

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Королев Александр Игоревич



ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЙНОГО
ЗАРУБНОГО КОНВЕЙЕРА ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО
КОМПЛЕКСА АДАПТИВНОГО К ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ
ГИПСОМЕТРИИ ПЛАСТА

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Габов В.В.

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ	
1.1 Анализ угольных пластов как объектов разрушения.....	12
1.2 Свойства угольной массы, транспортируемой в очистных забоях.....	17
1.3 Оборудование для добычи угля в длинных очистных забоях.....	20
1.3.1 Машины для добычи угля и этапы их развития	20
1.3.2 Машины для транспортирования угля в очистных забоях.....	26
1.4 Работа очистных механизированных комплексов для добычи угля в зонах геологических нарушений	33
1.4.1 Изменение горно-геологических условий в комплексно- механизированном забое по мере отработки выемочного столба	33
1.4.2 Типы геологических нарушений и их влияние на эффективность работы машин очистных механизированных комплексов	36
1.4.3 Переход геологических нарушений при механизированной выемке угольных пластов	40
1.5 Адаптация забойных конвейеров очистных комплексов к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям	43
1.6 Выводы по главе 1.....	46
ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ЗАБОЙНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ.....	
2.1 Характеристика объекта исследования.....	49
2.2 Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса	52
2.3 Оценка качества конструкции и устойчивости режимов работы забойных скребковых конвейеров очистных механизированных комплексов.....	57
2.4 Отказы узлов и деталей забойных скребковых конвейеров	61

2.5 Выводы по главе 2.....	65
ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И КОНСТРУКЦИИ ЗАБОЙНОГО ЗАРУБНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА АДАПТИВНОГО К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ.....	
3.1 Структурообразование забойных скребковых конвейеров	67
3.2 Требования, предъявляемые к функциональным элементам забойных скребковых конвейеров, адаптивных к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям.....	70
3.3 Анализ перспективных конструкций забойных скребковых конвейеров адаптивных к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям.....	76
3.4 Обоснование рациональной структуры и конструкции забойного зарубного скребкового конвейера адаптивного к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям	83
3.4.1 Обоснование рациональной структуры забойного зарубного скребкового конвейера	83
3.4.2 Обоснование конструктивных решений при разработке забойного зарубного скребкового конвейера	86
3.5 Выводы по главе 3	94
ГЛАВА 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ МАССЫ И ПОДРУБКИ ПЛАСТА ПРИ РАБОТЕ ЗАБОЙНОГО ЗАРУБНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА.....	
4.1 Исходные данные	95
4.2 Расчет производительности и моделирование распределения угольной массы между скребками ЗЗСК.....	99
4.3 Моделирование процесса подрубки угольного пласта при работе ЗЗСК.....	105

4.3.1 Анализ параметров процесса резания угольного пласта резцами ЗЗСК.....	105
4.3.2 Определение сил резания, действующих на резцы ЗЗСК при разрушении угольного пласта	109
4.3.3 Результаты компьютерного моделирования процесса разрушения угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК	112
4.4 Тяговый расчет ЗЗСК.....	117
4.5 Расчет устойчивости движения одиночного скребка при работе ЗЗСК.....	122
4.6 Выводы по главе 4.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	134
Приложение А Патент «Забойный скребковый зарубной конвейер»	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Работа предприятий угольной отрасли характеризуется устойчивой тенденцией увеличения интенсивности добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях. Повышение нагрузки на очистные забои приводит к увеличению размеров участков, нарезаемых к выемке, и, следовательно, к увеличению диапазона изменчивости горно-геологических условий по мере их отработки, что, в свою очередь, определяет ухудшение условий функционирования выемочного и транспортирующего оборудования.

Обеспечение производительной добычи угля в комплексно-механизированных очистных забоях с высоким коэффициентом использования оборудования по времени может быть достигнуто разработкой и внедрением адаптивных очистных механизированных комплексов, следовательно, адаптивного к этим переменным условиям забойного скребкового конвейера который является остовом механизированного комплекса, обеспечивающим направленное перемещение добычной машины, секций механизированной крепи, зачистку почвы в забое и транспортирование добытой угольной массы. Обоснование рациональной структуры забойных скребковых конвейеров, направленное на расширение их функциональных возможностей и на повышение их адаптивности к изменяющимся по мере отработки выемочных столбов горно-геологическим и технологическим условиям, будет способствовать устойчивому функционированию очистных механизированных комплексов в номинальных режимах работы, что является актуальной научной задачей.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие высокопроизводительных забойных скребковых конвейеров и в повышение эффективности их использования внесли многие ученые, конструкторы и практики, в частности: В. И. Галкин, В. М. Горлов, В. Н. Григорьев, В. Ю. Доброногова, В. Е. Домбровский, Е. К. Ещин, Р. Л. Зенков, С. В. Корнеев, В. С. Олейник, В. И. Парамонов, В. Д. Перский, Ю. С. Пухов,

Н. Д. Самойлюк, А. О. Спиваковский, Ю. Ф. Тверезый, Ю. Д. Тарасов, Н. В. Тихонов, Л. Г. Шахмейстер и др.

Разработке перспективных конструкций и исследованию режимов работы приводов и тяговых органов скребковых конвейеров посвящены работы Я. Вэньчжэ, Г. В. Высоцкого, Л. Н. Колобова, А. В. Леусенко, М. С. Озорнина, Н. С. Полякова, Г. И. Солода, Н. В. Чекмасова, Е. Е. Шишко, И. Г. Штокмана, Б. Шерфа, Б. А. Эйдермана и др.

Однако, до настоящего времени не нашли решения вопросы, связанные с обоснованием структуры и параметров забойных скребковых конвейеров, повышающих адаптивность очистных механизированных комплексов к переменным условиям по мере отработки выемочных участков, для чего необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Объект исследования – процесс функционирования забойного скребкового конвейера очистного механизированного комплекса, адаптивного к переменным по мере отработки выемочного столба горно-геологическим и технологическим условиям.

Предмет исследования – забойный скребковый конвейер адаптивного очистного механизированного комплекса.

Цель исследования – определение зависимостей показателей эффективности очистного комплекса от параметров забойного скребкового конвейера, адаптивного к переменным по мере отработки выемочного столба горно-геологическим условиям, необходимых для обоснования его схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих поддержание на заданном уровне интенсивности добычи угля в изменяющихся условиях эксплуатации за счет улучшения направленности перемещения комплекса.

Идея исследования заключается в расширении функциональных возможностей забойного скребкового конвейера, а именно: выполнение подрубки пласта и профилирования почвы, отдельного транспортирования угля и породы, в результате чего, улучшается направленность перемещений

комплекса, обеспечивается регулирование интенсивности отжима пласта, что придает свойства адаптивности очистному механизированному комплексу в целом и повышает устойчивость его работы в рациональных режимах в переменных, по мере отработки выемочного столба, условиях функционирования.

Задачи исследования:

Для достижения цели исследования необходимо выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертационной работы.
2. Выявить диапазон изменчивости горно-геологических и технологических условий в комплексно-механизированных очистных забоях по мере отработки выемочных участков, влияющих на эффективность выполнения функций забойных скребковых конвейеров.
3. Обосновать требования к забойному скребковому конвейеру, как элементу адаптивного очистного механизированного комплекса.
4. Установить влияние структуры и параметров забойных скребковых конвейеров на эффективность функционирования очистных механизированных комплексов при работе в изменяющихся по мере отработки выемочных участков горно-геологических и технологических условиях.
5. Выполнить математическое моделирование процессов транспортирования горной массы и подрубки пласта забойным зарубным скребковым конвейером очистного механизированного комплекса.
6. Обосновать схемные и конструктивные решения забойного скребкового конвейера, обеспечивающего профилирование почвы пласта, как опорной и направляющей поверхности.
7. Обосновать рациональные параметры забойного зарубного конвейера очистного механизированного комплекса, адаптивного к изменяющимся по мере отработки выемочного участка условиям.

Научная новизна работы

1. Обоснована структура и конструктивное техническое решение забойного зарубного скребкового конвейера с расширенными функциональными возможностями, адаптивного к изменяющимся по мере отработки выемочного столба условиям.

2. Разработана математическая модель и получены зависимости изменения производительности забойного зарубного скребкового конвейера от угла положения почвы обрабатываемого угольного пласта по простирацию, скорости перемещения тягового органа и шага расстановки скребков.

3. Установлены зависимости отклоняющего и восстанавливающего моментов, действующих на скребок, от угла установки его резца относительно почвы.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Обоснована схемное техническое решение зарубного скребкового конвейера с расширенными функциональными возможностями, адаптивного к изменяющимся, по мере отработки выемочного столба, условиям.

2. Определена зависимость изменения угла естественного откоса транспортируемой угольной массы от скорости движения цепи забойного зарубного конвейера.

3. Определена зависимость производительности забойного зарубного скребкового конвейера от угла залегания угольного пласта, скорости перемещения цепи и шага расстановки скребков с учетом угла естественного откоса транспортируемой угольной массы.

4. Обоснованы параметры режима работы забойного зарубного скребкового конвейера очистного механизированного комплекса, адаптивного к переменным по мере отработки выемочного столба условиям.

5. Определено влияние нагрузок, действующих на резец забойного зарубного скребкового конвейера в процессе профилирования почвы и подрубки пласта, на устойчивость движения одиночного скребка.

Методология и методы исследования

Научный анализ результатов ранее выполненных исследований процесса функционирования очистных механизированных комплексов для добычи угля в изменяющихся горно-геологических и технологических условиях; синтез структуры и обоснование параметров забойного зарубного скребкового конвейера; математическое и компьютерное моделирование процессов подрубки пласта и транспортирования горной массы при работе забойного зарубного скребкового конвейера.

Соответствие паспорту специальности

Тема исследования соответствует п. 3 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования и их элементов» и п. 4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горнотехническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

Положения, выносимые на защиту

1. Устойчивость функционирования очистного механизированного комплекса и его базового элемента забойного скребкового конвейера в процессе добычи угля необходимо оценивать комплексным показателем устойчивости, который определяется произведением коэффициента устойчивости по скорости подачи (K_{yv}) на коэффициент устойчивости по времени (K_{yt}) и на относительное увеличение времени остановок (K_{yo}), а для забойного скребкового конвейера комплекса – произведением коэффициентов готовности забойного скребкового конвейера (k_r) и смежного оборудования очистного механизированного комплекса (k'_r) на коэффициенты использования конвейера по производительности ($k_{и}$) и по времени ($k_{в}$).

2. Разработанные структура и схемные конструктивные технические решения адаптивного забойного зарубного скребкового конвейера обеспечивают повышение устойчивости функционирования очистного механизированного

комплекса в номинальных режимах в переменных, по мере отработки выемочного столба, горно-геологических и технологических условиях посредством выполнения подрубки и профилирования почвы пласта, отдельного транспортирования угля и породы, в результате чего улучшается направленность перемещений комплекса, осуществляется регулирование интенсивности отжима пласта и повышается качество добываемого угля по гранулометрическому составу.

3. С увеличением скорости движения тягового органа забойного зарубного скребкового конвейера от 1 до 2 м/с угол естественного откоса угольной массы, в пространстве между скребками, уменьшается по установленной полиномиальной зависимости, что уменьшает значение коэффициента использования конвейера по производительности.

Степень достоверности результатов работы

Научные положения, выводы и рекомендации, разработанные в диссертации, соответствуют основным представлениям в области конструирования и эксплуатации горных транспортирующих машин. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием апробированных методик расчета силовых и энергетических параметров работы скребковых конвейеров и режущих цепных исполнительных органов горных машин, использованием компьютерного моделирования процессов транспортирования угольной массы и подрубки пласта резцами забойного зарубного скребкового конвейера.

Апробация результатов работы

Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на: Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2016, 2019 гг.); Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и

экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2016 г.); Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017-2018» (г. Санкт-Петербург, 2017, 2018 гг.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели, в формулировании задач и в разработке методик исследования, проведении анализа основных теоретических представлений о процессе функционирования забойного зарубного скребкового конвейера в составе очистного механизированного комплекса при добыче угля; в обосновании схемных решений и рациональных параметров забойного зарубного скребкового конвейера, адаптивного к сложным горно-геологическим и технологическим условиям функционирования; выполнении математического моделирования процессов транспортирования горной массы, профилирования почвы и подрубки пласта забойным зарубным скребковым конвейером.

