, которая зависит от марки применяемого автосамосвала или ширины бункера, если перед сортировкой уголь или другой материал проходит дробление. Значения ширины приведены в таблице 4.1.

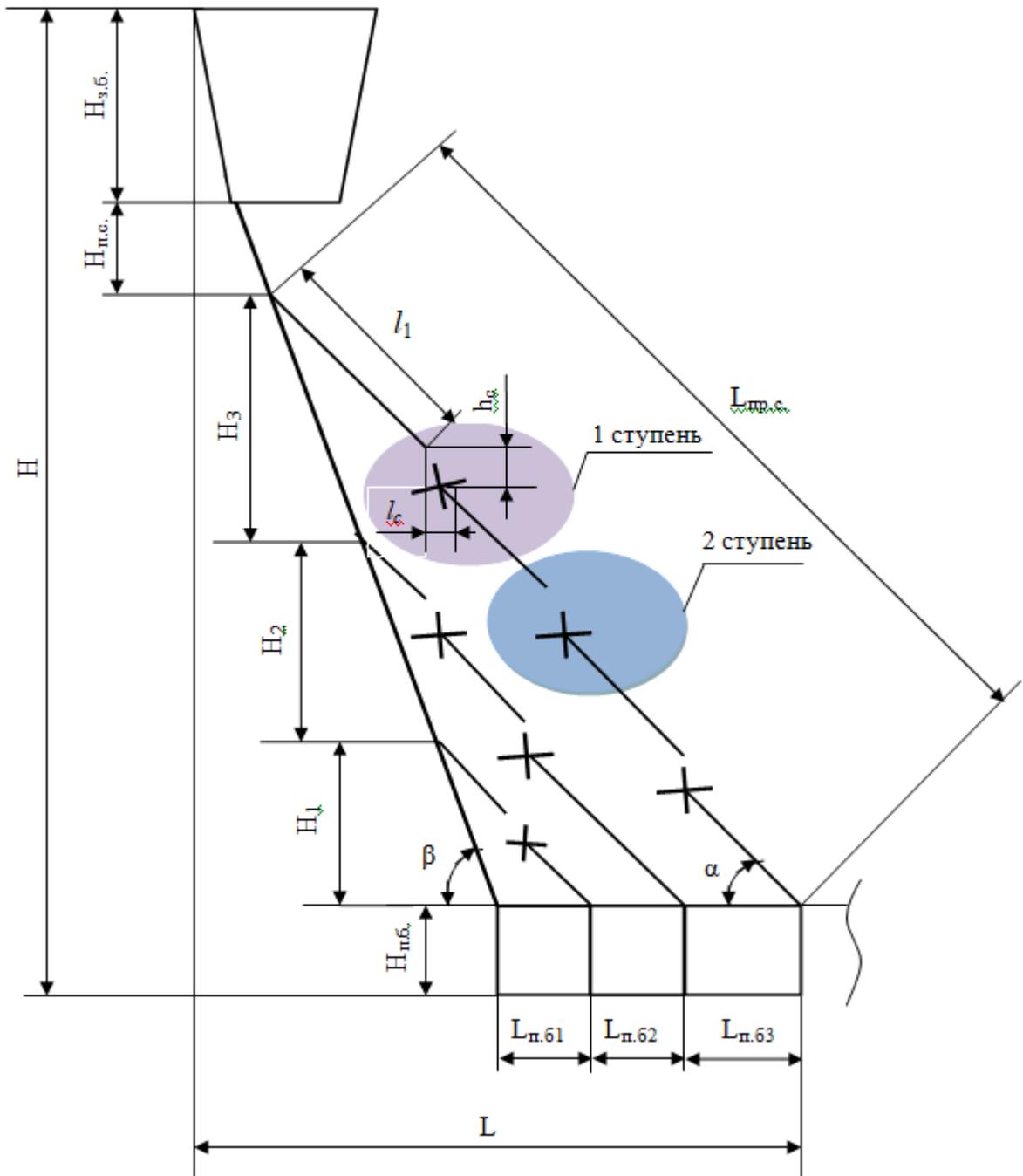


Рисунок 4.20 – Упрощенная схема струнного ступенчатого грохота:

$L_{п.б1}, L_{п.б2}, L_{п.б3}, L_{п.бn}$ - длины 1, 2, 3, n-го приемных бункеров, м; $H_{п.б.}$ – высота приемных бункеров, м; $H_{п.с.}$ – высота передней стенки, м; $H_{з.б.}$ - высота загрузочного бункера, м; H_1, H_2, H_3, H_n – высоты от верха приемных бункеров до крепления 1, 2, 3, n – ой просеивающей секции, м; $L_{пр.с.}$ – длина просеивающей секции, м; h_c – высота ступени, мм; l_c – длина ступени, мм; l_1 – длина участка просеивающей секции от наклонной стенки до ступени, м; L – длина грохота, м; H – высота грохота, м; α – угол наклона просеивающей секции, град; β – угол наклона передней стенки, град

Расчет длин просеивающих секций начнем с самой верхней секции, отсеивающей самый крупный размер кусков угля «Плитный» (100 – 300 мм, 6 просеивающая секция, табл. 2.1, главы 2).

Рассчитаем движущую силу ($F_{д}$) необходимую для движения кусков просеиваемого материала по просеивающей секции и вращения кантователей.

Движущая сила на первом участке (I) (см. рис. 3.5, главы 3) (на наклонной передней стенке) рассчитана и будет такой же, как и у струнного грохота. Также неизменными будут размеры передней стенки (длина, высота). Результаты приведены в таблице 4.4.

Далее на втором участке (II) (см. рис. 3.5, главы 3) движения горной массы по просеивающей секции до первой ступени, длина просеивающей секции от наклонной стенки до ступени определится:

$$l_1 = \frac{F_{д.н.с.}}{mg \cdot \sin \alpha'} \quad (4.30)$$

где $F_{д.н.с.}$ – движущая сила при движении сортируемого материала по наклонной стенке, Н (табл. 4.4); m – масса сортируемого материала (угля), кг; g – ускорение свободного падения, m^2/c^2 ; α – угол наклона просеивающей секции, град (принимается равным 50°).

Рассчитанные значения длины первого участка просеивающей секции при различных значениях движущей силы (в зависимости от угла наклона передней стенки) приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Сила инерции на первом участке в зависимости от угла наклона передней стенки

Угол наклона передней стенки, β , град	50	55	60	65	70	75	80	85
Движущая сила, $F_{д.н.с.}$, Н	6497,4	7516,6	8535,8	9427,6	10192	11083,8	11593,4	12103
Длина первого участка просеивающей секции, l_1 м	0,66	0,76	0,86	0,95	1,03	1,12	1,17	1,22

После прохождения второго участка, сортируемый материал попадает на первую ступень (рисунок 4.20) и, падая с нее, встречается с кантователем (участок 3, на рис. 3.5 главы 3). В этом случае, необходимо соблюдение условия:

$$F_{\text{Тп.}} > F_{\text{тр.вр.}}$$

где $F_{\text{Тп.}}$ – сила тяжести при падении куска угля, Н; $F_{\text{тр.вр.}}$ – сила трения при вращении кантователя, Н.

При этом высоту падения (высоту ступени h_c) определим исходя из размеров кантователя (длины лопатки) и фракции сортируемого материала:

$$h_c = l_{\text{л}} + a, \quad (4.31)$$

где $l_{\text{л}}$ – длина лопатки кантователя на определенной просеивающей секции (таблице 4.13), мм; a – размер фракции сортируемого материала, получаемый на определенной просеивающей секции (таблица 4.13), мм.

На примере верхней просеивающей секции (6 секция) и при применении кантователей с 4-мя лопатками, получим:

$$h_c = 180 + 300 = 480 \text{ мм.}$$

Аналогичным образом рассчитываем высоту ступени для каждой просеивающей секции. Результаты приведены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Высота ступеней на каждой просеивающей секции

Размер фракции, a , мм (№ пр. секции снизу вверх)	13 (2 секция)	25 (3 секция)	50 (4 секция)	100 (5 секция)	300 (6 секция)
Минимальная длина лопатки кантователя, $l_{\text{л}}$, мм	12	20	40	80	180
Высота ступени, h_c , мм	25	45	90	180	480

Так как работа кантователей заключается во вращении, а форма их симметрична, тогда:

$$h_c \geq l_c,$$

где l_c – длина ступени, мм.

Количество ступеней определится эффективностью сортировки и исходя из конструктивных особенностей струнного ступенчатого грохота.

Для расчета длин просеивающих секций грохота, зададимся количеством ступеней на каждой просеивающей секции (сверху вниз): 6 секция – 3 ступени, 5 секция – 3 ступени, 4 секция – 2 ступени, 3 секция – 2 ступени, 2 секция – 1 ступень, 1 секция – без ступени.

Таким образом, длина 1-ой просеивающей секции (снизу вверх) струнного ступенчатого грохота будет определяться аналогично струнному грохоту по формуле 4.24.

Тогда длины 2, 3, 4, 5 и 6-ой просеивающих секций определяются:

$$L_{2\text{пр.с}} = \frac{(L_{1\text{п.б.}} + L_{2\text{п.б.}}) \cdot \sin(180^\circ - \beta)}{\sin(180^\circ - (180^\circ - \beta) - \alpha)} + i \cdot \sqrt{h_c^2 + l_c^2}, \text{ м,}$$

где i – количество ступеней на просеивающей секции (на 2 секции $i = 1$); h_c – высота ступени, мм; l_c – длина ступени, мм; β – угол наклона передней стенки, град, ($\beta = 80^\circ$); α – угол наклона просеивающих секции, град, ($\alpha = 50^\circ$).

Длина ($L_{1\text{п.б.}}, L_{2\text{п.б.}} \dots L_{\text{п. п.б.}}$) приемных бункеров струнного ступенчатого грохота аналогична длинам приемных бункеров струнного грохота (см. таблицу 4.5.)

$$L_{2\text{пр.с}} = \frac{(0,4 + 0,6) \cdot \sin(180^\circ - 80^\circ)}{\sin(180^\circ - (180^\circ - 80^\circ) - 50^\circ)} + 1 \cdot \sqrt{0,025^2 + 0,025^2} = 0,035 \text{ м}$$

Результаты расчетов длин просеивающих секций струнного ступенчатого грохота (ССГ) при изменении углов наклона передней стенки и просеивающей секции приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Длины просеивающих секций струнного ступенчатого грохота при изменении углов

№ просеивающей секции, (размер фракции, мм)	Угол наклона передней стенки β , град	Длина просеивающей секции при изменении угла наклона просеивающей секции α , град				Угол наклона просеивающей секции	Длина просеивающей секции при изменении угла наклона передней стенки β , град						
		40	45	50	55		55	60	65	70	75	80	85
1 (6мм)	80	1,1	0,9	0,78	0,86	50	3,9	2,2	1,5	1,2	0,98	0,78	0,75
2 (13 мм)		2,64	2,24	2,0	2,14		9,64	5,44	3,74	2,94	2,44	1,74	1,64
3 (25)		4,63	3,93	3,63	3,83		17,03	9,63	6,63	5,23	4,33	3,63	3,33
4 (50 мм)		7,35	6,15	5,95	6,05		26,65	15,05	10,35	8,25	6,85	5,95	5,25
5 (100 мм)		11,1	9,45	8,95	9,15		39,25	22,35	15,55	12,45	10,45	8,98	8,05
6 (300 мм)		17,2	14,9	14,1	14,4		58,7	33,9	23,8	19,2	16,2	14,1	12,8

Графические зависимости длин просеивающих секций струнного ступенчатого грохота (ССГ) от углов наклона передней стенки и просеивающих секций представлены на рисунках 4.21, 4.22.

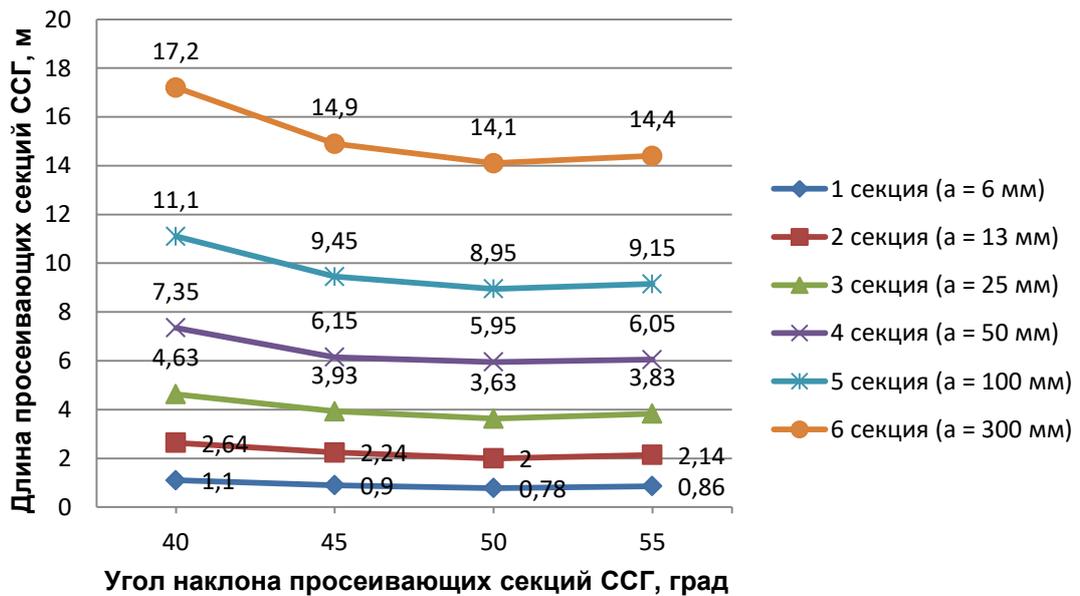


Рисунок 4.21 – Зависимость длины просеивающих секций ССГ от угла наклона просеивающих секций

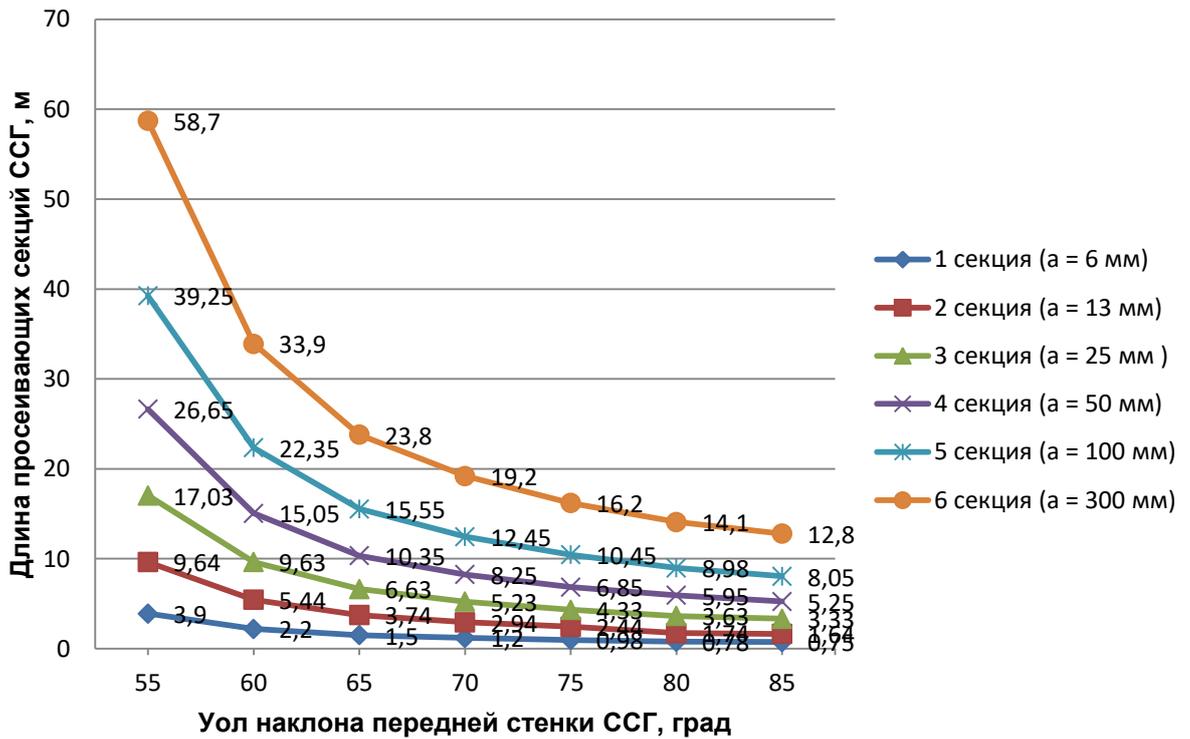


Рисунок 4.22 – Зависимость длины просеивающих секций ССГ от угла наклона передней стенки

Анализируя рисунок 4.20, необходимо определить высоты от верха приемных бункеров до крепления 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ой просеивающей секции $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6$.