Публикации по работе

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 8 печатных работах, в том числе в 2-х статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК); 1 статья – в журнале, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения общим объемом 148 страниц печатного текста, содержит 9 таблиц, 50 рисунков, список литературы из 115 наименований и 1 приложение.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ

1.1 Анализ угольных пластов как объектов разрушения

Современные требования к организации очистных работ в угольных шахтах предусматривают увеличение производительности выемочных комплексов, повышение устойчивости их функционирования в реальных условиях эксплуатации, применение совершенных породоразрушающих исполнительных органов и транспортирующего оборудования. Эксплуатация очистных механизированных комплексов (ОМК) в сложных горно-геологических условиях обуславливает необходимость осуществления выемки нарушенных участков угольных пластов, в том числе в случае присечки боковых пород и при замещении угля породой. Следует также упомянуть о требованиях обеспечения безопасной, по возможности, безлюдной выемки угля, всесторонней автоматизации процесса добычи и т.д.

Указанные требования направлены, в первую очередь, на эффективное функционирование ОМК, под которым понимают сочетание разрушения угольного пласта с выгрузкой горной массы из призабойной зоны [6, 81, 92]. Рассмотрим основные характеристики угольных пластов, влияющие на технологические и технические показатели процесса механизированной добычи угля.

Основной объект любого угольного месторождения – угольный пласт. Это комплекс осадочных пород органического происхождения, распространенных на значительной площади и заключенных между приблизительно параллельными поверхностями, называемыми кровлей и почвой пласта [7].

В общем случае, угольные пласты представляют собой сложные структуры, в которых угольные пачки перемежаются с породными прослойками (глины, аргиллиты, алевролиты) и твердыми включениями.

Основные показатели, характеризующие пласты, пачки и породные прослои – их мощность, углы наклона, состав и строение, физические, технологические и качественные свойства, которые обычно изменяются по площади пласта.

Геологическое строение и условия технологической добычи полезного ископаемого определяют деление угленосной толщи (месторождения) на два объекта: угольная залежь и вмещающие породы (рисунок 1.1). Угольная залежь может состоять из нескольких пластов, в каждом из которых могут выделяться морфологически обособленные участки: рабочая часть пласта и нерабочая часть. В рабочей части пласта выделяют балансовую часть и внутреннюю вскрышу, которая, в свою очередь, может быть представлена как пустой породой, так и попутными полезными ископаемыми.

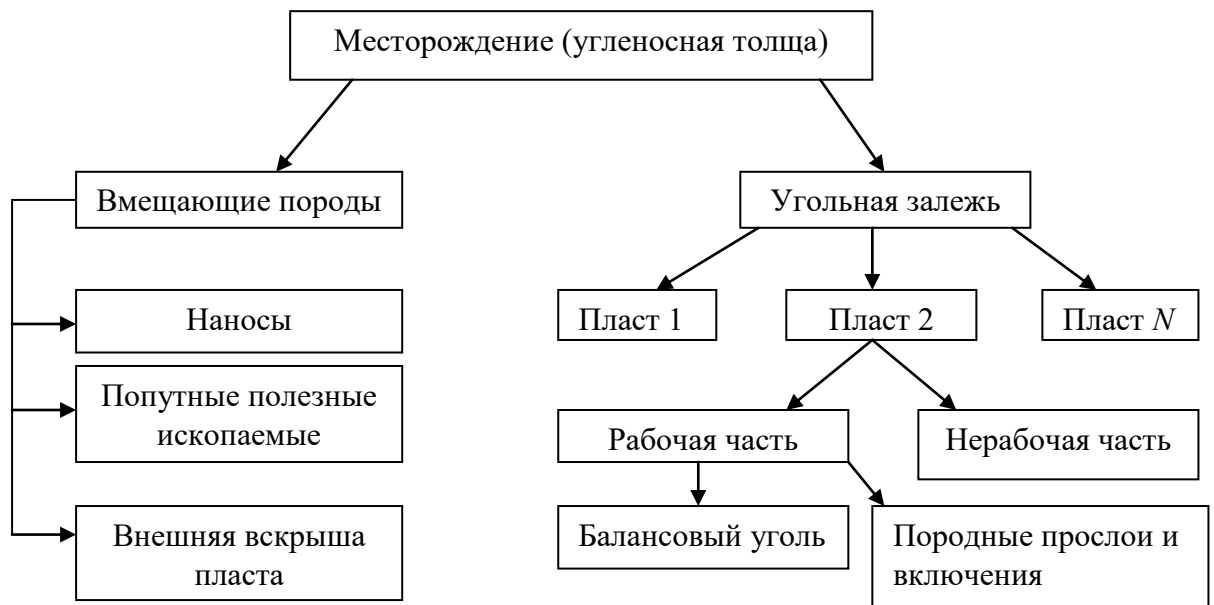


Рисунок 1.1 – Классификация объектов угольного месторождения

Сопrotивляемость углей разрушению определяется генезисом пород и технологическими параметрами разработки пластов. Изменение технологических параметров в процессе добычи угля позволяет влиять на интенсивность нарушения сплошности угольного массива, как последствий отжима, что обуславливает существенное различие сопротивляемости

разрушению массива от сопротивляемости разрушению образцов отдельных компонентов и значительную изменчивость в пространстве характеристик разрушаемости пласта. Наличие отжима является благоприятным фактором, существенно влияющим на работу породоразрушающих органов выемочных машин [6, 81].

Способность углей и угольных пластов противостоять механическим воздействиям при разрушении резцовыми инструментами горных комбайнов называется сопротивляемостью резанию A_p . Методика определения данного показателя подробно изложена в работах [6, 81].

Под сопротивляемостью резанию (A_p) углей и горных пород понимают приращение силы резания на единицу толщины стружки при резании в эталонном режиме. В соответствии с формулой (1.1)

$$A_p = P_z/h, \quad (1.1)$$

где A_p – сопротивляемость резанию, Н/мм;

P_z – сила резания на эталонном резце, Н;

h – толщина стружки, мм.

Сопротивляемость резанию A_p , определенная в зоне массива, где отсутствует отжим, является наиболее стабильной, вследствие чего используется в качестве основного классификационного признака сопротивления разрушению углей и горных пород. В призабойной части массива сопротивляемость резанию снижается вследствие проявления отжима угля и определяется выражением (1.2)

$$A_{Bз} = k_{от} A_p, \quad (1.2)$$

где $A_{Bз}$ – сопротивляемость угля резанию в зоне отжима, Н/мм;

$k_{от}$ – коэффициент отжима, учитывающий снижение сопротивляемости резанию при данной ширине захвата по сравнению с сопротивляемостью резанию неотжатого массива.

Ширина зоны отжима, как правило, составляет 0,4...0,6 мощности пласта.

Эффективность разрушения угля резцами горных машин оценивается величиной удельных энергозатрат процесса резания по формуле (1.3)

$$H_w = 0,00272 P_z L_p \gamma_k / G, \quad (1.3)$$

где H_w – удельные энергозатраты процесса разрушения угля резанием, кВт·ч/т;

L_p – длина реза, м;

γ_k – плотность угля в массиве, кг/м³;

G – вес продуктов разрушения, Н [6, 81].

Сила резания P_z и удельные энергозатраты H_w процесса разрушения угля существенно зависят от параметров резания. На рисунке 1.2 показан характер изменения силы резания P_z и удельных энергозатрат H_w от толщины стружки h для блокированного реза (*а*), реза с выровненной поверхности (*б*), и последовательного реза (*в*). Анализ приведенных графиков показывает, что в режиме блокированного резания угля значение силы резания P_z с увеличением толщины стружки h нарастает наиболее интенсивно. Удельные энергозатраты процесса разрушения H_w снижаются по гиперболическому закону при увеличении толщины стружки h [102].

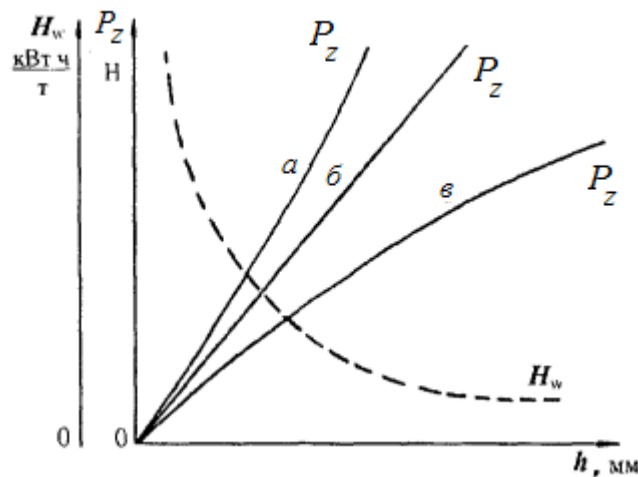


Рисунок 1.2 – Изменение сил резания (P_z) и удельных энергозатрат (H_w) процесса разрушения угля в зависимости от параметров резания

Мерой степени хрупкости (вязкости) разрушаемого угля, от значения которой зависит и величина удельных энергозатрат процесса резания H_w ,

является угол бокового развала реза ψ_p с выровненной поверхности, тангенс которого при заданной толщине стружки h , определяется выражением (1.4)

$$\operatorname{tg} \psi_p = (G(L_p \gamma_k h)^{-1} - b_p) / h, \quad (1.4)$$

где b_p – ширина режущей кромки эталонного резца, $b_p = 20$ мм.

В работе [81] предложен показатель степени хрупкости угля E , по которому осуществляется классификация шахтопластов по хрупкости (1.5)

$$E = h^{0,5} \operatorname{tg} \psi_p. \quad (1.5)$$

В случае, если значение $E < 2,1$, уголь классифицируют как вязкий; при значениях $2,1 \leq E \leq 3,5$ уголь является хрупким; при $E > 3,5$ – весьма хрупким.

Зависимость удельных энергозатрат процесса разрушения угля резанием от степени его хрупкости определяется выражением (1.6)

$$H_w = A_p / (b_p + E h^{0,5}). \quad (1.6)$$

Абразивность угольных пластов и угольной массы определяет способность изнашивать контактирующие материалы. За показатель абразивности ρ_a (мг/км) принимается массовый износ эталонного образца, отнесенный к пути трения. Оценка абразивности угольных пластов осложнена тем, что они являются многокомпонентным телом, составляющие которого могут на порядки отличаться друг от друга по изнашивающей способности (таблица 1.1) [6, 81].

Величина абразивности влияет, в первую очередь, на средний срок службы и удельный расход породоразрушающего инструмента очистных комбайнов. Перемещение горной массы по решеткам забойных скребковых конвейеров (ЗСК) при транспортировании обуславливает интенсивный износ последних, что также отражается на надежности ОМК в целом.

В зависимости от требований к качеству угля (зольность, гранулометрический состав, наличие пустой породы и т.д.) при отработке сложноструктурных пластов применяют валовый или селективный способ выемки. При валовом способе весь пласт обрабатывается как однородный массив, при селективном предусматривается отдельная отработка угольных и породных кондиционных комплексов [6, 51, 105].

Таблица 1.1 – Абразивность компонентов угольных пластов [103]

Наименование компонента пласта	Характеристика компонента пласта	Среднее значение абразивности, ρ_a , мг/км
Уголь	Чистый слабоминерализованный	30
	Минерализованный	70
	С малым содержанием включений пирита	100
	С высоким содержанием пирита	150
Прослойки	Аргиллит углистый	50
	Аргиллит	150
	Аргиллит пиритизированный	250
	Алеврит	490
	Алеврит-песчаник	2500
	Песчаник	5800
Включения	Карбонатные	220
	Карбонатно-пиритные	1100
	Пиритные	3100
	Кремнистые	24300

Масса угля, выдаваемого при валовой выемке, представляет собой механическую смесь кусков угля, породы и их сростков, качество которого не всегда согласуется с требованиями потребителей. Организация селективной выемки качественно разнородных объектов позволит поставлять уголь требуемого качества. Для этого необходимо всестороннее геологическое и горно-геометрическое изучение пластов, подсечение и оконтуривание геологических тел, могущих стать объектами самостоятельной эксплуатации и способных выдавать продукцию постоянного качества.

1.2 Свойства угольной массы, транспортируемой в очистных забоях

Одним из основных критериев правильного выбора типа, структуры и параметров средств транспортирования угольной массы в пределах

очистного забоя является соответствие параметров машины свойствам перемещаемой среды.

Насыпная угольная масса отличается широким разнообразием свойств, влияющих на эффективность транспортирования: кусковатость, плотность, угол естественного откоса, влажность, абразивность, слеживаемость, склонность к измельчению и т.п.

Кусковатость, или гранулометрический состав, характеризуется количественным (в % от массы) соотношением кусков различной крупности в угольной массе.