Определяем их по формуле 4.26, подставляя значения длин просеивающих секций ССГ (для оптимального угла наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$ и угла наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$). Полученные значения заносим в таблицу 4.15.

Таблица 4.15. Параметры приемных бункеров и просеивающих секций струнного ступенчатого грохота (ССГ)

№ п/п	Класс крупности (размер куска, м)	Длина приемного бункера, $L_{п.б.}$, м	Высота приемного бункера, $H_{п.б.}$, м	Длина просеивающей секции, $L_{пр.с.}$, м	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H , м;	Ширина просеивающей секции, $B_{пр.с.}$, м
1	Штыб (0,006)	0,4	0,03	0,78	0,61	Принимается равной ширине загрузочного бункера, в зависимости от марки автосамосвала (табл. 4.1)
2	Семечко (0,013)	0,6	0,06	2,0	1,57	
3	Мелкий (0,025)	0,8	0,11	3,63	2,85	
4	Орех (0,05)	1,1	0,23	5,95	4,67	
5	Крупный кулак (0,1)	1,3	0,45	8,95	7,03	
6	Плитный (0,3)	2,0	1,35	14,1	11,08	

4.3.2. Определение габаритов струнного ступенчатого грохота

К габаритам струнного ступенчатого грохота относятся его длина (L), ширина (B) и высота (H), см. рисунок 4.20. Для определения длины ССГ воспользуемся формулой 4.27. Рассчитаем длину грохота с учетом изменения угла наклона передней стенки с шагом в 5° и количества просеивающих секций. Полученные результаты приведены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Длина струнного ступенчатого грохота

Количество просеивающих секций струнного грохота снизу вверх (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.15)	Угол наклона передней стенки, β , град.							
		50	55	60	65	70	75	80	85
		Длина ССГ, L, м							
1 (6 мм)	0,61	0,9	0,8	0,75	0,7	0,6	0,56	0,5	0,45
2 (13 мм)	1,57	2,3	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
3 (25 мм)	2,85	4,2	3,8	3,4	3,1	2,8	2,6	2,3	2,1
4 (50 мм)	4,67	6,8	6,2	5,6	5,1	4,6	4,2	3,7	3,3
5 (100 мм)	7,03	10,1	9,1	8,3	7,5	6,8	6,1	5,4	4,8
6 (300 мм)	11,08	15,5	13,9	12,6	11,4	10,2	9,2	8,2	7,2

Графическая зависимость длины ССГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.23.

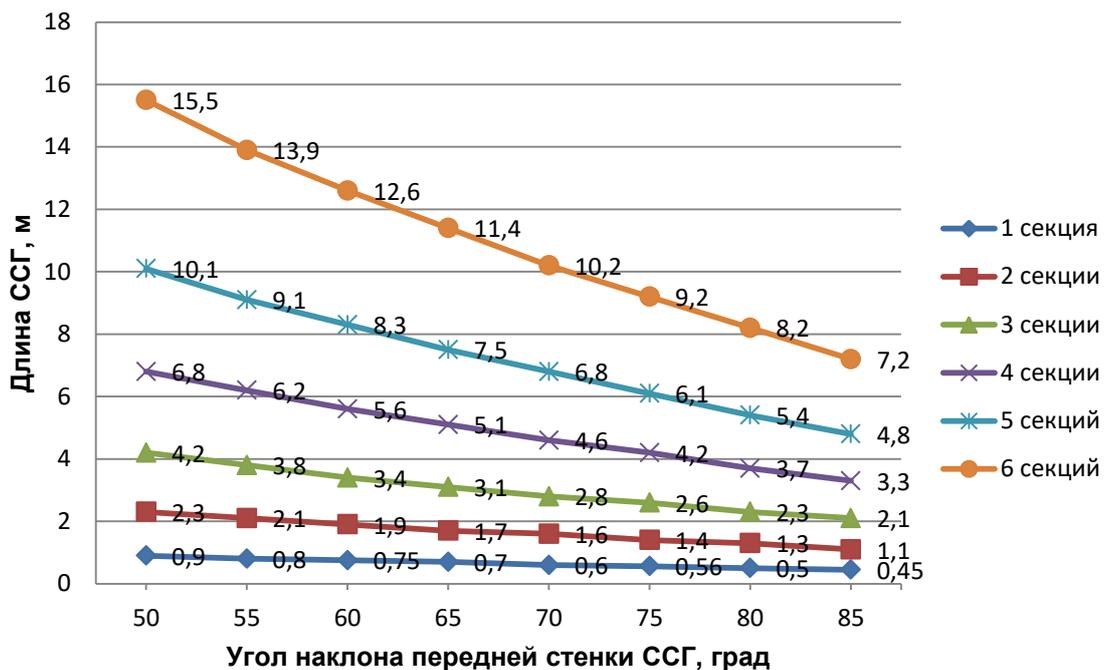


Рисунок 4.23 – Зависимость длины ССГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки

При сортировке материала, с получением определенной фракции или нескольких фракций, на струнный ступенчатый грохот возможна установка необходимых просеивающих секций. При этом длина ССГ также будет меняться.

Рассчитаем длину ССГ при изменении угла наклона передней стенки $\beta = 50 - 80^\circ$ (с шагом 10°) и с установкой различных пар просеивающих секций. Результаты расчетов приведены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 Длина ССГ в зависимости от вариантов установленных просеивающих секций (получаемой фракции)

Установленные просеивающие секции (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.15)	Длина ССГ, м
1	2	3
Угол наклона передней стенки $\beta = 50^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,57	2,3
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,85	3,6
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,67	5,4
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,03	7,6
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,08	11,7
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,85	3,8
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,67	5,6
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,03	7,8
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,08	11,9
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,67	5,8
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,03	8,0
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,08	12,1
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,03	8,3
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,08	12,4
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,08	12,6
Угол наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,57	1,9
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,85	2,8
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,67	4,2
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,03	5,8
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,08	8,8
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,85	3,0
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,67	4,4
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,03	6,0
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,08	9,0
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,67	4,6
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,03	6,2
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,08	9,2
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,03	6,5
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,08	9,5
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,08	9,7
Угол наклона передней стенки $\beta = 70^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,57	1,6
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,85	2,2
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,67	3,2
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,03	4,2

1	2	3
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,08	6,4
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,85	2,4
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,67	3,4
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,03	4,4
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,08	6,6
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,67	3,6
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,03	4,6
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,08	6,8
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,03	4,9
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,08	7,1
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,08	7,3
Угол наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,57	1,3
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,85	1,72
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,67	2,3
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,03	2,9
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,08	4,3
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,85	1,9
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,67	2,5
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,03	3,1
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,08	4,5
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,67	2,7
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,03	3,3
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,08	4,7
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,03	3,6
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,08	5,0
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,08	5,2

Графическая зависимость длины ССГ от вариантов установленных просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.24.

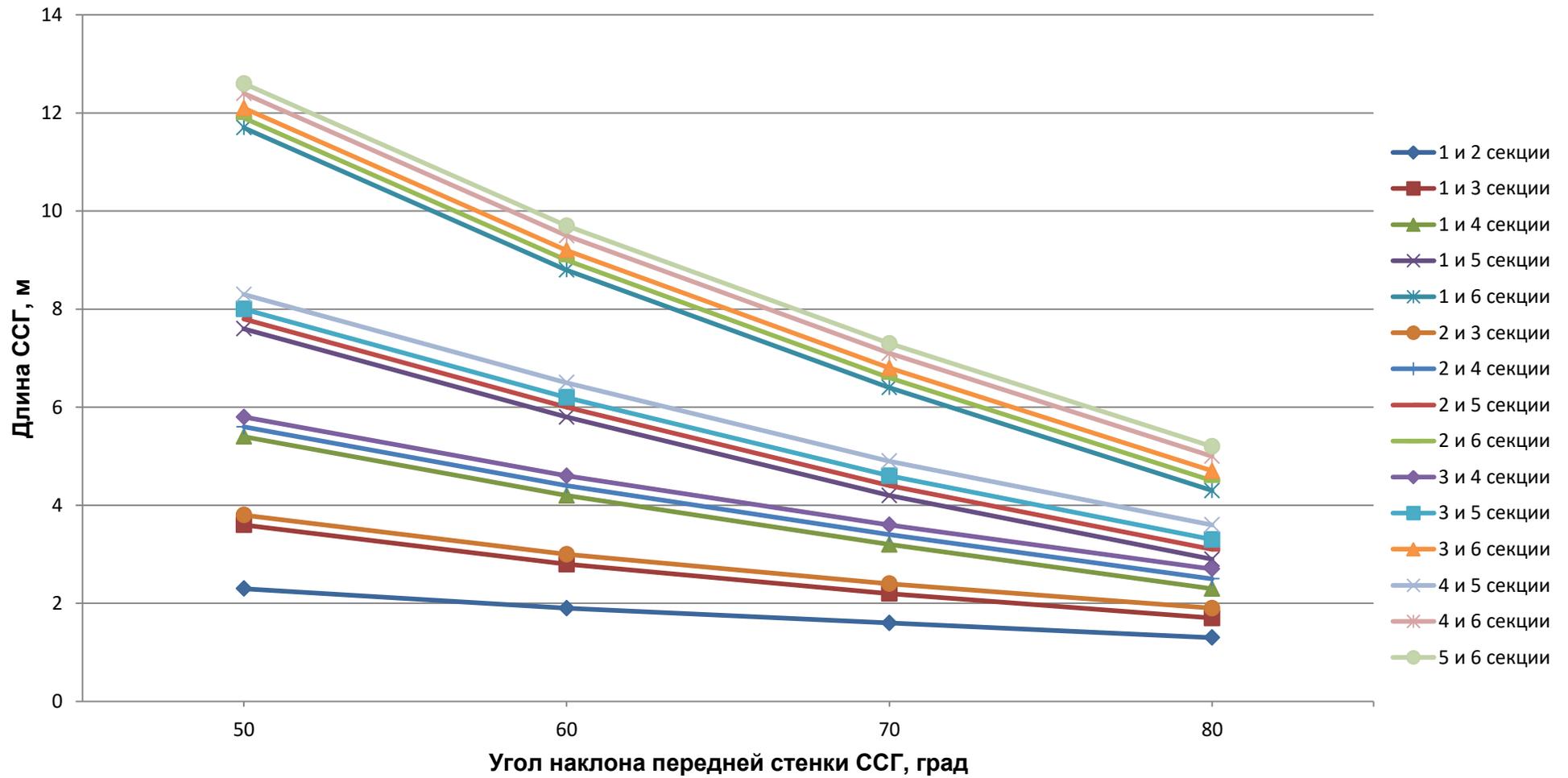


Рисунок 4.24 – Зависимость длины ССГ от вариантов установленных просеивающих секций (получаемой фракции) и угла наклона передней стенки

Ширина струнного ступенчатого грохота определяется аналогично ширине струнного грохота, значения ее приведены в таблице 4.1.

Высоту струнного ступенчатого грохота определим по формуле 4.29. Значения высот от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций ССГ, H_{1-6} будет меняться в зависимости от угла наклона передней стенки и длины просеивающих секций (формула 4.26). Рассчитанные значения этих высот приведены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Значения высот H_{1-6} струнного ступенчатого грохота

Угол наклона передней стенки, β , град.	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м					
	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)
50	0,78	2,0	3,6	5,95	8,95	14,1
55	0,73	1,88	3,4	5,6	8,4	13,2
60	0,69	1,77	3,2	5,3	7,9	12,4
65	0,66	1,7	3,1	5,1	7,6	11,9
70	0,64	1,64	2,97	4,9	7,3	11,5
75	0,62	1,6	2,9	4,8	7,2	11,25
80	0,61	1,57	2,85	4,67	7,0	11,08
85	0,60	1,55	2,82	4,65	6,95	10,9

Рассчитаем высоту струнного ступенчатого грохота (формула 4.29), с учетом изменения количества просеивающих секций грохота, угла наклона передней стенки ($\beta = 50 - 80^\circ$) и изменением высоты приемных бункеров. Результаты приведены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Высота струнного ступенчатого грохота

Количество просеивающих секций струнного грохота снизу вверх (размер получаемой фракции)	Угол наклона передней стенки, β , град.							
	50	55	60	65	70	75	80	85
	Высота грохота, Н, м							
1 (6 мм)	2,98	2,93	2,88	2,85	2,82	2,79	2,76	2,73
2 (13 мм)	4,23	4,15	3,99	3,92	3,85	3,8	3,75	3,71
3 (25 мм)	5,88	5,78	5,47	5,37	5,23	5,15	5,08	5,03
4 (50 мм)	8,35	8,0	7,69	7,49	7,28	7,17	7,02	6,98
5 (100 мм)	11,57	11,02	10,51	10,21	9,9	9,79	9,57	9,5
6 (300 мм)	17,62	16,72	15,91	15,41	15,0	14,71	14,55	14,37

Графическая зависимость высоты ССГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.25.

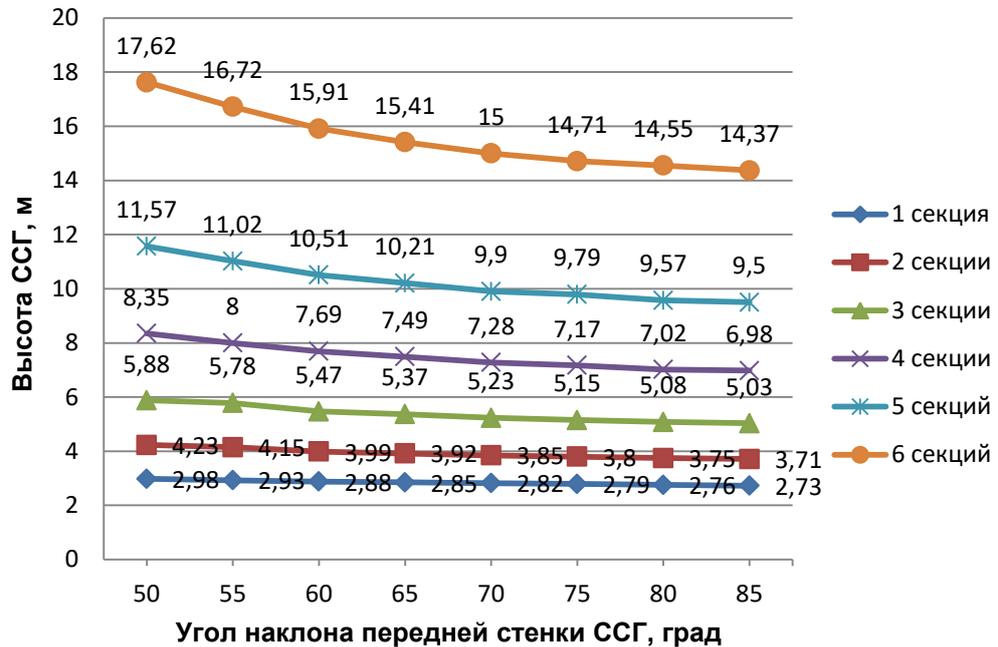


Рисунок 4.25 - Зависимость высоты ССГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки

С увеличением количества просеивающих секций, высота струнного ступенчатого грохота увеличивается.

Рассмотрим изменение высоты струнного ступенчатого грохота при установке двух различных просеивающих секций (получаемой фракции) и изменения угла наклона передней стенки. Результаты приведены в таблице 4.20.

Таблица 4.20 Высота струнного ступенчатого грохота в зависимости от вариантов установленных просеивающих секций (получаемой фракции)

Установленные просеивающие секции (размер получаемой фракции)	Высота от верха приемных бункеров до крепления просеивающих секций, H_{1-6} , м (табл. 4.19)	Высота грохота, м
1	2	3
Угол наклона передней стенки $\beta = 50^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	2,0	4,23
1 и 3 (6 и 25 мм)	3,6	5,88
1 и 4 (6 и 50 мм)	5,95	8,35
1 и 5 (6 и 100 мм)	8,95	11,57
1 и 6 (6 и 300 мм)	14,1	17,62
2 и 3 (13 и 25 мм)	3,6	5,88

1	2	3
2 и 4 (13 и 50 мм)	5,95	8,35
2 и 5 (13 и 100 мм)	8,95	11,57
2 и 6 (13 и 300 мм)	14,1	17,62
3 и 4 (25 и 50 мм)	5,95	8,35
3 и 5 (25 и 100 мм)	8,95	11,57
3 и 6 (25 и 300 мм)	14,1	17,62
4 и 5 (50 и 100 мм)	8,95	11,57
4 и 6 (50 и 300 мм)	14,1	17,62
5 и 6 (100 и 300 мм)	14,1	17,62
Угол наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,77	3,99
1 и 3 (6 и 25 мм)	3,2	5,47
1 и 4 (6 и 50 мм)	5,3	7,69
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,9	10,51
1 и 6 (6 и 300 мм)	12,4	15,91
2 и 3 (13 и 25 мм)	3,2	5,47
2 и 4 (13 и 50 мм)	5,3	7,69
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,9	10,51
2 и 6 (13 и 300 мм)	12,4	15,91
3 и 4 (25 и 50 мм)	5,3	7,69
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,9	10,51
3 и 6 (25 и 300 мм)	12,4	15,91
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,9	10,51
4 и 6 (50 и 300 мм)	12,4	15,91
5 и 6 (100 и 300 мм)	12,4	15,91
Угол наклона передней стенки $\beta = 70^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,64	3,85
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,97	5,23
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,9	7,28
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,3	9,9
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,5	15,0
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,97	5,23
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,9	7,28
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,3	9,9
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,5	15,0
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,9	7,28
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,3	9,9
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,5	15,0
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,3	9,9
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,5	15,0
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,5	15,0
Угол наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$		
1 и 2 (6 и 13 мм)	1,57	3,75
1 и 3 (6 и 25 мм)	2,85	5,08
1 и 4 (6 и 50 мм)	4,67	7,02
1 и 5 (6 и 100 мм)	7,0	9,57
1 и 6 (6 и 300 мм)	11,08	14,55
2 и 3 (13 и 25 мм)	2,85	5,08
2 и 4 (13 и 50 мм)	4,67	7,02

1	2	3
2 и 5 (13 и 100 мм)	7,0	9,57
2 и 6 (13 и 300 мм)	11,08	14,55
3 и 4 (25 и 50 мм)	4,67	7,02
3 и 5 (25 и 100 мм)	7,0	9,57
3 и 6 (25 и 300 мм)	11,08	14,55
4 и 5 (50 и 100 мм)	7,0	9,57
4 и 6 (50 и 300 мм)	11,08	14,55
5 и 6 (100 и 300 мм)	11,08	14,55

Графическая зависимость высоты струнного грохота от вариантов установленных просеивающих секций и угла наклона передней стенки представлена на рисунке 4.26.

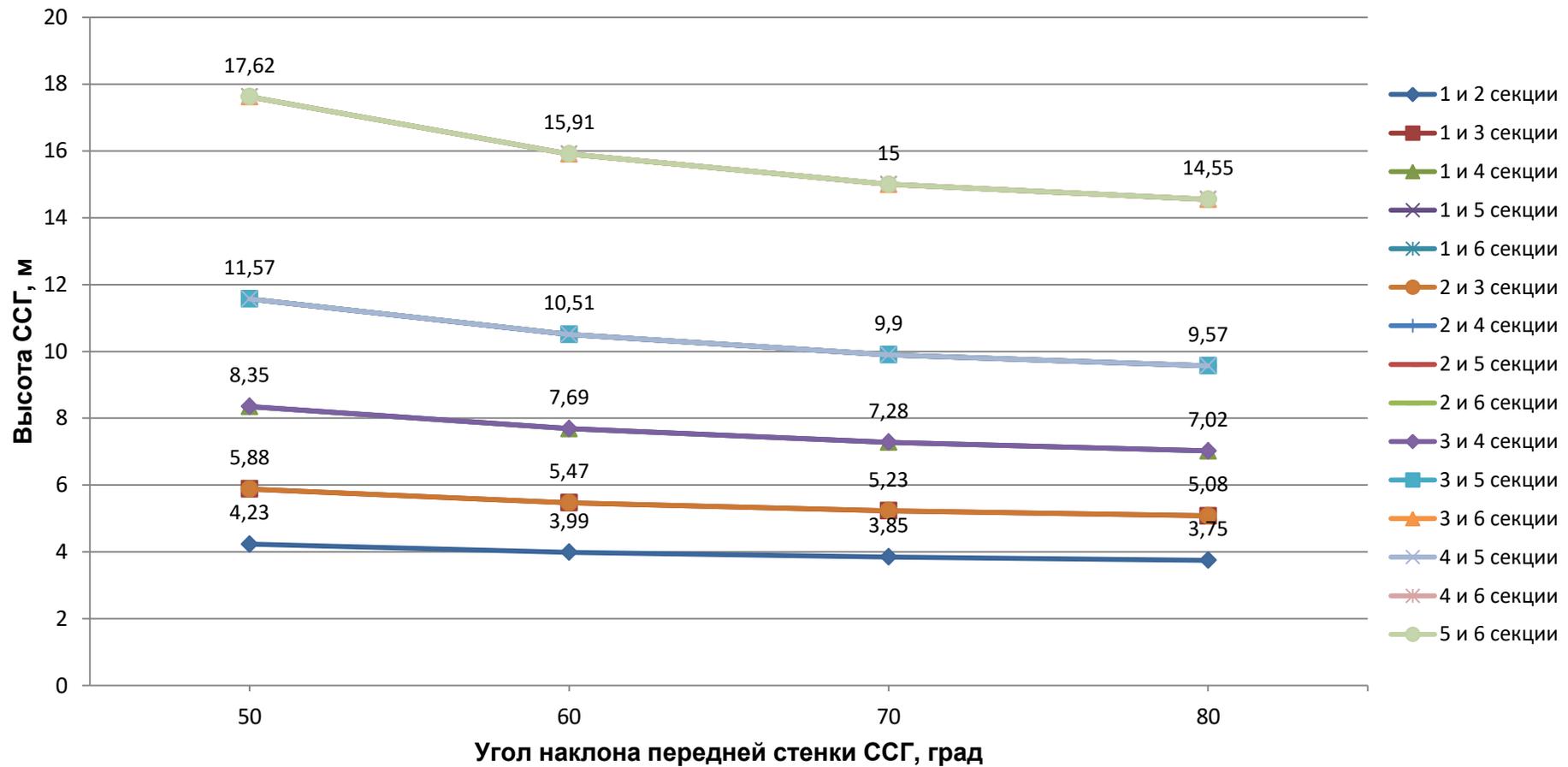


Рисунок 4.26 – Зависимость высоты струнного ступенчатого грохота от вариантов установленных просеивающих секций (получаемой фракции) и угла наклона передней стенки

Рассчитанные габариты струнного ступенчатого грохота показывают, что длина грохота незначительно увеличивается за счет наличия ступеней на просеивающих секциях, высота ССГ при этом увеличивается значительно. Ширина ССГ определяется исходя из ширины загрузочного бункера (в зависимости от разгрузки – автосамосвалом или на конвейер).

4.4. Сравнение параметров предлагаемых струнных грохотов

Расчет параметров струнного и струнного ступенчатого грохотов показывает, что габариты грохотов (длина и высота) изменяются из-за особенностей конструкции ССГ (наличие ступеней на просеивающих секциях). При этом ширина грохотов остается одинаковой. Для сравнения возьмем длину и высоту грохотов, полученные при углах наклона передней стенки $\beta = 80^\circ$ и просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$. Результаты расчетов параметров грохотов для сравнения приведены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 – Сравнение основных параметров грохотов

Параметр грохота	Струнный грохот						Струнный ступенчатый грохот					
	Количество просеивающих секций, установленных на грохоте (в зависимости от получаемой фракции)											
	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)
Длина, м	0,5	1,3	1,69	2,2	2,8	4,1	0,5	1,32	1,72	2,3	2,9	4,3
Высота, м	2,76	3,72	4,99	6,81	9,04	13,02	2,76	3,75	5,08	7,02	9,57	14,5
Ширина, м	2 ÷ 11											

Таким образом, технологическая схема рассортировки угля на классы крупности (глава 1, рисунок 1.16), с использованием струнных грохотов при получении двух фракций – 25 и 50 мм, будет соответствовать расчетным (табл. 4.21).

Из сравнения параметров можно сделать вывод о том, что габаритные размеры струнного ступенчатого грохота увеличиваются по сравнению со струнным, но незначительно. Поэтому о целесообразности использования того или другого

грохота для сортировки можно будет судить после проведения контрольных испытаний на физических моделях грохотов.

4.5 Производительность грохотов в зависимости от габаритов их просеивающих секций

Рассмотрим зависимость габаритов просеивающих секций струнного и струнного ступенчатого грохотов в зависимости от их производительности.

Производительность неподвижного струнного (колосникового) грохота определяется [74]:

$$Q_{\Gamma} = F \cdot q, \text{ т/ч}, \quad (4.32)$$

где F – площадь просеивающей поверхности грохота, м^2 ; q – удельная производительность грохота (зависит от ширины щели грохота), $\text{т}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Площадь просеивающей поверхности грохотов определим:

$$F = L_{\text{пр.с}} \cdot B_{\text{пр.с}}, \text{ м}^2, \quad (4.33)$$

где $L_{\text{пр.с}}$ – длина 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ой просеивающей секции грохота, м (табл. 4.5, 4.15); $B_{\text{пр.с}}$ – ширина 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ой просеивающей секции грохота, м (таблица 4.1).

Конструкция струнного и струнного ступенчатого грохотов предполагает рассортировку угля одновременно на параллельно установленных просеивающих секциях, поэтому зависимость производительности от габаритов ведем по наибольшей получаемой фракции (6 просеивающая секция).

Результаты расчета производительности струнного и струнного ступенчатого грохотов приведены в таблице 4.22.

Зависимости производительности струнного и струнного ступенчатого грохотов от габаритных параметров их просеивающих секций показана на рисунках 4.27, 4.28.