Для породы, угля и большинства других насыпных грузов, исключая руду, принята следующая градация: пылевидные – менее 0,05 мм; порошкообразные – 0,05...0,5 мм; зернистые – 0,5...10 мм; мелкокусковые – 10...60 мм; среднекусковые – 60...160 мм; крупнокусковые – 160...320 мм; особо крупнокусковые – более 320 мм [19, 37].

Кусковатость транспортируемого груза определяет вид транспорта, размеры грузонесущих органов и габариты транспортных машин.

Насыпная плотность – плотность угольной массы в разрыхленном состоянии. Отношение плотности угля в массиве к его насыпной плотности определяет коэффициент разрыхления (1.7)

$$K_p = \gamma_k / \gamma_p, \quad (1.7)$$

где K_p – коэффициент разрыхления;

γ_p – насыпная плотность угля, кг/м³.

Для мягких горных пород и углей $K_p = 1,2...1,3$; для крепких горных пород $K_p = 1,4...1,8$.

Насыпную плотность угольной массы γ_p и коэффициент разрыхления K_p учитывают при выполнении тяговых расчетов и определении производительности конвейерного транспорта.

Углом естественного откоса насыпного груза называют угол, образуемый свободной боковой поверхностью сыпучей массы с горизонтальной плоскостью, на которой он покоится.

При движении транспортной машины или её тягового органа на насыпной груз действуют колебания и толчки, увеличивающие подвижность кусков угля. Поэтому различают угол естественного откоса в покое ($\rho_{п}$) и в движении ($\rho_{д}$). Связь между ними определяется выражением (1.8)

$$\rho_{д} = (0,3 \dots 0,7) \rho_{п}. \quad (1.8)$$

Тангенс угла естественного откоса $\operatorname{tg} \rho_{п}$ называют коэффициентом внутреннего трения угольной массы.

Таблица 1.2. – Основные характеристики транспортируемых пород и углей

Груз	Насыпная плотность, γ_p , т/м ³	Коэффициент разрыхления, K_p	Угол естественного откоса груза в покое, $\rho_{п}$, град.	Коэффициент крепости, f
Антрацит мелкокусковой, сухой	0,80...0,95	1,4	45	2,3
Уголь каменный	0,80...0,95	1,4	30...45	2,0
Уголь бурый	0,85...1,0	1,3	27...30	2,5
Кокс среднекусковой	0,48...0,53	1,3	35...50	1,5
Сланцы известковые и песчаные	1,9...2,0	1,6	40...45	4,8
Скальные породы	1,8...2,0	1,6	40...45	7,0...15

Крепость транспортируемых кусков угля и горных пород определяется коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протоdjяконова (1.9)

$$f = 10^{-7} \sigma_{сж}, \quad (1.9)$$

где f – коэффициент крепости угля;

$\sigma_{сж}$ – предел прочности угля на сжатие, Па.

Между крепостью углей f и плотностью γ_k , как правило, существует зависимость: чем больше крепость, тем больше и плотность. Некоторые

характеристики углей, как объектов транспортирования, представлены в таблице 1.2 [19, 44].

Обеспечение требуемого качества добываемых углей при селективной выемке предусматривает необходимость отдельного транспортирования угля и горной породы с целью недопущения их последующего смешивания, что в условиях очистного забоя является сложной технической задачей.

1.3 Оборудование для добычи угля в длинных очистных забоях

1.3.1 Машины для добычи угля и этапы их развития

Каждый этап развития техники для механизации процесса очистной выемки угля характеризуется способом отделения угля от массива и транспортирования горной массы в пределах забоя.

Традиционно выделяют следующие основные этапы развития средств механизации подземной добычи угля:

- использование буровзрывного способа отделения угля от массива с опережающим по времени оформлением вруба;
- применение широкозахватных комбайнов;
- комплексно-механизованная добыча с узкозахватными комбайнами, стругами или конвейеростругами.

Врубовые машины впервые начали применяться в Англии во второй половине XIX века. Дисковые, штанговые и ударные врубовые машины были вытеснены машинами с цепными режущими барами к 30-м годам XX века (рисунок 1.3, *a*). Буровзрывной способ отделения угля от массива с обрушением на врубовую щель обеспечивал высокое качество угля по гранулометрическому составу. При погрузке горной массы на конвейер производилась выборка породы, что уменьшало зольность угля, а расположение в забое отбойных шпуров согласовывалось со структурой пласта и трещиноватостью угольного массива, что обуславливало повышение эффективности процесса разрушения [15, 18].

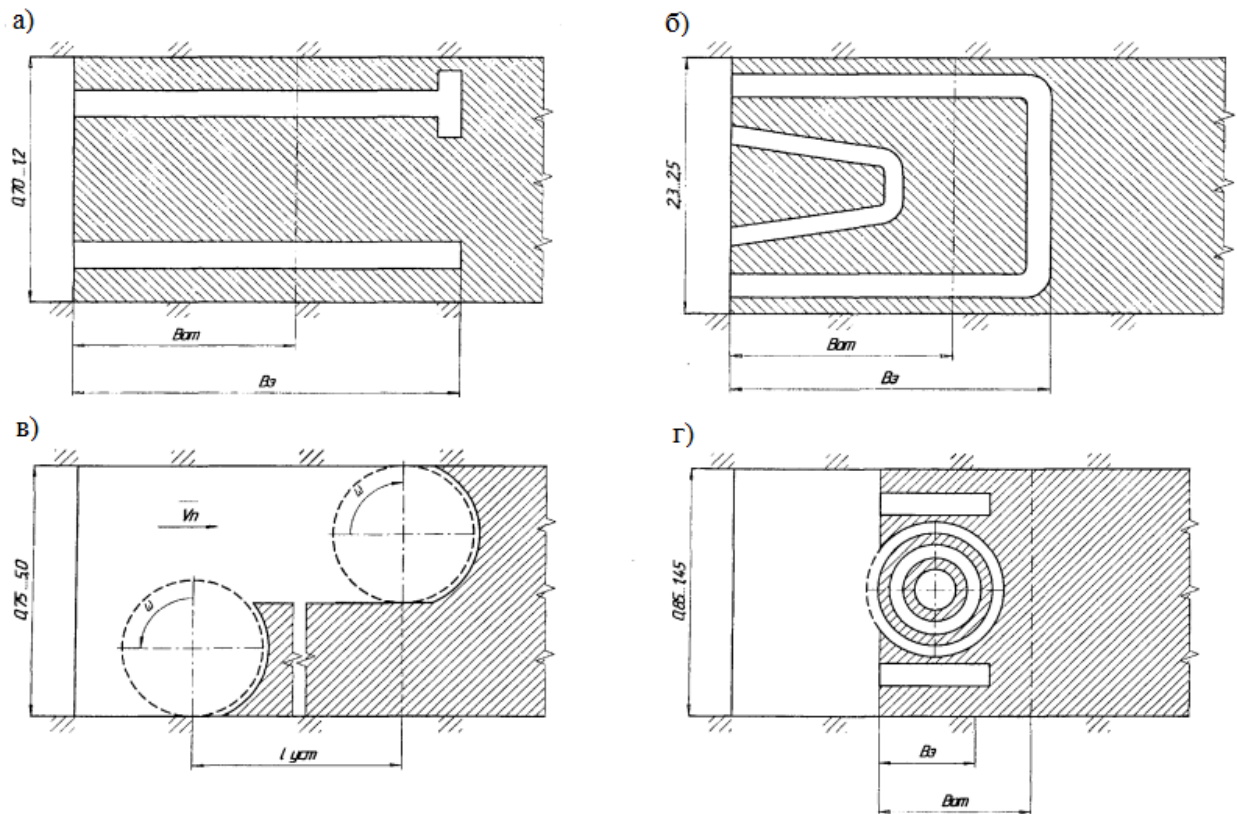


Рисунок 1.3 – Способы отделения угля от массива выемочными машинами:

- а* – отделение угля от массива с опережающим по времени оформлением вруба; *б* – контурное отделение блоков при работе широкозахватного комбайна; *в* – сплошная отработка забоя узкозахватным комбайном; *г* – разрушение пласта комбайном бурового типа с режуще-скалывающим исполнительным органом

В 1935 г. инженером А. К. Сердюком разработана и опробована врубовая машина с изгибающимся вверх баром, при помощи которого не только реализовывался нижний вруб, но и осуществлялось отделение подрезанного угля от целика. Прогрессивным решением явилось создание врубово-навалочных машин, в которых конструкция режущих баров предусматривала замену некоторых резцов погрузочными лопастями. Данное техническое решение обеспечило механизацию процесса погрузки угля на забойный конвейер [18, 35].

К недостаткам описанной технологии очистной выемки угля относились высокие удельные энергозатраты разрушения и переизмельчение угля в процессе образования врубовой щели. Формирование изогнутых щелей приводило зачастую к защемлению баров при осадке блоков. Технологическая устойчивость процесса очистной выемки оставалась на низком уровне [15].

Отказ от буровзрывного способа разрушения и переход на полностью механический способ разрушения угольных пластов пытались осуществить посредством увеличения количества режущих баров и реализуемых врубовых щелей (двухщелевой, трехщелевой способ разрушения, использование сложных, пересекающихся щелей). При этом усложнялись кинематические схемы приводов и конструкции исполнительных органов врубовых машин, снижалась их надежность. Однако, требуемого качества и стабильности процесса очистной выемки угля не удалось достичь даже при использовании шестибарового исполнительного органа [18].

Внедрение широкозахватных комбайнов на угольных шахтах СССР началось в 1948 г. с опытного комбайна «Донбасс», изготовленного Горловским машиностроительным заводом по проекту инженеров Гипроуглемаша М. Ф. Горшкова и А. Д. Сукача. Комбайн обеспечивал контурное отделение блоков угля от забоя кольцевой щелью и разрушение блоков на куски транспортабельного размера (рисунок 1.3, б). При этом способ разрушения оставался тем же: фрезерование с малыми толщинами среза. Указанное обуславливало значительные удельные затраты процесса разрушения угольного пласта (до $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$) и переизмельчение угля в щелях. Качество добываемого угля по гранулометрическому составу и зольности (вследствие невозможности выборки породы в процессе погрузки) снизилось.

Использование узкозахватных комбайнов с барабанными и шнековыми исполнительными органами на угольных шахтах началось во второй половине 50-х годов XX века. Данные добычные машины характеризуются

более простой и надежной конструкцией по сравнению с широкозахватными комбайнами; осуществляют разрушение угольных пластов резами серповидной формы (рисунок 1.3, в). Шнековые исполнительные органы реализуют погрузку отбитого угля на забойный конвейер [15, 16, 34].

Применение узкозахватных комбайнов позволило повысить интенсивность очистной выемки угля, существенно уменьшить выход негабаритов, обеспечить стабильность процесса добычи. При этом интенсивность фрезерования разрушаемого массива (а, следовательно, и интенсивность измельчения угля) возросла, увеличились удельные энергозатраты процесса разрушения массива. Практически невозможной стала реализация селективной выемки угля и избирательной отработки забоя.

Попытки внедрения добычных комбайнов с роторными исполнительными органами, осуществляющих разрушение массива крупными сколами, не привели к положительным результатам (рисунок 1.3, г). Значительная динамика нагрузок на породоразрушающие инструменты и приводы исполнительных органов обусловила низкую надежность буровых очистных комбайнов. Следует, однако, отметить, что при работе данных комбайнов выход угольного штыба снизился до 12...15 % по сравнению с 30...60 % у шнековых комбайнов. Удельный расход энергии снизился до 0,2 кВт·ч/т добытого угля [15, 35].

Внедрение угольных стругов на шахтах СССР было начато во второй половине 40-х годов XX века. Опытные образцы стругов разработаны Луганским конструкторским бюро ГИПРОУГЛЕМАШа. Преимуществом струговых установок являются малые удельные затраты энергии на разрушение угольного массива по сравнению с узкозахватными комбайнами, что обуславливается ведением выемки угля в зоне отжима пласта при постоянной толщине стружки h и шаге резания t . Отсутствие переизмельчения угля в процессе отделения от пласта благоприятно влияет на его гранулометрический состав. Отличительной особенностью современных струговых установок является практическое отсутствие отжима

скребкового конвейера от забоя во время движения струга, хорошие условия погрузки и зачистки почвы пласта.

Вместе с тем, струговые установки сложны в управлении, затруднено их использование на пластах с изменяющейся гипсометрией и наличием геологических нарушений. Указанные недостатки определяют малое распространение струговой выемки – 5...7 % от общего числа очистных забоев [18, 34, 46].