Таблица 4.22 – Производительность струнного и струнного ступенчатого грохотов

Параметр грохота	Струнный грохот						Струнный ступенчатый грохот					
	Количество просеивающих секций, установленных на грохоте (в зависимости от получаемой фракции)											
	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)	1 (6 мм)	2 (13 мм)	3 (25 мм)	4 (50 мм)	5 (100 мм)	6 (300 мм)
Длина просеивающей секции, $L_{пр.с}$, м	0,78	1,96	3,52	5,68	8,23	12,1	0,78	2,0	3,63	5,95	8,95	14,1
Ширина просеивающей секции, $B_{пр.с}$, м	2 ÷ 11, примем для расчета ширину 3 м											
Площадь просеивающей поверхности, F , м ²	2,3	5,9	10,6	17,0	24,7	36,4	2,3	6,0	10,9	17,9	26,9	42,3
Удельная производительность грохота, q , т/(ч·м ²).	30	45	60	75	90	120	30	45	60	75	90	120
Производительность грохота, $Q_{г}$, т/ч	69	265	636	1275	2223	4368	69	270	654	1343	2421	5076

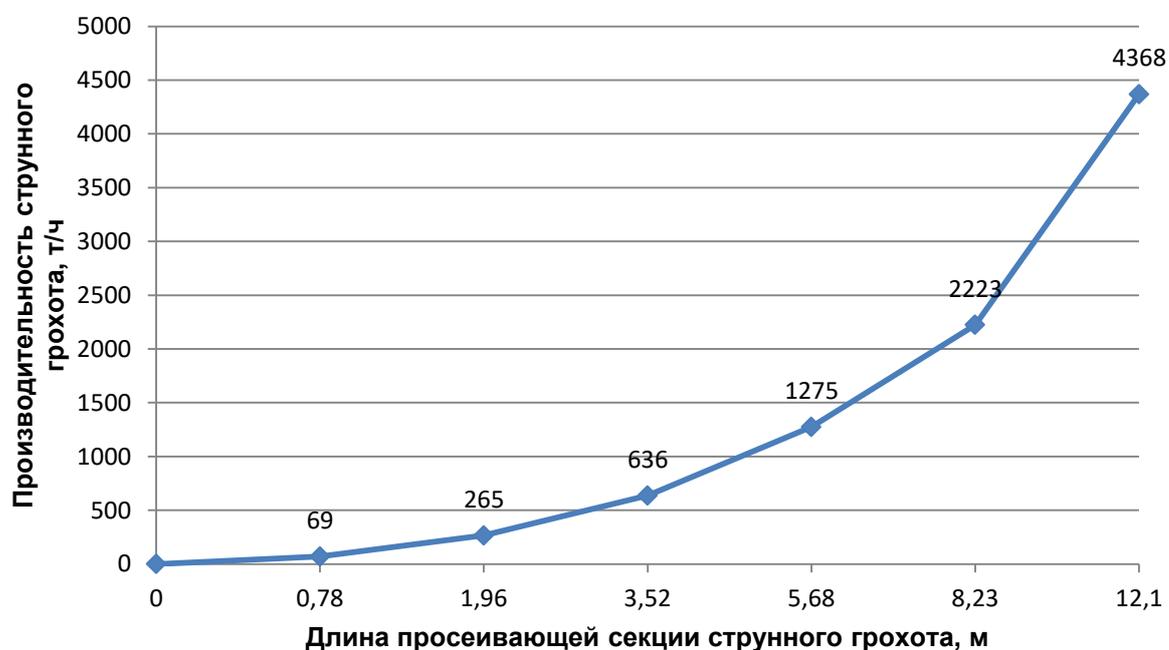


Рисунок 4.27 – Зависимость производительности струнного грохота от длины его просеивающих секций

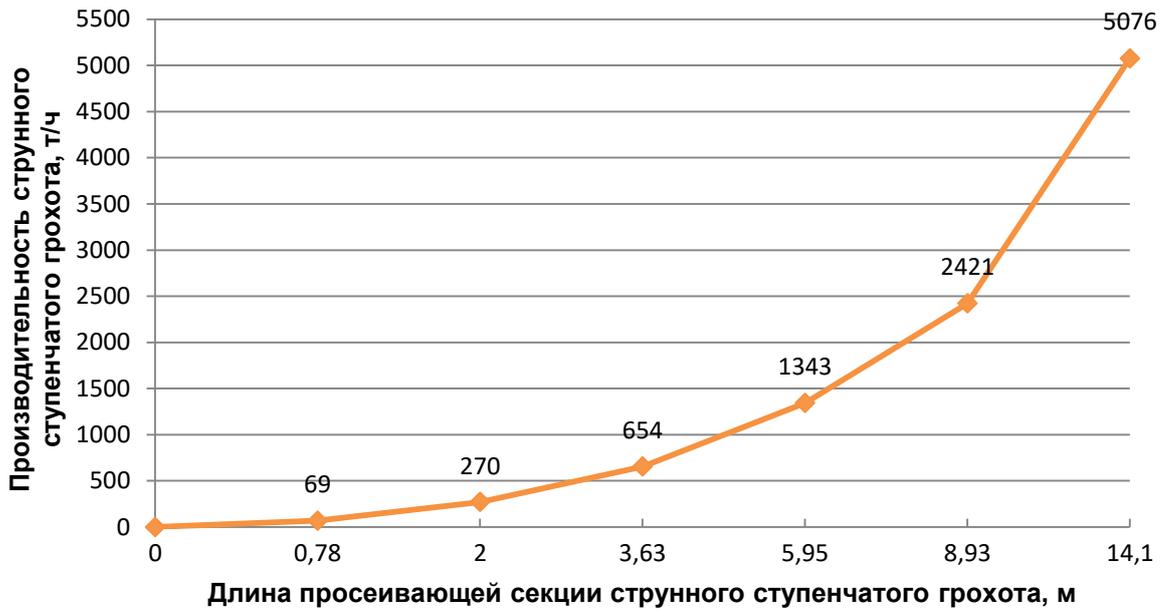


Рисунок 4.28 – Зависимость производительности струнного ступенчатого грохота от длины его просеивающих секций

Анализируя полученные данные по производительности грохотов, можно сделать вывод о том, что увеличение производительности ведет к увеличению габаритных параметров грохотов.

4.6 ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены характеристики сортируемого материала, обоснованы и рассчитаны параметры, присущие струнному и струнному ступенчатому грохотам (параметры загрузочного бункера, передней стенки, приемных бункеров, кантователей).
2. Проведен расчет параметров, присущих струнному грохоту – длины и ширины просеивающих секций, а также габаритов - длины, ширины и высоты. Построены зависимости длины и высоты струнного грохота от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки.
3. Проведен расчет параметров, присущих струнному ступенчатому грохоту – длины и ширины просеивающих секций, а также габаритов - длины, ширины и

высоты. Построены зависимости длины и высоты ССГ от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки.

4. Сравнение параметров струнного и струнного ступенчатого грохотов показало о незначительном росте габаритов ССГ.

5. Определена зависимость производительности струнного и струнного ступенчатого грохотов от габаритов их просеивающих секций.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТИРОВКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СТРУННЫХ ГРОХОТОВ

Для проверки технических решений полученных при разработке струнного и струнного ступенчатого грохотов, а также оценки эффективности рассортировки материалов были изготовлены экспериментальные модели указанных грохотов. Необходимо также рассчитать технико-экономические показатели струнного и струнного ступенчатого грохотов и провести их сравнение с грохотами ГИЛ и ГИС.

5.1 Исследование сортировки материала на модели струнного грохота

На изготовленной экспериментальной модели струнного грохота (СГ) (рисунки 5.1 – 5.5) проведены контрольные испытания при различных углах наклона просеивающих секций α и передней стенки β .



Рисунок 5.1 – Экспериментальная модель струнного грохота (вид сбоку):

- 1 – загрузочный бункер; 2 – передняя стенка; 3 – просеивающие секции;
4 – приемные бункеры; 5 – стойка для регулирования угла наклона передней стенки β



Рисунок 5.2 – Экспериментальная модель струнного грохота (вид спереди):
1 – загрузочный бункер; 2 – передняя стенка; 6 – струны просеивающих секций;
7 – кантователи



Рисунок 5.3 – Кантователи и струны просеивающих секций СГ (вид сверху):
6 – струны просеивающих секций; 7 – кантователи



Рисунок 5.4 – Кантователи и струны просеивающих секций СГ (вид сбоку)



Рисунок 5.5 – Транспорт для определения угла наклона передней стенки β и просеивающих секций α

Сортируемый материал представляет собой кубики из пенополистирола и дерева (сосна), соответствующие определенным классам крупности и имеющие следующие размеры (рис. 5.6):

- класс крупности $a = 200\text{--}300$ мм: $80 \times 80 \times 80$ мм;
- класс крупности $a = 100\text{--}200$ мм: $50 \times 50 \times 50$ мм;
- класс крупности $a = 50\text{--}100$ мм: $35 \times 35 \times 35$ мм;
- класс крупности $a = 25\text{--}50$ мм: $20 \times 20 \times 20$ мм.



Рисунок 5.6 – Сортируемый материал для испытаний модели струнного грохота

Удельный вес кубиков из пенополистирола составляет 30 кг/м^3 , а из дерева (сосна) – 700 кг/м^3 (удельный вес угля $750 - 1100 \text{ кг/м}^3$).

Сортируемый материал загружался в загрузочный бункер 1. Затем с помощью стойки 5 и транспортера 8 устанавливался необходимый угол наклона просеивающих секций α и передней стенки β . Далее открывался затвор в загрузочном бункере 1, и сортируемый материал, катясь под действием силы тяжести по передней стенке 2, попадал на верхнюю просеивающую секцию 3, где переворачивался кантователями 7. Куски сортируемого материала, большие, чем промежутки между струнами, задерживались на струнах 6 и транспортировались в приемный бункер 4 верхней секции. Более мелкая фракция, прошедшая через верхнюю просеивающую секцию, попадала на среднюю секцию 3, где по струнам 6 транспортировалась в свой приемный бункер 4. Мелкий гранулометрический состав задерживался на нижней просеивающей секции 3 и попадал в приемный бункер 4 для мелкой фракции. Самая мелкая фракция, не задерживаясь на просеивающих секциях 3, под действием силы тяжести попадала в приемный бункер 4 подрешетного материала.

Состав сортируемого материала, задержанного верхней просеивающей секцией и собранного в приемном бункере (надрешетный продукт), был рассчитан с целью получения его процентного содержания к исходному питанию, а также содержания более мелкого класса (подрешетный продукт), который остался на верхней просеивающей секции и попал в бункер [80].

Для расчета эффективности струнного грохота использовалась формула [81]:

$$\mathcal{E} = \frac{100 \cdot (x - y)}{x \cdot (100 - y)} \cdot 100, \quad \% \quad (5.1)$$

где x – содержание сортируемого материала, прошедшего через канат (подрешетный продукт) к исходному питанию, %; y – содержание подрешетного продукта на канате (в надрешетном продукте), %.

Для определения эффективности сортировки проведен контрольный рассев сортируемого материала, результаты которого представлены в таблицах 5.1–5.3.

Таблица 5.1 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из пенополистирола

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	100	-	-
100–200	25			-	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

Таблица 5.2 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из дерева

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
1	2	3	4	5	6	7
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			12,5	75	-
50-100	25			12,5	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	87,5	-	-
100–200	25			12,5	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	100		
100–200	25			-	100	
50-100	25			-	-	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	87,5	-	-
100–200	25			12,5	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			12,5	75	-
50-100	25			12,5	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

Таблица 5.3 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из пенополистирола и дерева

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
1	2	3	4	5	6	7
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	87,5	-	-
100–200	25			12,5	100	-
50-100	25			-	-	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–200 мм) в исходном питании:

$$x_1 = 25 + 25 + 25 = 75\%.$$

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–200 мм) в надрешетном продукте верхней секции:

$$y_1 = 25 + 0 + 0 = 25\%.$$

КПД верхней просеивающей секции:

$$\mathcal{E}_{BC} = \frac{100 \cdot (x_1 - y_1)}{x_1 \cdot (100 - y_1)} \cdot 100 = \frac{100 \cdot (75 - 25)}{75 \cdot (100 - 25)} \cdot 100 = 88,9\%.$$

Выход класса 25–200 мм (от исходного питания), поступающего на среднюю секцию:

$$\theta_{CC} = \frac{x_1 \cdot \mathcal{E}_{BC}}{100} = \frac{75 \cdot 88,9}{100} = 66,6\%. \quad (5.2)$$

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–100 мм) в исходном питании:

$$x_2 = 25 + 25 = 50\%.$$

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–100 мм) в надрешетном продукте средней секции:

$$y_2 = 25 + 0 = 25\%.$$

Эффективность сортировки средней просеивающей секции:

$$\mathcal{E}_{CC} = \frac{100 \cdot (\theta_{CC} - y_2)}{\theta_{CC} \cdot (100 - y_2)} \cdot 100 = \frac{100 \cdot (66,6 - 25)}{66,6 \cdot (100 - 25)} \cdot 100 = 83,3\%. \quad (5.3)$$

Выход класса 25–100 мм (от исходного питания), поступающего на нижнюю секцию:

$$\theta_{HC} = \frac{x_2 \cdot \mathcal{E}_{CC}}{100} = \frac{50 \cdot 83,3}{100} = 41,7\%.$$

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–50 мм) в исходном питании:

$$x_3 = 25\%.$$

По таблице 5.1 находим содержание подрешетного продукта (класс 25–50 мм) в надрешетном продукте нижней секции:

$$y_3 = 25\%.$$

Эффективность сортировки нижней просеивающей секции:

$$\mathcal{E}_{HC} = \frac{100 \cdot (\theta_{HC} - y_3)}{\theta_{HC} \cdot (100 - y_3)} \cdot 100 = \frac{100 \cdot (41,7 - 25)}{41,7 \cdot (100 - 25)} \cdot 100 = 53,4\%.$$

Следовательно, эффективность сортировки СГ при угле наклона просеивающих секций $\alpha = 30^\circ$ и угле наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$ составляет 53,4 – 88,9%.

Аналогично рассчитываем эффективность сортировки струнного грохота для других значений углов наклона просеивающих секций и передней стенки. Результаты расчетов представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Эффективность сортировки струнного грохота

Сортируемый материал	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Содержание подрешетного продукта x , %			Содержание подрешетного продукта в надрешетном продукте, y , %			КПД просеивающей секции, \mathcal{E} , %			Выход класса (от исходного питания), поступающего на следующую секцию, θ , %		
			Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
Пенополистирол	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,2	83,9	-	71,4	41,7
	50	80	75	50	25	0	12,5	12,5	98	95,2	84,3	-	75	47,6
	60	80	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,2	83,9	-	71,4	41,7
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
Дерево	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	12,5	25	25	95,2	86,6	56,3	-	71,4	43,3
	50	80	75	50	25	0	0	12,5	98	98	85,7	-	75	50
	60	80	75	50	25	12,5	25	25	95,2	86,6	56,3	-	71,4	43,3
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
Пенополистирол и дерево	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	50	80	75	50	25	12,5	0	12,5	95,2	98	85,7	-	71,4	50
	60	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7

Таким образом, эффективность сортировки модели струнного грохота (в зависимости от получаемой фракции) составляет от 53,4 до 98%, причем с увеличением угла наклона просеивающих секций α до 50° и передней стенки β до 80° эффективность сортировки повышается. А далее при увеличении угла наклона просеивающих секций α , эффективность сортировки начинает снижаться. Графическая зависимость эффективности сортировки СГ от угла наклона просеивающих секций на примере сортировки деревянных кубиков показана на рисунке 5.7.

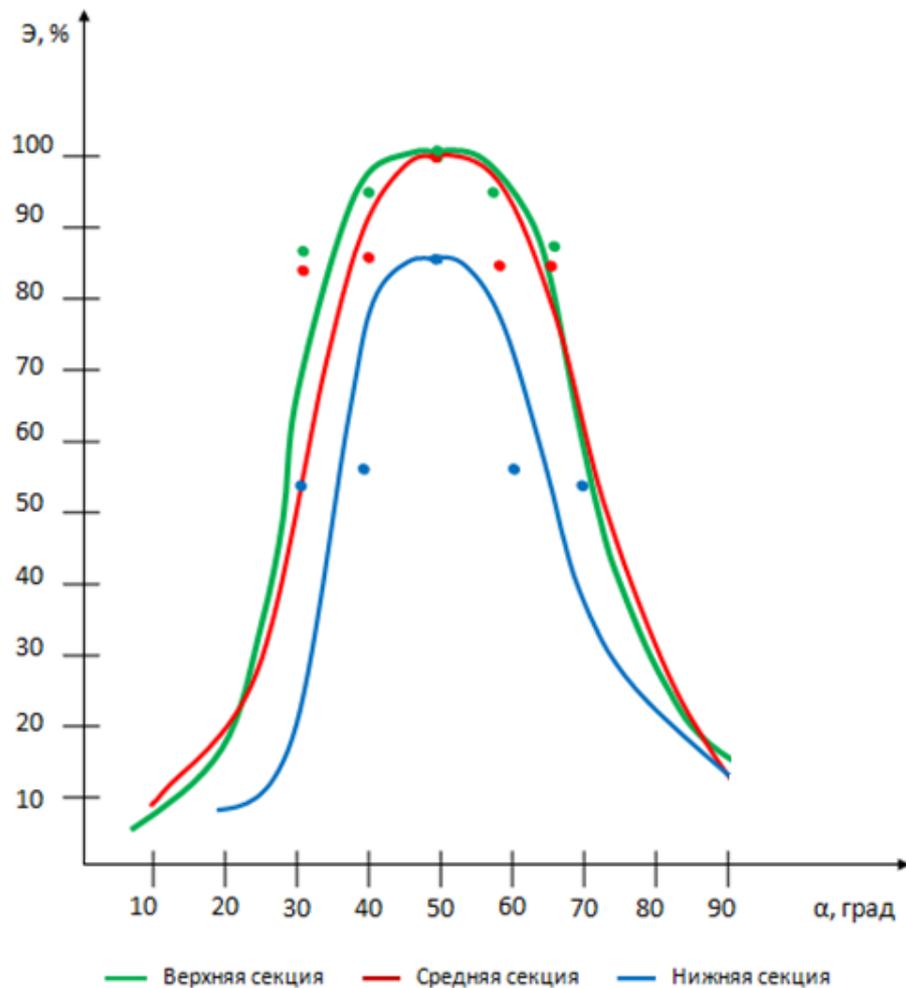


Рисунок 5.7 – Эффективность сортировки СГ в зависимости от угла наклона просеивающих секций (при сортировке деревянных кубиков)

Самая высокая эффективность сортировки на модели струнного грохота достигается при углах наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$ и передней стенки $\beta = 80^\circ$. Если анализировать по виду сортируемого материала, самая

высокая эффективность достигается при сортировке деревянных кубиков (85,7% - нижняя секция, 98% - верхняя и средняя секции), затем эффективность немного снижается при сортировке смеси пенополистирольных и деревянных кубиков (85,7% - нижняя секция, 98% - средняя секция и 95,2% - верхняя секция) и при сортировке пенополистирольных кубиков (84,3% - нижняя секция, 95,2% - средняя секция и 98% - верхняя секция).

5.2 Исследование сортировки материала на струнном ступенчатом грохоте

На изготовленной экспериментальной модели струнного ступенчатого грохота (ССГ) (рисунки 5.8 – 5.11) проведены контрольные испытания при различных углах наклона просеивающих секций α и передней стенки β .



Рисунок 5.8 – Экспериментальная модель струнного ступенчатого грохота (вид сбоку):
 1 – загрузочный бункер; 2 – передняя стенка; 3 – просеивающие секции; 4 – ступени на просеивающих секциях; 5 – стойка для регулирования угла наклона передней стенки β



Рисунок 5.9 – Экспериментальная модель струнного ступенчатого грохота (вид спереди):

1 – загрузочный бункер; 2 – передняя стенка; 6 – струны просеивающих секций;

7 – кантователи



Рисунок 5.10 – Кантователи и струны просеивающих секций ССГ (вид сверху):
6 – струны просеивающих секций; 7 – кантователи



Рисунок 5.11 – Ступени, кантователи и струны просеивающих секций ССГ (вид сбоку)

Для проведения испытаний на струнном ступенчатом грохоте применялся тот же сортируемый материал (кубики из пенополистирола и дерева (сосна)), что и при проведении испытаний на струнном грохоте (СГ) (рисунок 5.6). Методика проведения испытаний на ССГ аналогична методике проведения испытаний на СГ (гл. 5.1). Расчет эффективности струнного ступенчатого грохота проводится по формулам 5.1, 5.2 [81].

Для определения эффективности сортировки проведен контрольный рассев сортируемого материала, результаты которого представлены в таблицах 5.5 – 5.7.

Таблица 5.5 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из пенополистирола

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	100	-	-
100–200	25			-	100	-
50-100	25			-	-	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

Таблица 5.6 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из дерева

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	100	-	-
100–200	25			-	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	100	-	-
100–200	25			-	100	-
50-100	25			-	-	100
25-50	25			-	-	-
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	100	-	-
100–200	25			-	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

Таблица 5.7 – Результаты контрольного отсева сортируемого материала из пенополистирола и дерева

Класс крупности просеиваемого материала, мм	Исходное питание, %	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Выход надрешетного продукта, %		
				Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
200–300	25	30	60	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100
200–300	25	40	70	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	50	80	100	-	-
100–200	25			-	100	-
50-100	25			-	-	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	60	80	87,5	-	-
100–200	25			12,5	87,5	-
50-100	25			-	12,5	87,5
25-50	25			-	-	12,5
Итого	100			100	100	100
200–300	25	70	80	75	-	-
100–200	25			25	75	-
50-100	25			-	25	75
25-50	25			-	-	25
Итого	100			100	100	100

Эффективность сортировки ССГ, рассчитанная по той же методике, что и СГ (формулы 5.1., 5.2) при угле наклона просеивающих секций $\alpha = 30^\circ$ и угле наклона передней стенки $\beta = 60^\circ$ составила 53,4 – 88,9%.

Аналогично рассчитывается эффективность сортировки струнного ступенчатого грохота для других значений углов наклона просеивающих секций и передней стенки. Результаты расчетов представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Эффективность сортировки струнного ступенчатого грохота

Сортируемый материал	Угол наклона просеивающих секций α , град	Угол наклона передней стенки β , град	Содержание подрешетного продукта x , %			Содержание подрешетного продукта в надрешетном продукте, y , %			КПД просеивающей секции, \mathcal{E} , %			Выход класса (от исходного питания), поступающего на следующую секцию, θ , %		
			Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция	Верхняя секция	Средняя секция	Нижняя секция
Пенополистирол	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,2	83,9	-	71,4	41,7
	50	80	75	50	25	0	0	12,5	98	98	85,7	-	75	50
	60	80	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,2	83,9	-	71,4	41,7
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
Дерево	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	0	12,5	12,5	100	95,2	84,3	-	75	47,6
	50	80	75	50	25	0	0	0	98	98	98	-	75	50
	60	80	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,2	83,9	-	71,4	41,7
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
Пенополистирол и дерево	30	60	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7
	40	70	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,3	84	-	71,4	47,2
	50	80	75	50	25	0	0	12,5	98	98	85,7	-	75	50
	60	80	75	50	25	12,5	12,5	12,5	95,2	94,3	84	-	71,4	47,2
	70	80	75	50	25	25	25	25	88,9	83,3	53,4	-	66,6	41,7

Таким образом, эффективность сортировки модели струнного ступенчатого грохота (в зависимости от получаемой фракции) составляет от 53,4 до 98%, причем с увеличением угла наклона просеивающих секций α до 50° и передней стенки β до 80° эффективность сортировки повышается. А далее при увеличении угла наклона просеивающих секций α , эффективность сортировки начинает снижаться. Графическая зависимость эффективности сортировки ССГ от угла наклона просеивающих секций на примере сортировки деревянных кубиков показана на рисунке 5.12.

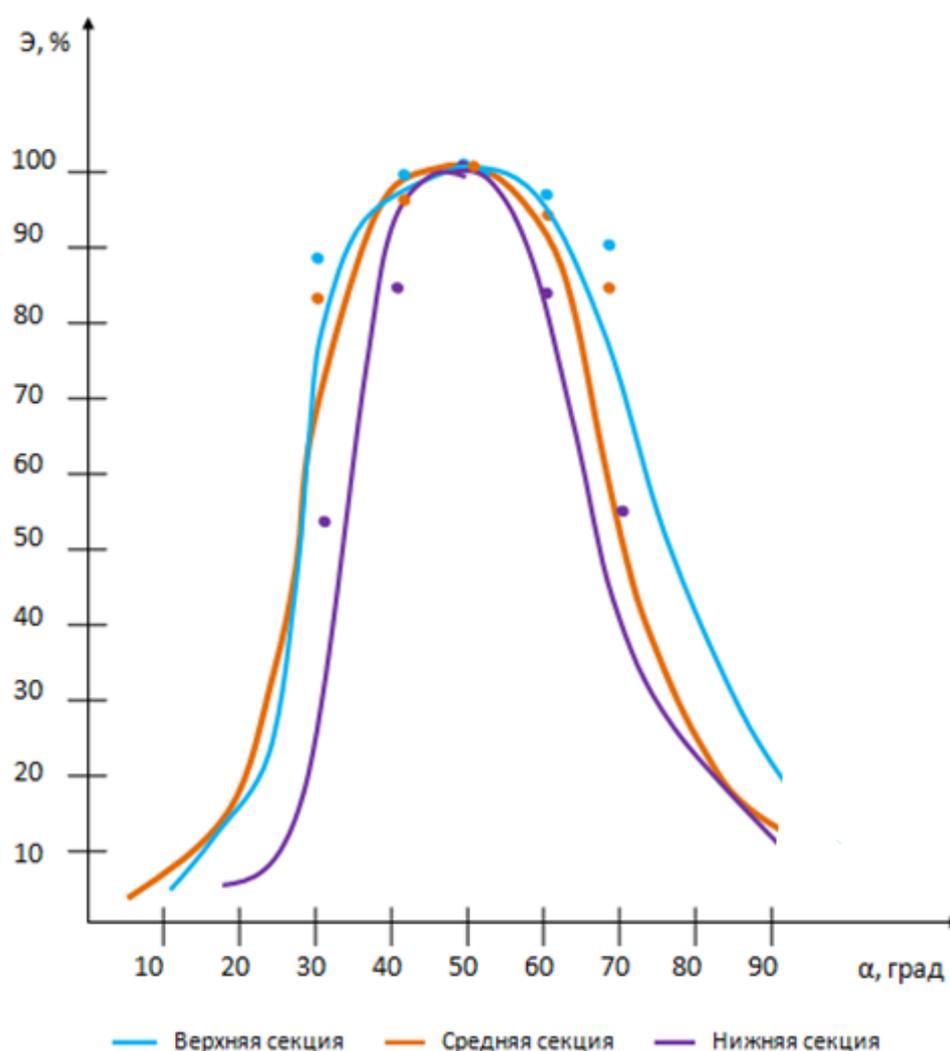


Рисунок 5.12 – Эффективность сортировки ССГ в зависимости от угла наклона просеивающих секций (при сортировке деревянных кубиков)

Самая высокая эффективность сортировки на модели струнного ступенчатого грохота достигается при углах наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$ и передней стенки $\beta = 80^\circ$. Анализируя по виду сортируемого материала, самая высокая эффективность достигается при сортировке деревянных кубиков (98% - верхняя, средняя и нижняя секции), затем эффективность немного снижается при сортировке смеси пенополистирольных и деревянных кубиков и отдельно пенополистирольных кубиков (85,7% - нижняя секция, 98% - средняя и верхняя секции).

Проведя сравнение полученной эффективности сортировки на моделях струнного грохота и струнного ступенчатого грохота при прочих равных условиях (табл. 5.4 и 5.8), можно сделать вывод о том что, эффективность сортировки ССГ выше, чем у СГ и составляет от 85,7 до 98%.

Причем при сортировке материала с большим удельным весом (кубики из дерева) сортировка на ССГ составила 98% на всех уровнях просеивающих секций (верхней, средней и нижней).

5.3 Оценка экономической эффективности применения струнных грохотов

Для оценки технико-экономической эффективности применения струнных грохотов (струнного и струнного ступенчатого (СГ и ССГ)) проведен анализ основных экономических показателей.

Струнный и струнный ступенчатый грохота включают в себя различные элементы (загрузочный бункер; переднюю стенку; просеивающие секции; кантователи с осями; приемные бункеры; кожухи; различные комплектующие), которые образуют полную конструкцию.

Для определения общей суммы капитальных вложений необходимо знать расходы на изготовление каждого элемента.

5.3.1 Расчет капитальных вложений на изготовление струнного и струнного ступенчатого грохотов

Для изготовления загрузочного бункера используется сталь марки 45 с толщиной 12 мм [82].

Рассчитаем примерную стоимость изготовления загрузочного бункера по формуле:

$$C_{з.б.} \approx S_{з.б.} \cdot C_{ст} \approx 3,3 \cdot 753,83 \approx 19575,6 \text{ руб}, \quad (5.4)$$

где, $S_{з.б.}$ – площадь поверхности загрузочного бункера, m^2 ; $C_{ст}$ – цена за 1 m^2 стали, ($C_{ст} \approx 5932 \text{ руб./} m^2$).

Для изготовления передней стенки используется сталь марки 45 с толщиной 20 мм [82].

Рассчитаем примерную стоимость изготовления задней стенки по формуле:

$$C_{п.с.} \approx S_{п.с.} \cdot C_{ст} \approx 7,12 \cdot 5175,18 \approx 36847,28 \text{ руб}, \quad (5.5)$$

где, $S_{п.с.}$ – площадь поверхности передней стенки, m^2 ; $C_{ст}$ – цена за 1 m^2 стали, ($C_{ст} \approx 5175,18 \text{ руб./} m^2$) [83].

Для изготовления просеивающих (поверхностей) секций используются стальные прутки [84], а для рам – стальные равнополочные уголки (марка 45) [85]:

1) первая секция – прутки диаметром $d_{с.1с.} = 10 \text{ мм}$ ($C_{п} \approx 28 \text{ руб/м}$), уголки $35 \times 35 \times 3$ ($C_{уг} \approx 124 \text{ руб/м}$);

2) вторая секция – прутки диаметром $d_{с.2с.} = 14 \text{ мм}$ ($C_{п} \approx 60 \text{ руб/м}$), уголки $50 \times 50 \times 5$ ($C_{уг} \approx 260 \text{ руб/м}$);

3) третья секция – прутки диаметром $d_{с.3с.} = 16 \text{ мм}$ ($C_{п} \approx 74 \text{ руб/м}$), уголки $80 \times 80 \times 6$ ($C_{уг} \approx 645 \text{ руб/м}$);

4) четвертая секция – прутки диаметром $d_{с.4с.} = 20 \text{ мм}$ ($C_{п} \approx 118 \text{ руб/м}$), уголки $100 \times 100 \times 10$ ($C_{уг} \approx 1000 \text{ руб/м}$);

5) пятая секция – пруток диаметром $d_{c.5c.} = 22$ мм ($C_{п} \approx 140$ руб/м), уголки $125 \times 125 \times 10$ ($C_{уг} \approx 1320$ руб/м);

6) шестая секция – пруток диаметром $d_{c.6c.} = 25$ мм ($C_{п} \approx 180$ руб/м), уголки $125 \times 125 \times 10$ ($C_{уг} \approx 1320$ руб/м).

Конструкция просеивающей поверхности струнного ступенчатого грохота предполагает наличие ступеней (описано в главе 4), что повлечет за собой больший расход стальных прутков для изготовления этих ступеней, чем при изготовлении струнного грохота.