Одним из способов устранения недостатков узкозахватной и струговой выемки угля является использование перспективных фронтальных выемочных комплексов.

Фронтальные выемочные комплексы, как и обычные ОМК, включают в свой состав механизированную крепь, забойный конвейер и выемочную машину. Выемочной машиной в рассматриваемых комплексах являются унифицированные фронтальные модули, каждый из которых состоит из базы, выемочного механизма и механизма позиционирования [17, 98].

Вариант компоновки фронтальных очистных комплексов разработан специалистами СПГГИ(ТУ) совместно с сотрудниками института «ПечорНИИПроект» (рисунок 1.4).

Конструкция перспективного фронтального выемочного комплекса включает в себя скребковый конвейер 1 с режуще-транспортирующей цепью 2, секции механизированной крепи 3, каждая из которых состоит из основания 4, перекрытия 5 и гидростоек 6 и связана с конвейером 1 посредством гидродомкрата перемещения 7.

Каждый унифицированный фронтальный модуль 8 выполнен в виде многозвенного рычажного механизма, состоит из двух рукоятей 9, на забойных концах которых закреплены резцовые коронки 10.

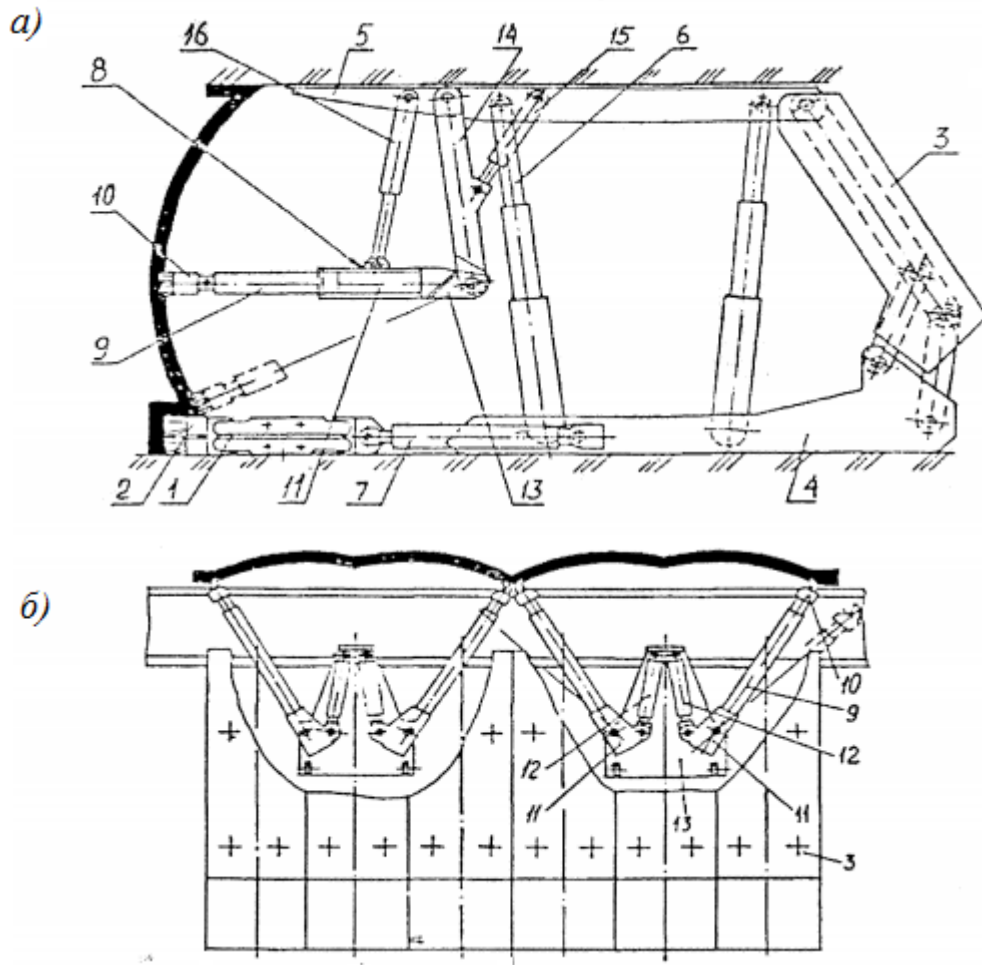


Рисунок 1.4 – Компоновка фронтального выемочного комплекса:

a – принципиальная схема; *б* – вид в плане

Отделение угля от массива осуществляется резовыми коронками *10* исполнительных органов *9* при горизонтальном движении навстречу друг другу за счет работы приводных гидродомкратов *12*. Холостой ход исполнительных органов *9* реализуется при разведении их в противоположные стороны. Подъем и опускание исполнительных органов *9* осуществляется гидродомкратами *15* и *16*.

Угольный пласт разрушается от почвы к кровле статико-динамическими резами, направленными по напластованию. При этом возможна реализация селективной отработки забоя при постоянной толщине стружки *h* и рациональных значениях шага резания *t*. Такая конструкция выемочного комплекса и технология отработки забоя обеспечивают, по

мнению авторов, минимальные энергозатраты разрушения, хорошую сортность добываемого угля при высокой производительности выемочного комплекса в целом [35, 36].

В то же время, авторами работ по обоснованию параметров и конструкции перспективных средств добычи угля не рассматриваются вопросы модернизации и повышения эффективности работы одного из базовых элементов ОМК – скребкового забойного конвейера. Не достаточное внимание уделяется разработке технических решений по отдельному транспортированию угля и горной породы при реализации селективной выемки. Слабо изучены вопросы работы ЗСК при прохождении зон геологических нарушений угольных пластов.

Указанное обуславливает необходимость анализа особенностей работы забойных конвейеров ОМК в сложных геологических и горнотехнических условиях отработки угольных пластов.

1.3.2 Машины для транспортирования угля в очистных забоях

Первые попытки использования скребковых конвейеров на угольных шахтах СССР относятся к середине 30-х годов XX века. С начала 50-х годов XX века скребковые конвейеры являются основным видом забойного транспорта угля.

ЗСК применяются в длинных очистных забоях при разработке угольных пластов с углами падения до 35°. При больших углах наклона производительность конвейера резко уменьшается вследствие пересыпания горной массы через скребки. Самотечный способ транспортировки угля возможно применять при углах падения пласта от 18° (эмалированные желоба или рештаки).

Шахтные скребковые конвейеры классифицируют по следующим признакам [19, 37]:

– по назначению: доставочные (выполняющие только функции транспортирования угольной массы) и агрегатные (входят в состав

механизированных комплексов и, помимо транспортирования, выполняют функции опорной направляющей для добычной машины);

- по числу тяговых цепей: одно-, двух- и трехцепные;
- по взаимному расположению рабочей и порожней ветвей цепей: одна над другой в вертикальной плоскости или обе – в горизонтальной;
- по способу перемещения: передвижные и переносные разборные.

К основным параметрам ЗСК относятся: ширина и высота рештачного става, скорость движения цепи, длина конвейера, число и мощность приводов [19, 37, 44, 95, 104].

Современные ЗСК характеризуются производительностью до 5 тыс. тонн/ч, длиной става – до 500 м. В качестве тягового органа наиболее часто используются круглозвенные цепи, реже – штампованные. На зарубежных конвейерах применяются также и пластинчатые цепи. Скребки выполняют штампованными или кованными. Их крепят на цепях с шагом 650...1100 мм с помощью соединительных звеньев.

На отечественных предприятиях угольной отрасли наиболее широко используют четыре типа скребковых конвейеров:

- передвижные двухцепные типа «Анжера» и СП (рисунок 1.5);
- переносные разборные двухцепные типа СР;
- переносные одноцепные типа С;
- переносные одноцепные типа СК с консольными скребками и двумя ветвями, расположенными в одной горизонтальной плоскости.

Передвижные скребковые конвейеры оснащаются в основном двухцепными тяговыми органами, с расположением цепей в направляющих боковых рештаков или с центральным расположением цепей (рисунок 1.6).

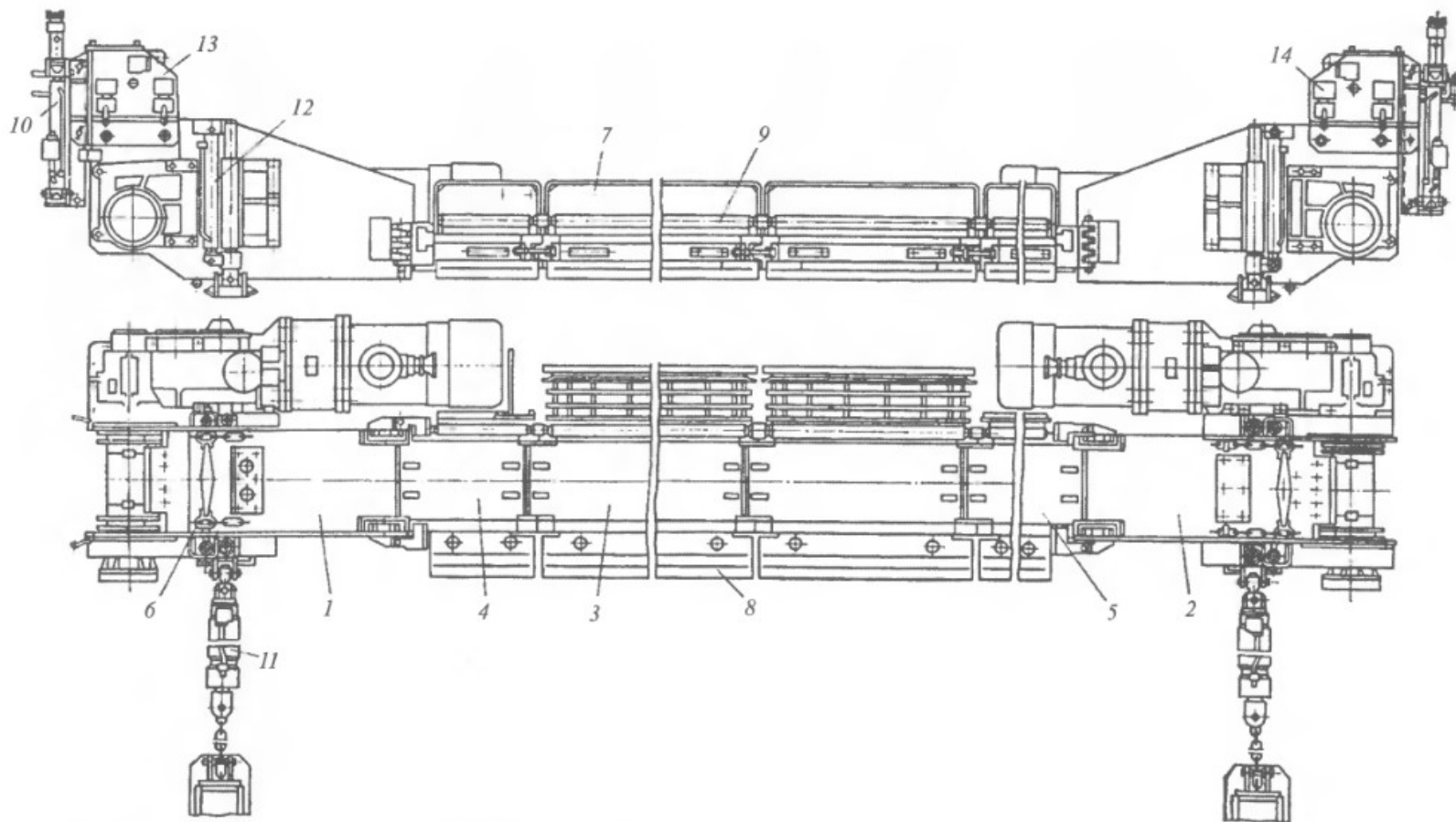


Рисунок 1.5 – Передвижной скребковый конвейер СП-301: 1 – головной привод; 2 – хвостовой привод; 3 – линейный рештак; 4, 5 – головная и хвостовая переходные секции, соответственно; 6 – тяговая цепь; 7 – борт рештаков; 8 – лемех; 9 – направляющая для комбайна; 10 – распорное устройство; 11 – механизм передвижки привода; 12 – механизм подъема привода; 13, 14 – кронштейны для крепления тяговой цепи комбайна и обводного устройства предохранительной лебёдки

Профили рештачных секций переносных разборных конвейеров и схемы размещения в них скребковых цепей приведены на рисунке 1.7.