Для изготовления кантователей используются полые трубки из стали марки 45, к которым привариваются лопатки из стали марки 45 с толщиной от 5 до 12 мм (в зависимости от секции).

Кантователи крепятся на специальные оси, которые представляют собой цельные прутки из стали марки 45 различного диаметра, длина которых определяется шириной внешнего контура просеивающих секций.

Принимаются следующие параметры для кантователей:

1) вторая секция – трубки кантователей с внешним диаметром $d_{тр} = 25$ мм и толщиной стенки $s = 2$ мм, лопатки кантователей с длиной $l_{л} = 100$ мм и шириной $b_{л} = 40$ мм, оси с диаметром $d_o = 20$ мм;

2) третья секция – трубки кантователей с внешним диаметром $d_{тр} = 25$ мм и толщиной стенки $s = 2$ мм, лопатки кантователей с длиной $l_{л} = 170$ мм и шириной $b_{л} = 80$ мм, оси с диаметром $d_o = 20$ мм;

3) четвертая секция – трубки кантователей с внешним диаметром $d_{тр} = 25$ мм и толщиной стенки $s = 2$ мм, лопатки кантователей с длиной $l_{л} = 212$ мм и шириной $b_{л} = 180$ мм, оси с диаметром $d_o = 20$ мм.

4) пятая секция – трубки кантователей с внешним диаметром $d_{тр} = 25$ мм и толщиной стенки $s = 2$ мм, лопатки кантователей с длиной $l_{л} = 260$ мм и шириной $b_{л} = 280$ мм, оси с диаметром $d_o = 20$ мм.

5) шестая секция – трубки кантователей с внешним диаметром $d_{тр} = 25$ мм и толщиной стенки $s = 2$ мм, лопатки кантователей с длиной $l_{л} = 300$ мм и шириной $b_{л} = 320$ мм, оси с диаметром $d_o = 20$ мм.

Для изготовления приемных бункеров используется сталь марки СтЗсп с толщиной 5 мм. Рассчитаем примерную стоимость изготовления приемных бункеров по формуле:

$$C_{п.б.} \approx S_{об.п.б.} \cdot C_{ст} \approx 12,9 \cdot 2590 \approx 33411 \text{ руб}, \quad (5.6)$$

где $S_{об.п.б.}$ - общая площадь поверхности приемных бункеров, m^2 ; $C_{ст}$ - цена за 1 m^2 стали, ($C_{ст} \approx 2590$ руб/м) [83].

Для изготовления кожухов используется луженая жечь с толщиной 0,25 мм.

Рассчитываем примерную стоимость изготовления кожухов по формуле:

$$C_{ж.к.} \approx S_{ж.к.} \cdot C_{ж} \approx 28,66 \cdot 65,24 \approx 1869,78 \text{ руб}, \quad (5.7)$$

где $S_{ж.к.}$ - площадь поверхности кожухов, m^2 ; $C_{ж}$ - цена за 1 m^2 жести, ($C_{ж} \approx 850$ руб / m^2) [86].

Расчеты капитальных вложений на материалы для изготовления струнного грохота и струнного ступенчатого грохота представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Капитальные вложения на материалы для изготовления струнного и струнного ступенчатого грохотов

Элемент грохота	Количество, шт	Цена материала за 1 m^2 , руб	Цена материала за 1 м., руб	Общая стоимость материала для струнного грохота, руб	Общая стоимость материала для струнного ступенчатого грохота, руб
1	2	3	4	5	6
Загрузочный бункер	1	5932	–	19576	19576
Передняя стенка	1	5175,18	–	102278,8	102278,8
Прутки стальные:					
– первая секция	50		28	826	826
– вторая секция	40		60	2880	2940
– третья секция	30		74	3996	4196
– четвертая	20	–	118	5664	5853
- пятая	10		140	4200	4956
- шестая секция	5		180	3150	4446

1	2	3	4	5	6
Поперечные уголки:					
– первая секция	2		124	496	496
– вторая секция	2		260	1040	1040
– третья секция	2	–	645	2580	2580
– четвертая	2		1000	4000	4000
- пятая	2		1320	5280	5280
- шестая секция	2		1320	5280	5280
Продольные уголки:					
– первая секция	2		124	148,8	148,8
– вторая секция	2		260	624	624
– третья секция	2	–	645	2322	2322
– четвертая	2		1000	4800	4800
- пятая	2		1320	7920	7920
- шестая секция	2		1320	9504	9504
Кантователи:			За шт.		
– вторая секция	39		41,4	1615	1615
– третья секция	58		103,6	6009	6009
– четвертая	38	–	615,5	23389	23389
- пятая	27		1436	38772	38772
- шестая секция	12		2135,5	25626	25626
Оси кантователей:					
– вторая секция	1		60	72	72
– третья секция	2		74	266,4	266,4
– четвертая	2	–	118	566,4	566,4
- пятая	3		140	1260	1260
- шестая секция	3		180	1944	1944
Приемные бункеры	6	2590	–	33311	33311
Итоговая стоимость элементов				319397	321898
Комплекующие (5% от общей стоимости)				15970	16095
Жестяные кожухи	2	850	–	24650	24650
Итоговая сумма затрат				360017	362643

Для изготовления струнного и струнно-ступенчатого грохотов потребуется 2 рабочих – слесарь и сварщик.

Баланс их рабочего времени представлен в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Баланс рабочего времени при изготовлении струнного (струнного ступенчатого) грохота

Показатель	Значение
Календарный фонд, дн.	28
Невыходы по графику, дн.	8
Праздники, дн.	–
Номинальный фонд рабочего времени, дн	20
Эффективный фонд рабочего времени, дн	20
Средняя продолжительность смены, ч	8
Максимально возможный фонд рабочего времени, ч	160
Коэффициент списочного состава	1

Расчет фонда заработной платы представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Фонд заработной платы

Параметр	Значение
<i>Сварщик</i>	
Списочная численность, чел	1
Тарифная ставка, руб/дн	2000
Фонд рабочего времени, дн	20
Тарифный фонд, руб	40000
Премия (40%), руб	16000
Итого	56000
<i>Слесарь</i>	
Списочная численность, чел	1
Тарифная ставка, руб/дн	2000
Фонд рабочего времени, дн	20
Тарифный фонд, руб	40000
Премия (40%), руб	16000
Итого	56000

Общий фонд оплаты труда (ФОТ) составил 112000 рублей.

Суммарные расходы на создание струнного и струнного ступенчатого грохотов (капитальные вложения на материалы и изготовление) приведены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Капитальные вложения для СГ и ССГ

Показатель	Значение	
	СГ	ССГ
Капитальные вложения на материалы, руб.	360017	362643
Заработная плата, руб.	112000	112000
Отчисления в ФСС (30,2 %), руб	33824	33824
Прочие накладные расходы (25% от ФОТ)	28000	28000
ИТОГО	533841	536467

Для оценки экономической эффективности применения струнных грохотов (СГ и ССГ) сравним их с уже имеющимися грохотами ГИЛ-43 (грохот инерционный легкий) [87], ГИС-42 (грохот инерционный самобалансный) изготавливаемых заводом дробильного оборудования (ЗДО) «Тульские машины» [88].

Технические и эксплуатационные характеристики сравниваемых грохотов приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 – Технические и эксплуатационные характеристики грохотов

Показатель	Модель грохота			
	СГ	ССГ	ГИЛ-43	ГИС-42
Производительность, м ³ /час	100	100	100	100
Число ярусов (просеивающих поверхностей)	1 - 6	1 - 6	3	2
Наибольший размер куска исходного материала, мм	250 - 300	250 - 300	150	200
Угол наклона просеивающей поверхности, град	30 - 50	30 - 50	10-20	10-25
Мощность электродвигателя, кВт	-	-	7,5	11
Габаритные размеры грохота, Д*Ш*В, мм	3700*2200*4990	3700*2200*5080	4880*2220*1500	5175*2900*1330
Стоимость грохота, руб.	533841	536467	720000	932000

Внедрение рассмотренных моделей грохотов в производственный процесс связано с эксплуатационными расходами на грохочение (сортировку) угля, которые включают:

- годовую заработную плату обслуживающего персонала;
- годовые расходы на ремонт и содержание оборудования;
- годовые расходы на электроэнергию;
- амортизационные расходы.

Годовая заработная плата определяется в зависимости от режима работы конкретного предприятия, для расчета возьмем средние значения фонда времени и прерывный режим работы. Баланс рабочего времени одного рабочего представлен в табл. 5.14.

Таблица 5.14– Баланс рабочего времени одного рабочего

Показатели	Значение
Календарный фонд, дн.	365
Невыходы по графику дн.	105
Праздники, дн.	13
Номинальный фонд рабочего времени, дн	247
Невыходы на работу по причинам, в т. ч.:	66
- отпуск очередной и дополнительный, дн.	54
- учебный отпуск, дн.	3
- болезни, дн.	8
- выполнение государственных и общественных обязанностей, дн.	1
Эффективный фонд рабочего времени, дн	181
Средняя продолжительность смены, ч	12
Максимально возможный фонд рабочего времени, час	2172
Коэффициент списочного состава	1,36

Для обслуживания струнного и струнного ступенчатого грохотов, так же как и для обслуживания ГИЛ, ГИС требуется один рабочий (табл. 5.15).

Таблица 5.15– Рабочие для обслуживания грохота

Профессия	Кол-во единиц оборудования, шт.	Норма обслуж.	Число смен в сутки	Явочная числ-ть, чел./сут	Коэф. списоч. состава	Списоч. числ-ть, чел
Грохотовщик	1	1	2	2	1,36	3

Количество планируемых рабочих составит 3 человека.

Расчет годовой заработной платы представлен в табл. 5.16.

Таблица 5.16– Годовой фонд заработной платы

Списочная численность, чел	3
Тарифная ставка, руб/дни	4000
Фонд рабочего времени, дни	181
Тарифный фонд, руб	2172000
Премия (40%), руб	868800
Доплата за работу в веч. и ночн. время (20%), руб	434400
Итого фонд заработной платы, руб	3475200
Отчисления в ФСС (30,2%)	1049510

Итого годовой фонд заработной платы составил 3475200 руб.

Годовые расходы на ремонт и содержание на каждом предприятии варьируются и зависят от срока эксплуатации и коэффициента работы грохота [89, 90]. При использовании новой техники затраты на ремонт принимаются в пределах 5-15% от закупочной стоимости оборудования [91, 92].

Годовые расходы на электроэнергию для грохотов ГИЛ и ГИС определяются по формуле [93]:

$$E = N_{\text{ДВ}} \cdot t_p \cdot k_M \cdot s, \text{ руб} \quad (5.8)$$

где $N_{\text{ДВ}}$ – мощность электродвигателя, кВт; t_p – фонд времени работы оборудования, ч; k_M – коэффициент загрузки двигателя, $k_M = 0,9$; s – стоимость 1 кВт/ч потребленной электроэнергии ($s = 5,83$ руб/кВт*ч) [94].

$$t_p = T_{\text{ЭФ}} \cdot t_{\text{СМ}} \cdot n_{\text{СМ}}, \text{ ч} \quad (5.9)$$

где $T_{\text{ЭФ}}$ – эффективный фонд рабочего времени, ч; $t_{\text{СМ}}$ – продолжительность смены, ч; $n_{\text{СМ}}$ – количество смен.

$$t_p = 181 \cdot 12 \cdot 2 = 4344 \text{ ч}$$

Результаты расчета годовых расходов на электроэнергию представлены в табл. 5.17.

Таблица 5.17 - Годовые расходы на электроэнергию

Модель грохота	Мощность электродвигателя, кВт	Время работы, час	Потребляемая электроэнергия, кВт	Итого расходы на электроэнергию, руб
ГИЛ – 43	7,5	4344	32580	170947,3
ГИС – 42	11		47784	250722,6

Величина амортизационных отчислений по ЕНАО для грохотов и сит составляет 14,3 % и определяется по формуле:

$$A = C_{\Gamma} \cdot \frac{N_A}{100} \quad (5.10)$$

где C_{Γ} – стоимость грохота, руб; N_A – норма амортизации, $N_A = 14,3\%$.

Результаты расчета годовых эксплуатационных расходов сравниваемых грохотов приведены в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Эксплуатационные расходы

Статьи расходов	Модель грохота			
	СГ	ССГ	ГИЛ-43	ГИС-42
Заработная плата, руб	3475200	3475200	3475200	3475200
Отчисления в ФСС, руб	1049510	1049510	1049510	1049510
Ремонт и содержание оборудования (10% от стоимости), руб	53384	53647	72000	93200
Электроэнергия, руб	-	-	170947,3	250722,6
Амортизационные отчисления, руб	76339	76715	102960	133276
Итого эксплуатационные затраты, руб	4 654 433	4 655 072	4 870 617	5 001 909

Выбор наилучшего грохота из числа сравниваемых вариантов, с точки зрения экономической эффективности, определяется по наименьшим приведенным затратам.

Приведенные затраты определяются:

$$Z_{пр} = C + K_B \cdot E_H \rightarrow \min, \quad (5.11)$$

где C – эксплуатационные затраты, руб; K_B – капитальные вложения, руб; E_H – нормативный коэффициент эффективности ($E_H = 0,15$) [95].

Приведенные затраты по сравниваемым вариантам грохотов составили: СГ – 4734509 руб; ССГ – 4735542 руб; ГИЛ- 43 – 4978617 руб; ГИС- 42 – 5141709 руб.

Полученные результаты расчетов показывают, что наименьшие приведенные затраты получаются при использовании струнного и струнного ступенчатого грохотов, следовательно применение этих вариантов наиболее целесообразно и экономически выгодно для производства.

Все виды затрат по сравниваемым моделям грохотов приведены в таблице 5.19 и на рисунке 5.18.