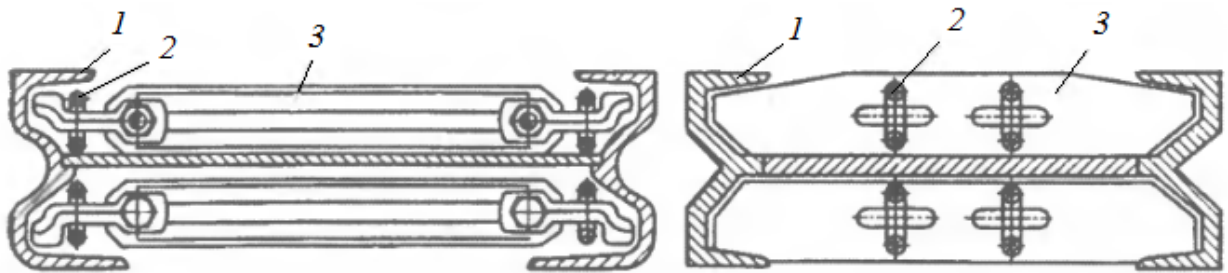


Рисунок 1.6 – Расположение тяговых цепей у скребковых передвижных конвейеров: *а* – с расположением цепей в направляющих боковин рештаков (тип СП); *б* – с центрально расположенными цепями (тип СПЦ);

1 – рештачный став; *2* – тяговая цепь; *3* – скребок

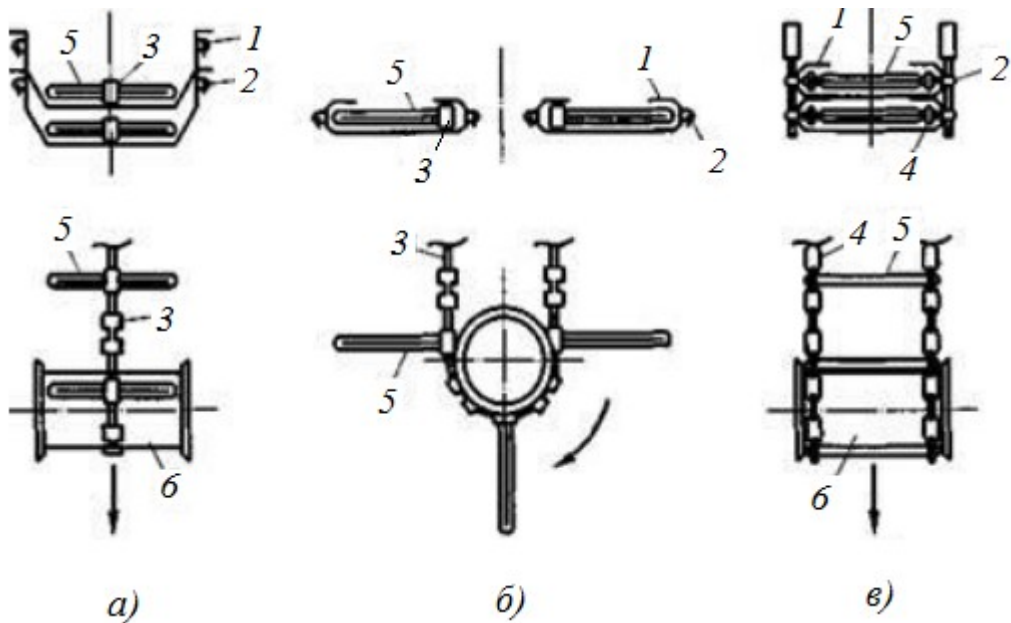


Рисунок 1.7 – Схемы профилей рештачных секций переносных разборных скребковых конвейеров и расположение в них цепей: *а* – одноцепной конвейер с центральным расположением ветвей цепи в вертикальной плоскости; *б* – одноцепной с консольными скребками с параллельным расположением ветвей цепи в одной плоскости; *в* – двухцепной с расположением ветвей цепи в направляющей боковин рештаков; *1* – направляющая боковины рештака; *2* – проушина замкового соединения; *3, 4* – тяговые цепи; *5* – скребок; *б* – рештак

Отметим, что параллельное расположение ветвей тяговой цепи (см. рисунок 1.7, б) обеспечивает возможность организации транспортирования груза в двух встречных направлениях, что может быть использовано при организации селективной разработки угольного пласта для отдельного перемещения угля и пустой породы. При этом необходимо разработать способы разобщения встречных потоков горной массы. Существенным недостатком консольного способа крепления скребков является неравномерность нагрузки на скребки и, как следствие, неустойчивость их положения.

Основой конструкции передвижных скребковых конвейеров типа СП является прочный рештачный став, собираемый из секций – рештаков (рисунок 1.8). Рештак представляет собой единую сварную конструкцию, состоящую из двух литых боковин (завальной и забойной), соединенных между собой днищем толщиной 30...40 мм. Как правило, в днище каждого пятого рештака выполнены люки, обеспечивающие доступ к цепи холостой ветви для устранения обрывов и самопроизвольных разъединений. Соединение рештаков между собой осуществляется посредством замков, допускающих изгиб конвейерного става в горизонтальной (на $2...3^\circ$) и вертикальной плоскостях (на $3...5^\circ$). Вдоль рештачного става по специальным направляющим перемещается комбайн или струг [19, 52].

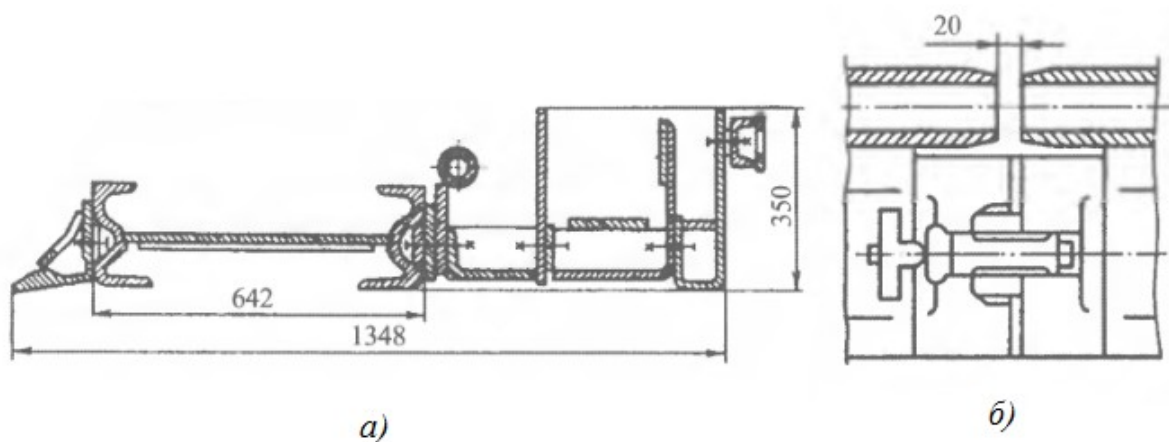


Рисунок 1.8 – Рештачный став конвейера СП-202М:

a – сечение; *б* – замковое соединение

Зачистку почвы лавы выполняет лемех, который крепится с забойной стороны решетки конвейера. В настоящее время существуют различные конструкции лемехов, имеющих, однако, общий недостаток: вследствие образования ядра уплотненной угольной массы перед лемехом, его неподвижка до забоя может превышать 200 мм, что обуславливает «всплывание» конвейера на штыбе, который не был защищен лемехом. Одним из путей устранения данного недостатка, осложняющего управление движением и маневрированием ОМК, является использование кольцевых режущих цепей устанавливаемых вместо зачистных лемехов (см. рисунок 1.4, а, поз. 2). Кроме того, подрубка пласта кольцевой режущей цепью, обусловит снижение удельных энергозатрат процесса разрушения угля исполнительными органами очистных комбайнов за счет интенсификации отжима.

Конструктивное расположение приводов ЗСК может быть с односторонним или двусторонним расположением приводных блоков, наклонным или плосковерхим. В основном используются плосковерхие приводные блоки, так как указанная компоновка конвейера позволяет выезжать добычному комбайну на сопрягаемые с лавой выработки и осуществлять самозарубку без использования концевых камер. Приводные блоки оснащают односкоростными электродвигателями с гидродинамическими муфтами или двухскоростными электродвигателями с эластичными муфтами [19, 37, 95].

Приводные блоки передают момент на звёздочки, установленные на тихоходном валу редуктора, которые в свою очередь передают тяговое усилие на цепь конвейера. Вследствие циклически изменяющегося мгновенного радиуса навивки цепи на приводную звездочку общей чертой скребковых конвейеров является неравномерное движение тяговой цепи. Ввиду возможности возникновения значительных динамических нагрузок, скорость движения цепи в ЗСК обычно не превышает 1,6 м/с. Основные

характеристики современных ЗСК и условия их функционирования на примере шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс» приведены в таблице 1.3 [43].

Таблица 1.3 – Характеристики и условия функционирования ЗСК в шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Шахта	Лава	Мощность пласта, м	Длина лавы, м	Конвейер (перегрузатель)	Мощность привода конвейера, кВт	Калибр цепи	Скорость скребковой цепи
Шахта Польшаевская	1749 пл. Бреевский	1,5...2,0	210	FFC-9 GLINIK (FSL-9 GLINIK)	3×500	2×(∅38×126)	1,32
Шахта «Комсомолец»	1731 пл. Бреевский	2,0...2,3	213	PF 4/1032 (PF 4/1132)	3×420	2×(∅34×126)	1,54
Шахта им. С.М. Кирова	2458 пл. Болдыревский	1,5...2,4	242	AFS-38×800/1500 (BSL-30×1024/500)	3×500	2×(∅34×126)	1,54
Шахта им. В.Д. Ялевского	5212 пл. 52	4,0...4,5	250	PF 4/1132 (PF 6/1342)	3×420	2×(∅34×126)	1,54
Шахта им. 7 ноября	1385 пл. Байкаимский	4,5...4,6	286	PF 4/1132 (PF 6/1342)	3×420	2×(∅34×126)	1,54

Современный ЗСК должен соответствовать следующим требованиям:

- обеспечивать производительность большую, чем производительность добычной машины;
- иметь надежную и прочную конструкцию, чтобы служить основанием и направляющей для движения комбайна и опорной балкой для перемещения секции крепи;
- в конструкции предусматриваются желоба для механизированной укладки комбайнового кабеля и рукава орошения, погрузочные лемехи, устройства, препятствующие сползанию, и т.д.;

- иметь минимальные геометрические размеры става, минимальные габариты приводных головок;

- тяговая цепь должна быть по возможности тяжелой и прочной, так как именно её обрыв является причиной наибольшего числа внезапных отказов ОМК.

К недостаткам современных ЗСК традиционно относят:

- невозможность профилирования почвы лавы;
- «всплывание» конвейера на штыбе вследствие несовершенства конструкций зачистных лемехов;

- слабая адаптивность к сложной гипсометрии пласта и к линии забоя из-за чрезмерной жесткости става конвейера;

- невозможность отдельного транспортирования угля и пустой породы для селективной выемки пласта;

- существенное снижение производительности с увеличением угла наклона лавы при транспортировании горной массы по восстанию.

Таким образом, задача совершенствования ЗСК с целью повышения их адаптивности к пластам со сложной гипсометрией, повышения их устойчивости и производительности, обеспечения отдельного транспортирования угольной массы и пустой породы при селективной отработке пласта является актуальной и представляет практический интерес.

1.4 Работа очистных механизированных комплексов для добычи угля в зонах геологических нарушений

1.4.1 Изменение горно-геологических условий в комплексно-механизированном забое по мере отработки выемочного столба

Особенности условий эксплуатации горных транспортных машин определяются, в первую очередь, горно-геологическими условиями и горнотехническими факторами. Причем степень неблагоприятности условий

при разработке угольных месторождений подземным способом растет в направлении от околоствольного двора к очистному забою.

Под благоприятными горно-геологическими условиями обычно понимают расположенные на небольшой глубине (100...300 м) одиночные пласты угля с углами падения $\mu = 0...12^\circ$, мощностью от 1,2 до 3,5 м, выдержанные по мощности и гипсометрии, с малой обводненностью и газоносностью, низкой опасностью по газодинамическим проявлениям, с устойчивой кровлей и прочной почвой. Такие условия характерны для шахт Австралии, США и ЮАР [90]. Горно-геологические условия эксплуатации угольных бассейнов на территории России и стран ближнего зарубежья, характеризуются разнообразием, связанным с особенностями генезиса и, соответственно, геологического строения слагающих их угленосных формаций (рисунок 1.9).