Таблица 5.19 - Затраты по сравниваемым моделям грохотов

Статьи расходов	Модель грохота			
	СГ	ССГ	ГИЛ-43	ГИС-42
Капитальные вложения, руб	533841	536467	720000	932000
Эксплуатационные затраты, руб	4654433	4655072	4870617	5001909
Приведенные затраты, руб	4734509	4735542	4978617	5141709

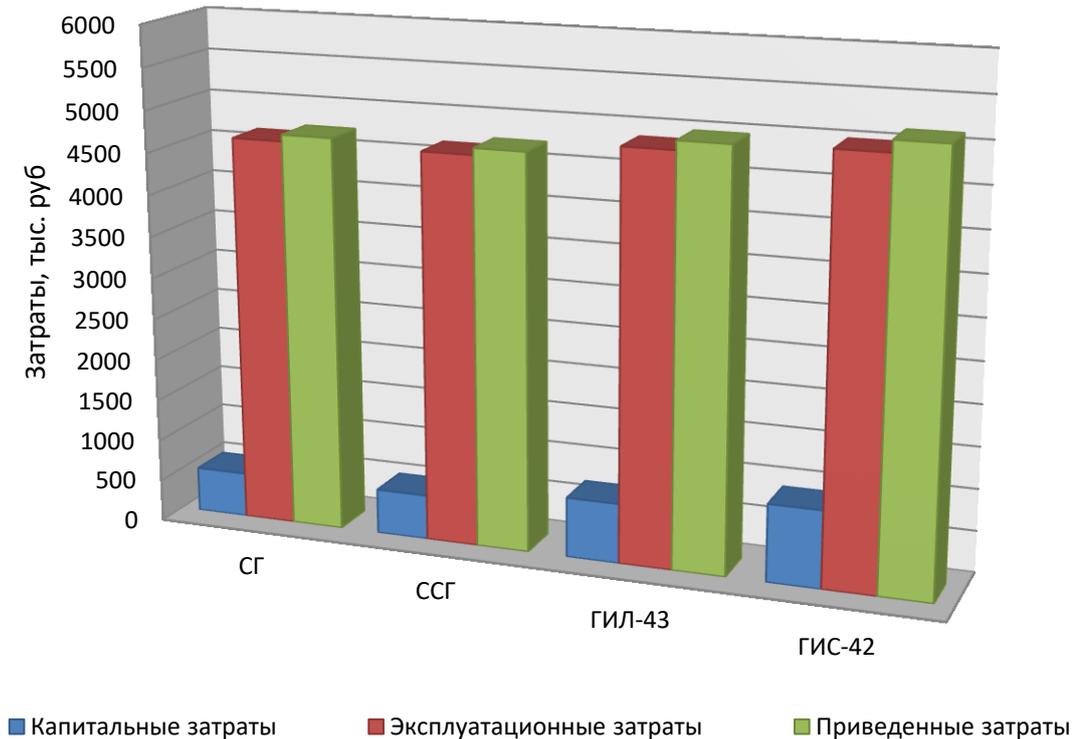


Рисунок 5.18 – Затраты по сравниваемым моделям грохотов

Таким образом, рассчитанные технико-экономические показатели применения струнного и струнного ступенчатого грохотов и их сравнение с грохотами ГИЛ-43 и ГИС-42 показали, что наименьшие капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты получены при использовании СГ и ССГ.

5.4 ВЫВОДЫ

1. Проведены эксперименты по сортировке материала на модели струнного грохота. Эффективность сортировки струнного грохота (в зависимости от получа-

емой фракции) составила от 53,4 до 98%. Самая высокая эффективность сортировки достигается при углах наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$ и передней стенки $\beta = 80^\circ$ и при сортировке деревянных кубиков (85,7% - нижняя секция, 98% - верхняя и средняя секции).

2. Проведены эксперименты по сортировке материала на модели струнного ступенчатого грохота. Эффективность сортировки струнного ступенчатого грохота (в зависимости от получаемой фракции) составила от 53,4 до 98%, причем самая высокая эффективность сортировки (98% - верхняя, средняя и нижняя секции), достигается при углах наклона просеивающих секций $\alpha = 50^\circ$ и передней стенки $\beta = 80^\circ$ и при сортировке материала с наибольшим удельным весом (деревянные кубики).

3. Сравнение полученной эффективности сортировки на струнном грохоте и струнном ступенчатом грохоте при прочих равных условиях показало что, эффективность сортировки ССГ выше, чем у СГ и составляет от 85,7 до 98%.

4. Рассчитаны технико-экономические показатели применения струнного и струнного ступенчатого грохотов и проведено их сравнение с грохотами ГИЛ- 43 и ГИС- 42. Наименьшие капитальные, эксплуатационные и приведенные затраты получены при использовании СГ и ССГ. Применение этих грохотов будет целесообразно и экономически выгодно для рассортировки рядового угля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования являются законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная и практическая задача по разработке и обоснованию параметров струнных грохотов для сортировки угля, выбору их оптимальных значений и разработке действующих моделей.

Основные научные и практические результаты работы перечислены ниже.

1. Предложены конструкции струнного и струнного ступенчатого грохотов, в которых для повышения эффективности рассортировки применены свободно вращающиеся кантователи на каждой просеивающей секции, причем в струнном ступенчатом грохоте на каждой нижележащей ступени применено шахматное расположение струн, а кантователи расположены в конце ступени, кроме последней.

2. Проведен анализ работы струнного и струнного ступенчатого грохотов и выделены их основные конструктивные и режимные параметры, влияющие на их функционирование: пропускная способность загрузочного бункера; передняя стенка грохота; канатное поле; просеивающие секции; габариты кантователей и их расположение; диаметр и усилия натяжения струн канатного поля, производительность грохотов.

3. Разработана математическая модель работы струнного и струнного ступенчатого грохотов, которая позволяет определить их конструктивные и режимные параметры, в зависимости от производительности и характеристик сортируемого материала.

4. Рассмотрены характеристики сортируемого материала, обоснованы и рассчитаны параметры, присущие струнному и струнному ступенчатому грохотам (параметры загрузочного бункера, передней стенки, приемных бункеров, кантователей).

5. Проведен расчет параметров, присущих только струнному и только струнному ступенчатому грохотам – длины и ширины просеивающих секций, а

также габаритов – длины, ширины и высоты. Построены зависимости длины и высоты струнного грохота от количества просеивающих секций и угла наклона передней стенки.

6. Определена зависимость производительности струнного и струнного ступенчатого грохотов от габаритов их просеивающих секций.

7. Проведенные исследования по сортировке материала на моделях струнного и струнного ступенчатого грохотов показали, что самая высокая эффективность сортировки достигается при установке просеивающих секций под углом 50° и передней стенки под углом 80° .

8. Сравнение параметров струнного и струнного ступенчатого грохотов показало о незначительном росте габаритов ССГ, при этом эффективность сортировки на модели ССГ выше, чем у СГ.

9. Расчет технико-экономических показателей применения предлагаемых струнных грохотов показал целесообразность их использования для сортировки рядового угля.

10. Практическая значимость научных разработок и технических решений, приведенных в диссертации, подтверждена их внедрением на предприятиях АО «Красноярсккрайуголь», основным видом деятельности которого является добыча угля и АО «Спецтехномаш», специализирующегося на разработке и изготовлении грохотов, а также в учебном процессе Сибирского федерального университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черкасова, Т.Г. Уголь – сырье для наукоемких отраслей промышленности / Т.Г. Черкасова, А.В. Тихомирова, Е.В. Черкасова // Уголь. – 2022. – № S12. – С. 67–71.
2. Таразанов, И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь–сентябрь 2021года / И. Г. Таразанов // Уголь. – 2022. – № 1. – С. 47–58.
3. Плакиткин, Ю.А. Уголь как основа большого цивилизационного «скачка» и новых возможностей мирового развития / Ю.А. Плакиткин, Л.С. Плакиткина, К.И. Дьяченко // Уголь. – 2022. – № 8. – С. 77–83.
4. Coal Information 2020. Overview. International Energy Agency Statistics, OECD/IEA, 2021. – 28 p.
5. Statistics report Key World Energy Statistics. International Energy Agency Statistics, OECD/IEA, September 2021. – 80 p.
6. Астафьева, О.Е. Формирование механизма устойчивого развития угольной промышленности / О.Е. Астафьева // Уголь. – 2021. – № 3. – С. 10–13.
7. Губанов, Р.С. Способы, динамика и структура угледобычи на российских месторождениях: проблемы и решения / Р.С. Губанов // Известия вузов. Горный журнал. – 2022. – № 5. – С. 25–35.
8. Rong Zhang. New insights into the permeability-increasing area of overlying coal seams disturbed by the mining of coal // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2018. – № 1. – Pages 352–364.
9. Lin J., Kahrl F., Liu X. A regional analysis of excess capacity in China's power systems // Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. P. 93–101.
10. Панков, Д.А. Добыча и потребление угля в мире: перспективы для российских экспортеров / Д.А.Панков, В.Я. Афанасьев // Уголь. – 2020. – № 11. – С. 67–70.
11. Демченко, И.И. О возможности размещения перерабатывающего оборудования в забое разреза для получения сортового угля / И.И. Демченко, А.О. Муленкова // «Известия вузов Горный журнал». – 2017. – № 8. – С. 26–32.

12. E. Fathi Salmi. Numerical analysis of a large landslide induced by coal mining subsidence // *Engineering Geology*. – 2017. – № 1. – Pages 141–152.
13. Jiuping Xu. Ecological coal mining based dynamic equilibrium strategy to reduce pollution emissions and energy consumption // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – № 11. – Pages 514–529.
14. Макаров, М.А. Совершенствование технологического процесса сортировки нерудных материалов / М.А. Макаров, Ю.И. Чеботарев // *Журнал «Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость»*. – 2016 г. – № 2. – С. 153–160.
15. Горная энциклопедия. [Электронный ресурс] // – М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е.А. Козловского. 1984 – 1991. – Режим доступа: https://dic.academic.ru/contents.nsf/enc_geolog/ (дата обращения 09.05.2023)
16. Плотников, И.С. Выбор и обоснование параметров грохота с канатным движущимся полем [Электронный ресурс] // Красноярск: Диссертация, 2015. – 164 с. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/vybor-i-obosnovanie-parametrov-grokhota-s-kanatnym-dvizhushchimsya-polem>. (дата обращения 09.05.2023)
17. Полулях, Д.А. Грохочение угля: монография/ Д.А. Полулях, А.Д. Полулях. – Днепрпетровск: из-во НГУ, 2017. – 352 с.
18. Мигун, Е. В. Классификация и виды грохотов / Е. В. Мигун; науч. рук. П. В. Цыбуленко // *Сборник материалов 75-й студенческой научно-технической конференции по актуальным проблемам недропользования: секция "Разработка месторождений полезных ископаемых"*, 19 апреля 2019 г. [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Факультет горного дела и инженерной экологии; сост. Е. Ю. Нарыжнова. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 98 –103. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/60843> (дата обращения 24.05.2023)
19. Григорьев, М.С. Применение сортировочных машин в горнодобывающей отрасли. Особенности конструкции и расчет / М.С. Григорьев // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2020. – № 10. – С. 336 –340.
20. Игнатова, О.С. Конструкция и испытания струнного грохота / О.С Игнатова, И.И. Демченко // *Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал)*. – 2018. – № 8. – С. 147 –155.

21. Игнатова, О.С. Конструкция и определение основных параметров струнного ступенчатого грохота / О.С Игнатова, И.И. Демченко // «Известия вузов Горный журнал». – 2023. – № 3. – С. 25 –35.

22. Клушанцев, Б.В. Машины и оборудование для производства щебня, гравия, песка / Б. В. Клушанцев, П. С. Ермолаев, А. А. Дудко. – М.: Машиностроение, 1976. –182 с.

23. Абрамов, А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.1. Обоганительные процессы и аппараты: учебник для вузов / А.А. Абрамов. – М.: Издательство МГГУ, 2001. – 472 с.

24. А.с. СССР № 1005950 МПК В07В1/12. Грохот / Круш И.И., Шифрин Л.М. заяв. 11.11.81; опубл. 23.03.83. Бюл. № 11.

25. А.с. СССР № 732027 МПК В07В1/12. Колосниковая решетка / Тартаковский Б.Н., Лашко В.Т. и др. заяв. 01.08.77; опубл. 05.05.80. Бюл. № 17.

26. А.с. СССР № 444566 МПК В07В1/12. Грохот / Клоцман В.Л., В.И. Надеин и др. заяв. 02.01.73; опубл. 30.09.74. Бюл. № 36.

27. А.с. СССР № 1107898 МПК В07В1/12. Колосниковый грохот / Мелашенко В.А., Кудряшов И.П. и др. заяв. 02.09.82; опубл. 15.08.84. Бюл. № 30.

28. А.с. СССР № 419084 МПК В07В1/12. Грохот / Букаты Г.Б., Чунц З.Г. заяв. 03.01.72; опубл. 15.03.76. Бюл. № 10.

29. А.с. СССР № 546392 МПК В07В1/12. Колосниковый грохот / Лашко В.Т., Дрышлюк А.А. и др. заяв. 11.06.74; опубл. 15.02.77. Бюл. № 6.

30. А.с. СССР № 325045 МПК В07В1/12. Грохот / Мамаев А.П. заяв. 11.08.70; опубл. 07.01.72. Бюл. № 3.

31. А.с. СССР № 390842 МПК В07В1/12. Грохот / Тартаковский Б.Н., Каменщук В.П. и др. заяв. 04.05.71; опубл. 25.07.73. Бюл. № 31.

32. А.с. СССР № 795582 МПК В07В1/12. Грохот / Павленко Д.Я., Лашко В.Т. и др. заяв. 22.10.75; опубл. 15.01.81. Бюл. № 2.

33. А.с. СССР № 1146101 МПК В07В1/12. Грохот / Черкасов Г.П., Дейнеко П.Ф. заяв. 27.06.83; опубл. 23.03.85. Бюл. № 11.

34. А.с. СССР № 1351698 МПК В07В1/12. Грохот / Черкасов Г.П., Дейнеко П.Ф. заяв. 18.06.86; опубл. 15.11.87. Бюл. № 42.

35. А.с. СССР № 1558507 МПК В07В1/12. Грохот / Абаев А.Д., Засеев А.Ф. заяв. 18.07.788; опубл. 23.04.90. Бюл. № 15.

36. А.с. СССР № 1057124 МПК В07В1/12. Сито грохота / Картавый Н.Г., Бардовский А.Д. и др. заяв. 06.09.82; опубл. 30.11.83. Бюл. № 44.

37. А.с. СССР № 435862 МПК В07В1/12. Грохот / Поляк Ю.Д. заяв. 10.11.72; опубл. 15.07.74. Бюл. № 26.

38. А.с. СССР № 645714 МПК В07В1/12. Струнное сито / Сидоренко Н.И., Рожков В.Т. и др. заяв. 09.12.76; опубл. 05.02.79. Бюл. № 5.

39. А.с. СССР № 421379 МПК В07В1/12. Грохот / Тарасов Ю.Д., Варламов С.И., Рубинштейн Ф.Е. заяв. 07.02.72; опубл. 30.03.74. Бюл. № 12.

40. Атрушкевич, В.А. Российские ресурсосберегающие системы управления качеством продукции горных предприятий на основе комплексов ДСКА- 4м / В. А. Атрушкевич, А.В. Атрушкевич, А.О. Сальникова, Ю.И. Нестеров // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2017. – № 3(43). – С. 194 –200.

41. Томаков, П.И. Открытая разработка угольных и рудных месторождений /П.И. Томаков, В.В. Манкевич. – М.: МГГУ, 1995. – 611 с.

42. Патент РФ № 2568460 МПК В07В 1/00. Струнный грохот / Демченко И.И., Игнатова О.С., Плотников И.С., заявл. 17.11.2014 г., опубл. 19.10.2015 г.

43. Клейн, М. С., Вахонина, Т. Е. Технология обогащения углей: учебное пособие. [Электронный ресурс] – Кемерово: КузГТУ. – 2011. – Режим доступа: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geoknigakleintehnologiyaobogasheniyauglei.pdf>.