Рабочее пространство ЗСК характеризуется стесненностью и непостоянством рабочего места, наклонным расположением и непостоянством угла наклона, искривленностью в плане и профиле, деформируемостью, большой протяженностью, влажностью и запыленностью среды (таблица 1.4).

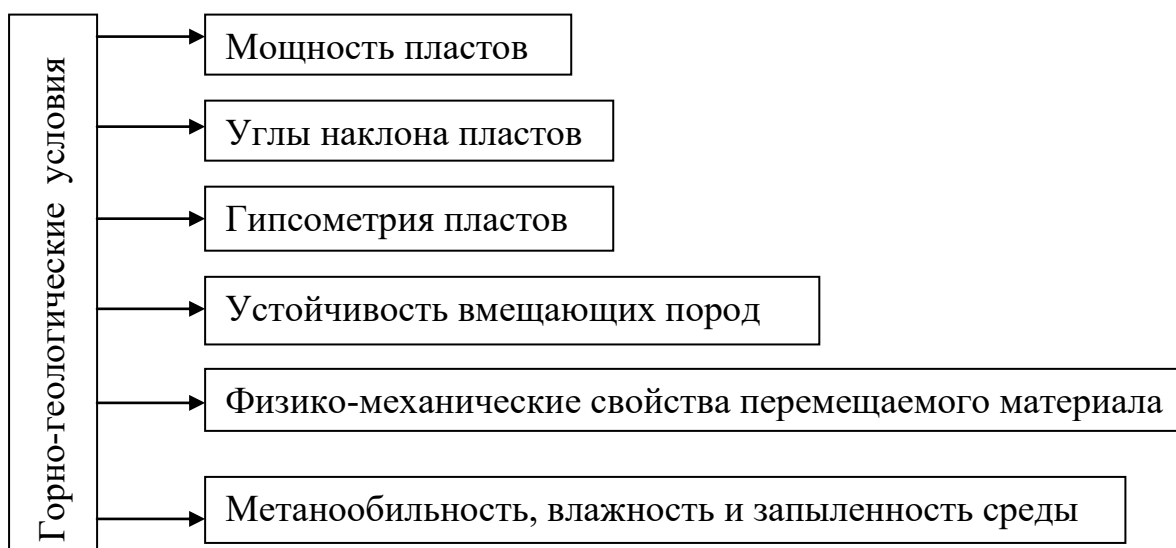


Рисунок 1.9 – Факторы горно-геологических условий эксплуатации ЗСК

Таблица 1.4 – Распределение очистных забоев по мощности и углам падения пластов

Характеристики забоя	Количество очистных забоев, %			
	Бассейны			
	Донецкий	Карагандинский	Кузнецкий	Подмосковный
Мощность пластов, м				
до 0,7	22,6	–	–	–
0,71...1,2	54,3	6,3	8,9	–
1,21...1,8	21,0	32,0	28,6	15,0
1,81...2,5	2,0	32,0	32,7	57,0
2,51...3,5	0,1	29,7	29,8	28,0
Угол падения пластов				
пологих (до 12°)	81,0	91,0	62,0	100,0
наклонных (свыше 12°)	19,0	9,0	38,0	–
из них				
с углом падения 25...35°	5,6	7,6	9,3	–
крутых (свыше 35°)	18,0	1,0	42,0	–

Наиболее стеснено рабочее пространство в забоях тонких (мощностью до 0,9 м) и весьма тонких (мощностью до 0,7 м) угольных пластов [110]. Наибольшая производительность ОМК обеспечиваются на пластах мощностью от 1,5 до 3,0 м.

Положение ЗСК в забое определяются углами наклона пласта по простиранию μ и при подвигании лавы по падению α . Как указывалось выше, скребковые конвейеры возможно применять в выработках с углами наклона по падению до 35°. Использование ЗСК в выработках с углами наклона лавы по простиранию свыше 15° обуславливает снижение устойчивости комбайна, ухудшение условий погрузки угольной массы (при движении лавы вниз), снижение производительности конвейера (пункт 1.4.2).

Во многих случаях углы пластов не остаются постоянными, в связи с чем ЗСК должны допускать изменения профиля с заданными радиусами переходных участков.

Важным фактором, определяющим производительность и стабильность функционирования ЗСК, является устойчивость пород кровли и почвы обрабатываемого угольного пласта. Неустойчивые породы кровли обуславливают вывалы на конвейеры негабаритных твердых кусков, что определяет перекосы скребков или заклинивание тягового органа [107]. Наличие неустойчивых пород непосредственной кровли и прочных устойчивых пород основной кровли обуславливает трудности управления горным давлением, что негативно отражается на эффективности функционирования ОМК в целом.

Главным фактором, осложняющим механизированную обработку угольных пластов, является наличие геологических нарушений. Ниже рассмотрим основные типы геологических нарушений, встречающихся при обработке угольных пластов, и определим их влияние на работу ОМК.

1.4.2 Типы геологических нарушений и их влияние на эффективность работы машин очистных механизированных комплексов

Согласно [48], все основные горно-геологические нарушения, встречающиеся при разработке угольных пластов, могут быть сведены в три группы:

- тектонические дизъюнктивные – с разрывами сплошности угольных пластов (рисунок 1.10, *а*);
- тектонические пликативные – обуславливающие криволинейность границ угольных пластов (рисунок 1.10, *б*);
- седиментационные – изменения строения и мощности угольных пластов, их почвы и кровли (рисунок 1.10, *в*).

Геологические нарушения имеют различные масштабы распространения в угленосных толщах угольных бассейнов. Результаты

оценки степени влияния геологических нарушений на эффективность и безопасность отработки угольных пластов приведены в таблице 1.5 [48].

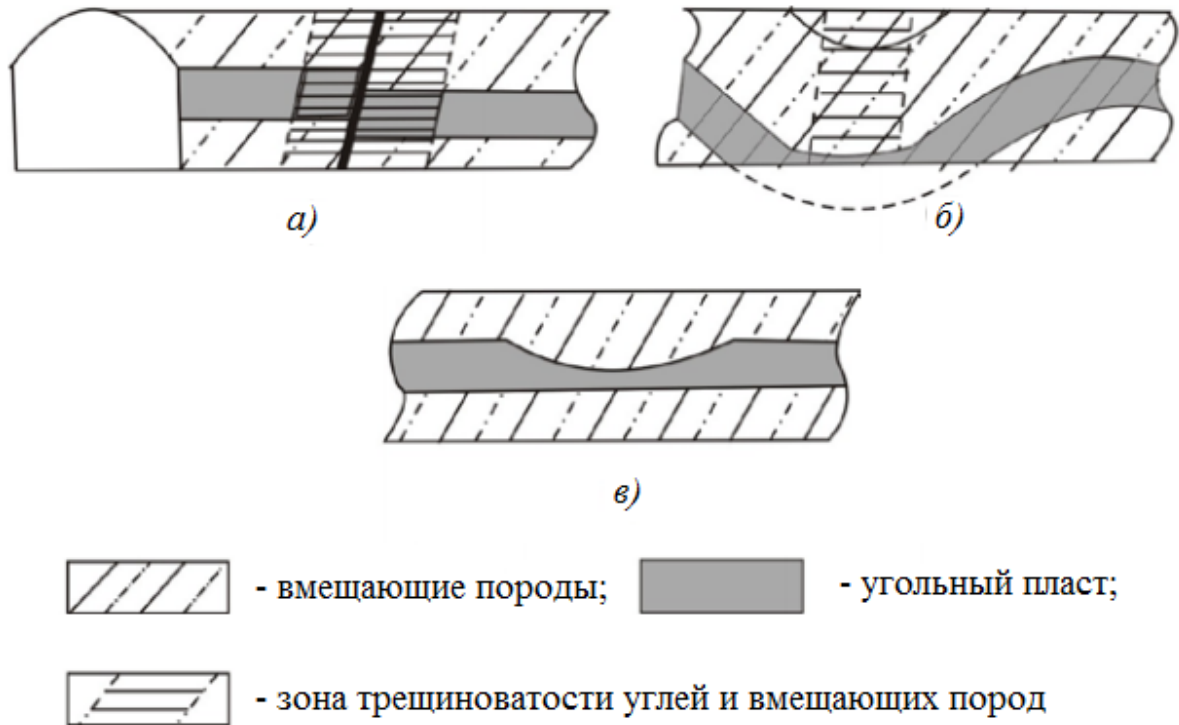


Рисунок 1.10 – Основные типы геологических нарушений угольных пластов

Геологические нарушения осложняют работу ОМК. Как правило, в зоне геологических нарушений резко ухудшаются условия взаимодействия механизированной крепи с породами кровли, снижается устойчивость стоек секций крепи, создаются условия для бесконтрольного перемещения («сползания») забойного конвейера. Успешная эксплуатация ОМК на пластах с углами падения более 20° возможна в случае выполнения дополнительных мероприятий по обеспечению устойчивости комплекса.

Таблица 1.5 – Относительная значимость геологических нарушений по их влиянию на эффективность отработки угольных пластов [48]

Угольные бассейны	Наименование геологических нарушений и осложнений																
	Тектонические							Седиментационные									
	Дизъюнктивы		Пликативы					Неровности кровли, почвы	Расщепления	Выклинивания	Раздувы	Утонения	Размывы	Карсты	Кластические инъекции	Труднообрушаемая кровля	Зоны повышенной трещиноватости
	Сбросы	Надвиги	Волновые			Флексуры	Моноклинали										
Линейные			Брахиформы	Округлые													
Донецкий	++	+	++	+	+	+	+	-	+	-	-	-	++	-	+	-	++
Кузнецкий	++	+	+	++	-	-	+	-	+	+	++	++	+	-	-	++	+
Печорский	++	+	+	++	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	++
Карагандинский	++	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	++	-	+	-	+
Подмосковный	-	-	-	+	+	-	+	++	++	++	+	+	++	++	-	-	-
Львовско-Волынский	++	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	++	-	-	-	++

Обозначения: «++» – существенная значимость; «+» – подчиненная; «-» – незначительное влияние или отсутствие влияния

Увеличение угла наклона пласта приводит к снижению устойчивости добычной машины, возрастанию динамических нагрузок на опорные элементы комбайна. Погрузочная способность шнеков узкозахватных комбайнов возрастает с увеличением угла наклона обрабатываемого пласта по восстанию: при углах $20...25^\circ$ прирост погрузочной способности составляет $15...20\%$. В то же время, при базовых плоскостях пласта, ориентированных по падению, наблюдается уменьшение погрузочной способности шнеков [49, 50, 115]. Эффективность погрузки угольной массы шнеками снижается вдвое при углах падения пласта $15...20^\circ$ [6, 7, 51, 52, 105].

С увеличением угла наклона става конвейера по падению возрастает неравномерность распределения нагрузки между цепями двухцепных скребковых конвейеров с размещением цепей в направляющих боковин рештаков. Сопротивление перемещению завальной цепи определяется только нормальными составляющими веса цепи, скребков и горной массы, а сопротивление движению забойной цепи – нормальными и наклонными составляющими. Коэффициент неравномерности распределения усилий между цепями изменяется от 0,9 при горизонтальном положении става до 0,4 при угле его наклона 35° . Нагрузки на забойную цепь в $2...3$ раза больше нагрузок на завальную цепь [105].

Наличие в почве пласта размокаемых или пучащих пород определяет отклонение скребкового конвейера от заданной траектории подачи на забой и возникновение сложностей при управлении комплексом в целом [21].

Эффективность выемки нарушенных пластов ОМК снижается вследствие повышенного износа входящих в него машин непосредственно при переходе нарушений [112, 113, 114]. Повышенный износ обусловлен следующими факторами.

1. Увеличением горного давления на крепь. При этом происходит высыпание пород, куполение, что приводит к нарушению базирования крепи по кровле, попаданию абразивных и крепких пород кровли под шнеки комбайна и на ЗСК.

2. Необходимостью присечки породы, которая возникает при формировании искусственных базовых плоскостей перехода в боковых породах.

Несмотря на то, что в зонах геологических нарушений увеличивается трещиноватость, уменьшается устойчивость вмещающих пород и угля, сопротивление резанию A_{B3} изменяется незначительно. Работа комбайнов по породе приводит к интенсивному износу резцов, исполнительных органов, редукторов режущей части. Увеличение динамических нагрузок способствует усталостному разрушению узлов выемочных машин. Особенно часто в этих условиях происходят поломки опорных устройств комбайна.

При транспортировании породы увеличивается и абразивный износ решетаков конвейера. Измельчённая порода обладает цементирующим свойством, что обуславливает появление дополнительных сопротивлений перемещению конвейерной цепи. Указанное вызывает интенсивный износ приводных звездочек конвейера и может привести к обрыву цепи [92, 105].

1.4.3 Переход геологических нарушений при механизированной выемке угольных пластов

Переход ОМК нарушений связан с преодолением смещений и изгибов угольного пласта. Конфигурация поверхности, по которой перемещается комплекс, определяет его пространственную ориентацию [105].

Известны следующие методы перехода геологических нарушений при отработке угольных пластов ОМК.

1. Переход с подрывкой почвы.
2. Переход с подрывкой кровли.
3. Переход с подрывкой почвы и кровли.
4. Переход с предварительным проведением выработок, поглощающих нарушение.
5. Переход без подрывки кровли и почвы и предварительного проведения поглощающих выработок [21, 50, 114].

При переходе геологических нарушений с подрывкой почвы и/или кровли осуществляются маневрирования ОМК и входящими в него машинами в пространстве, то есть реализуется рассогласование плоскости базировки комплекса с естественной плоскостью напластования путём применения выемочной машины, взрывчатых веществ и других средств для подрыва почвы и кровли, или же введением настилов искусственных сооружений, по которым при маневрировании базируется комплекс. Опускание или поднятие комплекса (рисунок 1.11) начинают при подходе к нарушению на расстояние L_1 , которое определяется по формуле (1.10)

$$L_1 = 0,5 f_1 (B-c)/a, \quad (1.10)$$

где a – константа, рекомендуемая высота эквивалентного уступа, $a = 0,1$ м;

B – ширина захвата породоразрушающего органа комбайна, м;

c – усредненная величина недодвигания конвейера к забою, м;

f_1 – амплитуда нарушения, м.

Для уменьшения зольности угля и осуществления наиболее эффективного и экономичного перехода работы по выемке разделяют на следующие этапы (рисунок 1.11).

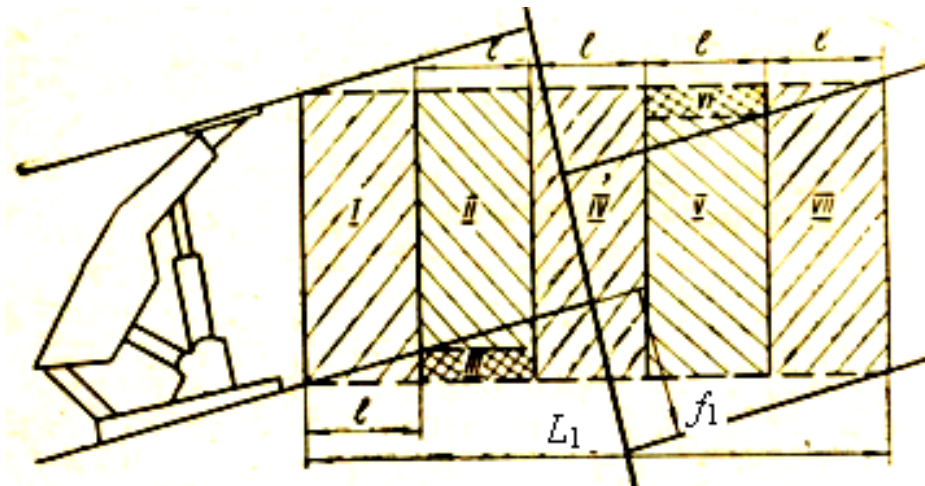


Рисунок 1.11 – Схема перехода геологического нарушения с подрывкой почвы и кровли

1. Подрывка породы и отгрузка горной массы из зоны *I*, которая определяется величиной *l*, рассчитываемой по формуле (1.11)

$$l = H_d \operatorname{ctg} \alpha_{\text{рас}}, \quad (1.11)$$

где H_d – максимально допустимая высота подрываемой породной пачки, при которой зольность не превышает допуска, м;

$\alpha_{\text{рас}}$ – угол рассогласования движения комплекса и напластования, град.

2. Раздельная выемка угля и породы из зоны *II* и *III*, пока шнек вписывается в пачку угля.

3. Выемка горной массы в зоне *IV* и отгрузка её в отвал или в погашаемый конвейерный штрек.

4. Раздельная выемка угля и породы из зоны *V* и *VI*, как только шнек впишется в пачку угля.

5. Подрывка породы и отгрузка горной массы в товарную продукцию из зоны *VII*.

Подрывка вмещающих пород при крепости $f \leq 4$ по шкале М. М. Протодяконова осуществляется породоразрушающим органом комбайна, при этом скорость подачи комбайна снижается до 0,3...0,4 м/мин. При высокой прочности подрываемых пород используют буровзрывной способ разрушения.

Практика показала, что по фактору объема вынимаемой породы за предельную амплитуду геологического нарушения, при котором переход его целесообразен без перемонтажа комплекса, может быть принята величина, равная мощности пласта. Переход нарушений с большей амплитудой технически возможен, но решение о переходе в этом случае должно приниматься только после сравнения затрат на переход с расходами на перемонтаж комплекса [21].

Вписываемость ОМК в выемочный контур с заданной конфигурацией пласта и его разрыва определяется кинематической схемой, зазорами, величинами упругих деформаций звеньев входящих в комплекс машин, а также условием свободного прохода комбайна через нарушение в

зависимости от раздвижности крепи, длины комбайна и расстояния между его опорами.

Необходимость проведения работ по подрыву почвы и кровли лавы, использования дополнительных средств для рассогласования плоскости базировки комплекса с естественной плоскостью напластования обуславливает возникновение трудностей при управлении комплексом и существенное снижение его производительности. Полная, либо частичная механизация выполнения данных операций позволит снизить время перехода геологических нарушений и повысить эффективность работы ОМК в сложных горно-геологических условиях.

Сложности представляет и решение задачи отдельного транспортирования угля и пустой породы при отработке зон геологических нарушений.

Повышение эффективности использования ОМК в сложных горно-геологических и технологических условиях возможно посредством повышения адаптивности оборудования к заданным условиям эксплуатации и, в частности, адаптацией ЗСК, как базовых элементов ОМК.

1.5 Адаптация забойных конвейеров очистных комплексов к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям

Под адаптацией оборудования ОМК следует понимать совокупность технических и технологических решений, обеспечивающих достижение максимального экономического эффекта от применения очистного комплекса в конкретных условиях эксплуатации, информация о которых может быть ограниченной или не вполне достоверной [17, 40].

Рассмотрим некоторые аспекты адаптивности оборудования ОМК для добычи угля при отработке пластов с изменяющейся гипсометрией и геологическими нарушениями.

Параметры, определяющие возможность работы ОМК на сложных криволинейных базовых поверхностях, называются параметрами

маневренной адаптивности комплекса. Традиционно к параметрам маневренной адаптивности комплекса относят следующее.

1. Предельные радиусы вписывания комплекса (R_1 , R_2 , R_3) в формируемый контур лавы (рисунок 1.12, а).
2. Предельные углы поворота секции крепи относительно друг друга в вертикальной (γ_v) и горизонтальной (α_1) плоскостях (рисунок 1.12, б).
3. Предельные углы поворота секции конвейера относительно друг друга в вертикальной и горизонтальной плоскостях.
4. Максимальная (h_{max}) и минимальная (h_{min}) раздвижность секций крепи (рисунок 1.12, в).
5. Предельный угол скручивания става крепи и конвейера.
6. Предельные углы наклона базовой плоскости комплекса (рисунок 1.12, з) при обработке пластов по падению (α) и по простиранию (μ).

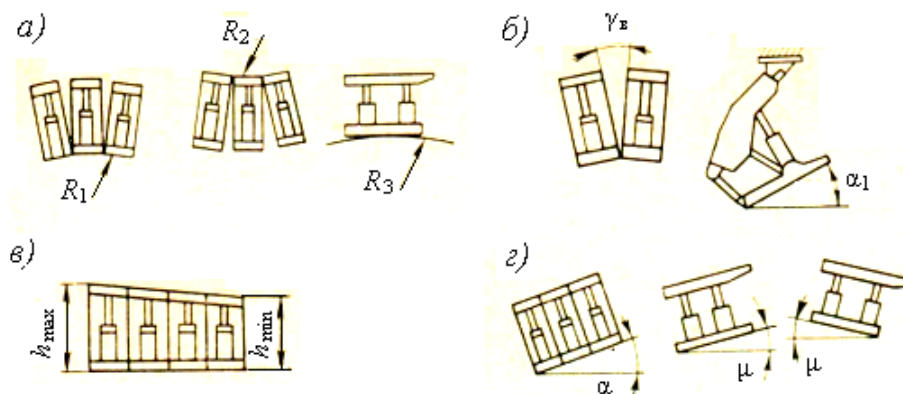


Рисунок 1.12 – Параметры маневренной адаптивности ОМК

Из указанного следует, что маневренная адаптивность ОМК во многом определяется параметрами ЗСК и механизированной крепи (рисунок 1.13).

Одной из важнейших задач повышения стабильности процесса добычи в комплексно-механизированных очистных забоях является поддержание устойчивого положения ОМК и целенаправленного перемещения очистного забоя, особенно в зонах геологических нарушений (разрывы пласта, утонения, сбросы и т.п.). Для этого необходимо четкое движение очистного забоя относительно линии падения по направлению простирания пласта по

всей длине лавы. То есть необходимо профилировать почву пласта, как опорную и направляющую поверхность, для движения ОМК.



Рисунок 1.13 – Структурная схема формирования адаптивности ОМК

В работах [35, 36, 52, 95, 98] указывается, что наиболее рационально осуществлять профилировку почвы пласта с использованием дополнительных приспособлений, установленных на ЗСК, например, режуще-транспортирующих цепей (см. рисунок 1.4), а так же посредством применения скребков, оснащенных резцами.

Известно, что в рабочем режиме скребковые конвейеры длительное время работают с недогрузкой, так как реальные забойные грузопотоки, как правило, оказываются значительно меньше приёмной способности конвейера. В результате этого непроизводительные затраты энергии на перемещение тяговой цепи в общем балансе затрат энергии достигают 80 %. В то же время, при переходе геологических нарушений нередки ситуации, когда значительно увеличивается угол наклона того или иного участка лавы,

при этом производительность скребкового конвейера (в случае транспортирования угольной массы по восстанию) существенно снижается. Указанные недостатки могут быть устранены посредством регулирования скорости движения тяговой цепи, что определяет актуальность задачи повышения адаптивности приводов ЗСК.

Наличие динамических нагрузок на тяговые цепи и приводные звездочки скребковых конвейеров, возникновение которых обусловлено характером движения груза по рештаку конвейера и кинематикой его приводов, определяет необходимость разработки и использования средств регулирования натяжения и демпфирования нагрузок в тяговых цепях, что также является важным вопросом адаптации скребковых конвейеров к реальным условиям эксплуатации.

Реализация селективной выемки угля и пустой породы обуславливает необходимость их отдельного транспортирования с целью обеспечения требуемого качества готовой продукции горного производства. Особенно острым данный вопрос является при отработке пластов с изменяющейся гипсометрией и переходе геологических нарушений, где функционирование ОМК сопровождается значительным объемом присечки пород. Создание ЗСК обеспечивающих разделение грузопотоков повысит их адаптивность и, как следствие, увеличит эффективность ведения очистных работ.

1.6 Выводы по главе 1

На основании анализа структуры угольных пластов и свойств транспортируемой в очистных забоях угольной массы, конструктивных особенностей ЗСК, режимов их работы и условий функционирования сделаны следующие выводы.

1. Масса угля, выдаваемого при валовой выемке, представляет собой механическую смесь кусков угля, породы и их сростков, качество которого не всегда согласуется с требованиями потребителей. Существенное снижение качества добываемого угля обуславливается работой очистных

механизированных комплексов в сложных горно-геологических условиях вследствие значительных объемов присечки пустой породы.

2. Организация селективной выемки разнородных объектов позволит поставлять уголь требуемого качества. Для этого необходимо всестороннее изучение пластов, подсечение и оконтуривание геологических тел, могущих стать объектами самостоятельной эксплуатации и способных выдавать продукцию постоянного качества.

3. Обеспечение требуемого качества добываемого угля при селективной выемке предусматривает необходимость отдельного транспортирования угля и пустой породы с целью недопущения их последующего смешивания, что в условиях очистного забоя является сложной технической задачей, решению которой уделяется недостаточно внимания.

4. Возможность организации отдельного транспортирования угля и пустой породы во встречных направлениях при селективной отработке пластов может быть обеспечена использованием скребковых конвейеров с параллельным расположением ветвей тяговой цепи. При этом необходимо разработать способы разобщения встречных потоков горной массы.