(дата обращения 29.05.23)

44. Жедь, В.П. Вибрационные бункеры загрузочных устройств / В.П. Жедь. – М.: ЭНИМС, 1961. – 43 с.

45. Волков, Р.А. Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. – 367 с.

46. Бауман, В.А. Механическое оборудование строительных материалов, изделий и конструкций: учебник для вузов / В.А. Бауман. – М.: Машиностроение, 1975. – 351 с.
47. Егоров, В.Л. Обогащение полезных ископаемых / В.Л. Егоров. – М.: Недра. – 1986. – 421 с.
48. Верхотуров, М.В. Гравитационные методы обогащения / М.В. Верхотуров. – М.: МАКС Пресс. – 2006. – 352 с.
49. Горюшинский, И.В. и др. Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах: учебное пособие / И.И. Кононов, В.В. Денисов, Е.В. Горюшинская, Н.В. Петрушкин. Под общей редакцией И.В. Горюшинского. – Самара: СамГАПС, 2003. – 232с.
50. Вайсберг, Л.А. Просеивающие поверхности грохотов / Л.А. Вайсберг, А.Н. Картавый. – СПб.: Всегеи, 2005. – 252 с.
51. Игнатова, О.С. Обоснование параметров струнного грохота / О.С. Игнатова, И.И. Демченко // Журнал «Горное оборудование и электромеханика». – 2016. – № 7. – С. 31–37.
52. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля. – М.: Бюро НТД. – 2017. – 301с.
53. ГОСТ 19242 – 73 Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация по размеру кусков, с изменениями. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.testprom.ru/img_user/gosts/73/040/gost_19242-73.pdf (дата обращения 20.05.23)
54. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1973. – 576 с.
55. Патент РФ № 2692395 МПК В07В 1/12. Струнный грохот / Демченко И.И., Игнатова О.С., Плотников И.С., заявл. 09.10.2018 г., опубл. 24.06.2019 г.
56. Игнатова, О.С. Конструкции струнных грохотов для рассортировки энергетических углей [Электронный ресурс] / О.С. Игнатова, И.И. Демченко // Материалы XIX Международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-металлургической отрасли» (Игошинские чтения – 2019), г. Иркутск, ИРНИ-

ТУ, 28 – 29 ноября 2019 г., С. 28 – 32. – Режим доступа: https://www.istu.edu/upload/iblock/5f8/ig_19.pdf

57. Игнатова, О.С. Варианты струнных грохотов для рассортировки рядового угля [Электронный ресурс] / О.С. Игнатова, И.И. Демченко// Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный – 2021», Красноярск. – 2021 г. Режим доступа: <https://bik.sfu-kras.ru/ft/LIB2/EL/i-209394574.pdf>

58. Рогачев, Н.М. Курс физики: учебное пособие / Н.М. Рогачев. – Изд. 2-е, испр. и доп. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – 480 с.

59. Журавлев, Н.П. Транспортно-грузовые системы. Учебное пособие. / Н.П. Журавлев, О.Б. Маликов. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2006. – 368 с.

60. Гойхрах, И.М. Химия и технология искусственного топлива / И.М. Гойхрах, Н.Б. Пинягин. – М.: Гостоптехиздат, 1954. – 477 с.

61. Бедрань, Н.Г. Обогащение углей: учебник для вузов / Н.Г. Бедрань. – М.: Недра, 1988. – 206 с.

62. Артюшин, А.П. Обогащение углей / Артюшин А.П. – М.: Недра, 1975. – 384 с.

63. Беловолов, В.В. Техника и технология обогащения углей / В.В. Беловолов, Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов. – М.: Наука, 1995. – 622 с.

64. Филиал АО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Бородинский имени М.И. Щадова». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://suek-krasnoyarsk.ru/o_kompanii/predpriyatija/borodinskij (дата обращения 10.04.2022)

65. ОАО «БЕЛАЗ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/> (дата обращения 12.04.2022)

66. Цыбуленко, П.В. Машины и оборудование обогатительных и перерабатывающих производств: методическое пособие по практическим занятиям для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» / П.В. Цыбуленко, Н.И. Березовский. – Минск: БНТУ, 2013. – 35 с.

67. СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий: актуализированная редакция. – М.: ФГУПЦПП, 2012. – 106 с.

68. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых / В.М. Авдохин. – М.: МГГУ, 2006. – 417 с.
69. Зенков, Р.Л. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневиц, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 225 с.
70. Солод, Г.И. Технология машиностроения и ремонт горных машин / Г.И. Солод, В.И. Морозов. – М.: Недра, 1988. – 421 с.
71. Жедь, В.П. Вибрационные бункеры загрузочных устройств / В.П. Жедь. – М.: ЭНИМС, 1961. – 43 с.
72. Давыдов, Б. Л. Расчет и конструирование угледобывающих машин: учебное пособие / Давыдов Б.Л., Скородумов Б.А. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 592 с.
73. Смирнов, В. А. Математика: алгебра и начала математического анализа, геометрия. Геометрия. Базовый уровень. 11 класс / В. А. Смирнов, И. М. Смирнова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. – 271 с.
74. Инструкция по расчету производственных мощностей действующих предприятий по добыче и переработке угля (сланца). Министерство топлива и энергетики Российской Федерации (Приказ от 15 июля 1993 г. №164). – М.: 1993. – 65 с.
75. Разумов, К.А. Проектирование обогатительных фабрик / К.А. Разумов. – М.: Недра, 1970. – 592 с.
76. Бызов, В.Ф. Усреднительные системы на горнообогатительных предприятиях / В.Ф., Бызов. – М.: Недра, 1988. – 213 с.
77. Перов, В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых: учебник для вузов / В.А Перов, Е.Е Андреев, Л.Ф. Биленко. М.: Недра, 1990. – 301 с.
78. Шохин, В.Н. Гравитационные методы обогащения: учебник для вузов / В.Н. Шохин, А.Г. Лопатин. – М.: Недра, 1980. – 400 с.
79. Игнатова, О.С. Обоснование параметров кантователей струнного грохота [Электронный ресурс] / О.С. Игнатова, И.И. Демченко, А.Г. Груцкий // Материалы XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный - 2022». Красноярск. – 2022 г. – Режим доступа: <https://bik.sfu-kras.r/ft/LIB2/ELIB/b72/free/i-702542107.pdf>

80. Игнатова, О.С. Описание конструкции струнного грохота и испытания его модели [Электронный ресурс] / О.С. Игнатова, И.И. Демченко// Материалы международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной году экологии в РФ «Перспектив Свободный - 2017». Красноярск. – 2017 г. – Режим доступа: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/71528>

81. Методика определения производительности инерционных грохотов при грохочении каменных и бурых углей, антрацитов и горючих сланцев/ Министерство угольной промышленности СССР. – М., 1980. – 27 с.

82. ГОСТ 19903-2015. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент [Электронный ресурс]. – Введен 01.09.2016. – Режим доступа: https://krsnd.mkm-metal.ru/upload/iblock/ccb/gost19903_2015.pdf (дата обращения 30.05.2023)

83. Каталог металлопроката. ПРОМСТАЛЬ. [Электронный ресурс]. – Красноярск. – Режим доступа <https://promstal-metall.ru/> (дата обращения 10.02.2023)

84. ГОСТ 2590-2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент. [Электронный ресурс]. – Введен 01.07.2009. – Режим доступа: https://promgroupchel.ru/upload/iblock/99b/GOST-2590_06.pdf (дата обращения 30.05.2023)

85. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. [Электронный ресурс]. – Введен 01.01.1997. – Режим доступа: https://ns-metall.ru/Gosts/gost_8509-93.pdf (дата обращения: 04.05.2023)

86. МетПромКо. Продажа металлопроката. [Электронный ресурс]. – Красноярск. – Режим доступа <https://mpk-krasnoyarsk.pulscen.ru/> (дата обращения: 10.02.2023).

87. Грохоты инерционные легкого типа ГИЛ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grohot24.ru/products/oborudovanie-gorno-obogatitelnoe/grokhota-inertsionnye-legkogo-tipa-gil/view/62-grokhota-inertsionnye-legkogo-tipa> (дата обращения 20.04.2023).

88. Каталог оборудования ЗДО «Тульские машины» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://tulmash.ru/sortirovochnoe-oborudovanie/vibrogrohot-gsl-0-3-5/> (дата обращения 10.02.2023)

89. Крапчин, И.П. Экономика переработки углей / И.П. Крапчин. – М.: Недра, 1989. – 212 с.
90. Verzhansky, A.P. Ecologization of coal generation // Magazine "Coal". – 2017. – No. 9. – P. 11-16.
91. Petrov, I.V. Economic evaluation of energy efficiency of coal-energy technologies // Proceedings of the international scientific symposium "Week of the Miner - 2014": Collection of articles. A separate issue of the Mountain Information and Analytical Bulletin. – 2014. – P.180-189.
92. Plakitkina, L.S. Analysis of the development of the production of steam coal in the main countries of the world during the period 2000-2014 and tendencies of perspective development // Magazine "Coal". – 2017. – № 3. – P. 83-89.
93. Плотников, И.С. Техничко-экономическое обоснование использование грохота с канатным движущимся полем / И.С. Плотников, И.И. Демченко, О.С. Игнатова и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – № 2. – 2018. – С. 182-189.
94. Тарифы на электроэнергию для средних предприятий [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dlya-srednih-predpriyatiy> (дата обращения 15.02.2023).
95. Приказ Минстроя РФ от 14.09.1992 N 209 "Об утверждении Методики по определению уровня арендной платы за нежилые здания (помещения)" Приложение 1. Нормативные коэффициенты эффективности капитальных вложений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2571/7cf2f5d606fe90f407cdebccf_ebda91f15c3a2b4/ (дата обращения 15.02.2023)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент № 2465583 на изобретение конструкции струнного грохота



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Патент № 2692395 на изобретение конструкции струнного грохота



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения АО «Красноярсккрайуголь»



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
**КРАСНОЯРСК
КРАЙУГОЛЬ**

660075, Россия, Красноярск,
ул. Маерчака, д.34а
Тел. (391) 252-54-42
E-mail: kku@ruscoal.ru
ОКПО 04536157
ОГРН 1022401786373
ИНН/КПП 2460001984/246001001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО «Красноярсккрайуголь»

А.В. Ваулин

2023 г.



АКТ

о внедрении (использовании) результатов
диссертационной работы Игнатовой Ольги Сергеевны
«Обоснование параметров струнных грохотов с кантователями
для сортировки угля»

Мы, нижеподписавшиеся представители АО «Красноярсккрайуголь»
Попов И.А. – технический директор
Соловьян С.П. – главный механик
составили настоящий акт о том, что следующие результаты диссертационной
работы Игнатовой О.С. приняты к внедрению:

- повышение эффективности сортировки угля в рассматриваемой работе достигается применением предлагаемых конструкций струнного и струнного ступенчатого грохотов, общие параметры которых предопределены размерами и структурой;
- работоспособность предлагаемой конструкции струнного грохота и количество получаемого гранулометрического состава обеспечивается рассчитанными усилиями движущей силы сортируемого материала и определенными зависимостями длины и высоты просеивающих секций от углов установки передней стенки и просеивающей секции;
- разработанная математическая модель позволяет определять параметры струнного ступенчатого грохота и установить закономерность угла наклона просеивающей секции от ее длины, обеспечивающей работоспособность предлагаемой конструкции.

Предлагаемые конструкции струнного и струнного ступенчатого грохотов отличаются простотой, не используют в своей работе привод, тем самым снижается стоимость получаемого продукта при обеспечении требуемой эффективности сортировки.

Разработанные конструкции струнных грохотов будут включены в план модернизации дробильно-сортировочных комплексов на угольном разрезе филиал «Переясловский разрез».

Технический директор, к.т.н

И.А. Попов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акт внедрения АО «Спецтехномаш»



ОГРН 1022400665154 ИНН 2411002738 КПП 241101001
 ОКПО 10155085 ОКВЭД 29.52; 29.22.3; 29.22.9; 29.22.26
 Р/с: 40702810200230000013 Филиал ББР БАНКА в г. Красноярске
 К/с: 30101810600000000555 БИК 040407555

690050, Россия, г. Красноярск, ул. Кутузова, 1, а/я 1020,
 АО «СПЕЦТЕХНОМАШ» Тел./факс (391) 237-47-34, 260-76-58,
 тел. (391) 260-71-89. E-mail: zavod@grohot24.ru, www.grohot24.ru

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор
 АО «Спецтехномаш»
 А.Е. Никитин
 « 24 » ноября 2023 г.

АКТ
 о внедрении (использовании) результатов
 диссертационной работы Игнатовой Ольги Сергеевны
 «Обоснование параметров струнных грохотов с кантователями
 для сортировки угля»

Мы нижеподписавшиеся представители АО «Спецтехномаш», занимающегося разработкой и изготовлением горно-обогачительного оборудования (грохотов, конвейеров, классификаторов, сортировочных комплексов и др.) для угольной и других отраслей горной промышленности: заместитель генерального директора по развитию предприятия Осипов А.Ф., директор по маркетингу Пустоляков Н.М., главный конструктор Потехин Ю.Н. составили настоящий акт о том, что при проектировании и изготовлении струнных грохотов, следующие выполненные в диссертационной работе исследования принимаются АО «Спецтехномаш» к внедрению:

- математические модели расчета основных параметров струнного и струнного ступенчатого грохотов;
- установленные взаимозависимости рабочих параметров струнного и струнного ступенчатого грохотов;
- рассчитанные рациональные значения конструктивных параметров предлагаемых струнных грохотов для разной производительности.

Предлагаемые конструкции струнного и струнного ступенчатого грохотов отличаются простотой, не используют в своей работе привод, тем самым снижается стоимость получаемого продукта при обеспечении требуемой эффективности сортировки.

Зам. генерального директора
 по развитию предприятия

А.Ф. Осипов

Директор по маркетингу

Н.М. Пустоляков

Главный конструктор

Ю.Н. Потехин

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акт внедрения в учебный процесс



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе
ФБАОУ ВО СФУ

 Д.С. Гуз

«25» декабря 2023 г.

А К Т

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Игнатовой Ольги Сергеевны на тему «Обоснование параметров струнных
грохотов с кантователями для сортировки угля»

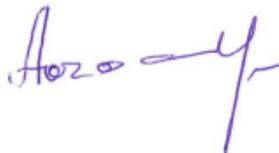
Результаты диссертационной работы старшего преподавателя Игнатовой О.С., посвящённой обоснованию параметров струнных грохотов с кантователями для сортировки угля, внедрены в учебный процесс Института цветных металлов Сибирского федерального университета и используются при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, а также при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам «Механическое оборудование карьеров» и «Механизация технологических процессов металлургических производств», предусмотренных учебными планами образовательных программ для специалистов по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» и для магистров по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

Директор Института цветных металлов



В.Н. Баранов

Заведующий кафедрой
«Горные машины и комплексы»



А.С. Морин