5. Функционирование ОМК при наличии размокаемых или пучащих пород в почве отработываемого угольного пласта определяет отклонение ЗСК от заданной траектории подачи на забой, возникновение сложностей при управлении комплексом в целом, и как следствие, существенное снижение технической производительности и устойчивости его работы.

6. Профилирование почвы и повышение интенсивности отжима в призабойной зоне угольного пласта, отработываемого с использованием очистного механизированного комплекса, рационально осуществлять с использованием дополнительных приспособлений, установленных на ЗСК, например, кольцевых режущих цепей или скребков, оснащенных режущими элементами.

7. В основополагающих трудах в области горного транспорта отсутствует системный анализ вопросов повышения адаптивности к

изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям работы одного из базовых элементов очистных механизированных комплексов – ЗСК.

Результаты анализа информации, представленной в первой главе, и полученные выводы позволяют сформулировать цель и задачи исследования.

Целью исследования является определение зависимостей показателей эффективности очистного комплекса от параметров забойного скребкового конвейера, адаптивного к переменным по мере отработки выемочного столба горно-геологическим условиям, необходимых для обоснования его схемных и конструктивных технических решений, обеспечивающих поддержание на заданном уровне интенсивности добычи угля в изменяющихся условиях эксплуатации за счет улучшения направленности перемещения комплекса.

Задачи исследования:

1. Установить зависимости изменения эффективности работы очистных механизированных комплексов от конструктивных параметров забойных скребковых конвейеров, горно-геологических и технологических условий функционирования.

2. Обосновать требования к забойному скребковому конвейеру, как элементу адаптивного очистного механизированного комплекса.

3. Обосновать схемные и конструктивные решения забойного зарубежного скребкового конвейера, обеспечивающего профилирование почвы пласта как опорной и направляющей поверхности для движения ОМК, а также раздельное транспортирование угля и породы.

4. Выполнить математическое моделирование процессов транспортирования горной массы и подрубки пласта забойным зарубежным скребковым конвейером очистного механизированного комплекса.

5. Обосновать рациональные параметры забойного зарубежного конвейера очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям.

ГЛАВА 2 МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ЗАБОЙНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

2.1 Характеристика объекта исследования

Объектом настоящего исследования является процесс функционирования забойного скребкового конвейера ОМК в изменяющихся (за время отработки выемочного столба) горно-геологических и технологических условиях. Блок-схема исследуемого процесса представлена на рисунке 2.1. Факторы, влияющие на процесс функционирования ЗСК, можно разделить на три группы.



Рисунок 2.1 – Блок-схема процесса функционирования ЗСК

Внешние факторы, не управляемые, представлены совокупностью параметров, характеризующих горно-геологические (мощность и угол падения пласта, свойства угля и вмещающих пород) и технологические (длина лавы, углы заложения выработок) условия работы ЗСК.

Количественно данные параметры обычно задаются определёнными диапазонами значений и, при необходимости, могут быть описаны соответствующими статистическими характеристиками.

Внутренние факторы, ограниченно управляемые, представлены совокупностью параметров, характеризующих конструктивные и технические особенности ЗСК, его кинематическую связь с машинами ОМК, а также выбранную технологию работы в комплексном очистном механизированном забое.

Регулируемые параметры, управляемые факторы, которые характеризуют совокупность режимных параметров работы ЗСК (скорость движения цепи, скорость подачи става на забой), а также параметры его технического состояния [8, 14].

Описанные факторы взаимно влияют друг на друга. Так, например, длина лавы определяет величину и диапазон изменения нагрузки на тяговую цепь, а, следовательно размеры и прочность тяговой цепи, и мощность привода.

Характер сопряжения ЗСК с добычной машиной обуславливают особенности их компоновки, место расположения конвейера, размеры и внешнюю форму рештачного става, наличие и величину дополнительных (не связанных с транспортированием) нагрузок на рештачный став.

Тип и характеристики добычной машины определяют величину кусков транспортируемого материала и последовательность загрузки.

Характер сопряжения конвейера с механизированной крепью обуславливает возможность передачи на рештачный став нагрузок, связанных с подвиганием комплекса на забой. Система крепи и тип добычной машины определяют, в совокупности, способ и шаг перемещения конвейера в лаве вслед за подвиганием забоя, что, в свою очередь, определяет конструкцию соединения рештачных секций между собой и комплектацию конвейера средствами передвижки.

Мощность обрабатываемого пласта определяет основные размеры конвейера, а в некоторых случаях и его кинематическую схему. Например, ЗСК с горизонтальным расположением рабочей и порожней ветвей были спроектированы специально для тонких пластов [21, 91, 107].

Критерии и показатели эффективности функционирования ЗСК представляют собой группу выходных параметров, позволяющих оценивать исследуемый процесс количественно: значениями эксплуатационной производительности, удельных энергозатрат на транспортирование, коэффициентов готовности и технического использования и т.д.

Исходя из изложенного, рассматриваемый процесс функционирования ЗСК, по характеру влияния на него внешних и внутренних факторов, является комплексным, содержащим как детерминированные, так и вероятностные составляющие. Исследуемый процесс является многофакторным по количеству существенно влияющих на него внешних и внутренних факторов и наличию значительного объема исходных данных по горно-геологическим, техническим и технологическим условиям [44, 82].

В диссертационной работе, при обосновании структуры и параметров забойного скребкового конвейера ОМК, адаптивного к сложным горно-геологическим условиям, используем комплексный метод исследования. За теоретический базис примем результаты исследований в области забойного транспорта, полученные и опубликованные специалистами ИГД им. А. А. Скочинского, ОАО «Гипроуглемаш» и других научно-исследовательских институтов, а также ВУЗов России [19, 37, 45, 51, 52, 53, 82, 94, 102]. Определение рациональной структуры и параметров ЗСК осуществляется на основе данных математического моделирования и при проведении численного эксперимента.

2.2 Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса

Угольные месторождения, разрабатываемые на месторождениях РФ, как правило, представлены свитами сближенных пластов различной мощности, которые залегают в виде анти- и синклинальных складок. Углы падения пластов в шахтном поле могут изменяться от пологих до наклонных и даже крутых. Шахтные поля разбиты геологическими нарушениями различной амплитуды и видов, в том числе, не проходимых механизированными комплексами, что в значительной степени влияет на схемы, параметры и технические средства, используемые при отработке угольных пластов. Пласты, в большинстве своём, газоносные и часто обводнённые, а также опасные по горным ударам. Глубина залегания пластов меняется от 0,2 до 1,0 тыс. м [90].

Использование ОМК во всё более сложных горно-геологических условиях обуславливает необходимость их непрерывного совершенствования. Возникновение аварийных отказов оборудования определяет требования повышения конструктивной прочности и металлоёмкости их элементов; сложная гипсометрия залегания вынимаемых пластов обуславливает необходимость совершенствования кинематических связей основных структурных элементов комплекса [96]. Разрабатываются и внедряются сложные программируемые системы мониторинга и диагностики технического состояния машин, контроля режимов работы и автоматизированного управления [14].

Однако, несмотря на устойчивое поступательное развитие горнодобывающей техники в отечественной угольной отрасли, общей особенностью процесса выемки угля является существенное отставание фактических значений режимных и эксплуатационных параметров ОМК от их паспортных значений [29]. Например, на шахте «Комсомолец» ОАО «СУЭК-Кузбасс» (рисунок 2.2) при среднемесячной нагрузке на забой

$Q_M = 210,4$ тыс. т угля отклонения составило $\Delta Q_M = -170,4 \dots 114,6$ тыс. т при среднеквадратичном отклонении $\delta_Q = 105,9$ тыс. т.

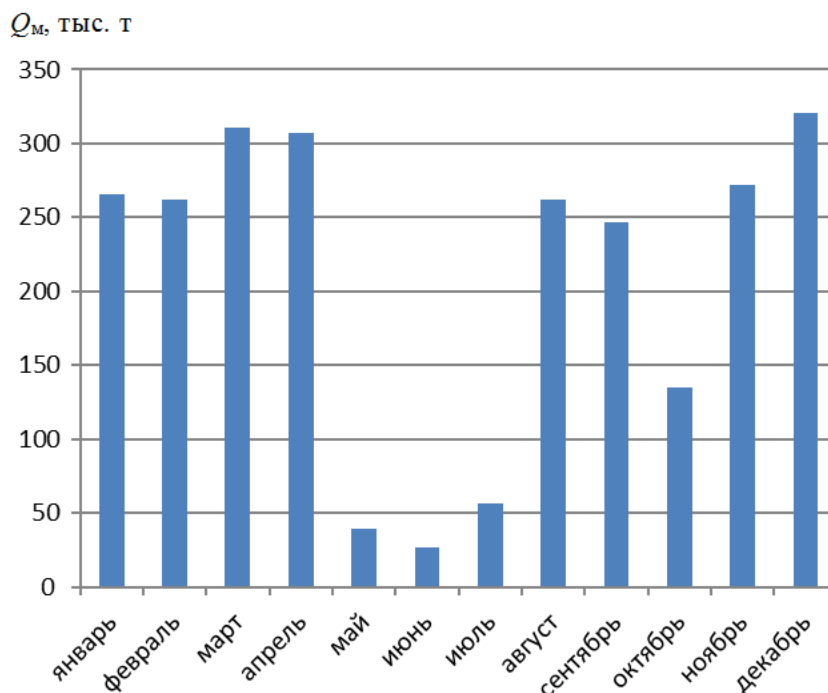


Рисунок 2.2 – Изменение производительности ОМК в течение 2015 года на шахте «Комсомолец» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Традиционно к основным факторам, определяющим снижение производительности ОМК, относят технологические, технические и горно-геологические, которые обуславливают снижение скорости подачи комбайна и возникновение перерывов в работе.

Анализ записей регистраторов параметров работы механизированных комплексов в течение смены показывает нестабильность процесса очистной выемки: в широких пределах варьируется скорость подачи комбайна, добыча прерывается частыми кратковременными остановками, причины возникновения которых не связаны с выполнением только штатных вспомогательных операций (рисунок 2.3) [96].

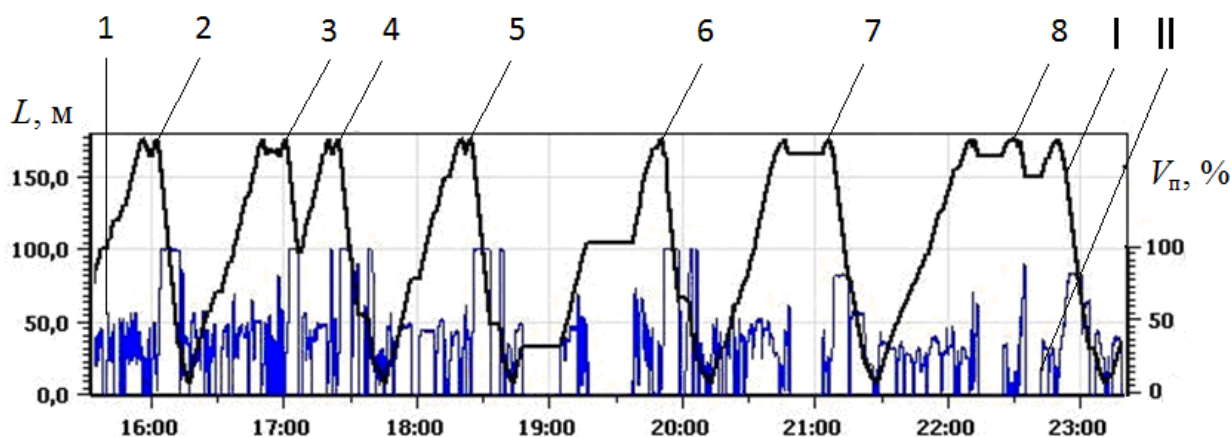


Рисунок 2.3 – Скорость движения комбайна и его положение по длине лавы в течение смены: *I* – положение комбайна; *II* – скорость подачи комбайна $V_{п}$ в % от максимальной ($V_{пmax} = 27,5$ м/мин).; *I* – скорость движения; 2...8 – изменение положения комбайна в лаве; L – длина лавы, м

В общепринятых методиках анализа режимов работы ОМК и отдельно выемочных машин учитываются, как правило, осредненные значения скорости подачи ($V_{пi}$) и сумма времени технологических перерывов ($T_{пi}$) в работе выемочной машины за контролируемый период времени.

Время производительной работы, время кратковременных перерывов и скорость подачи комбайна зависят, вероятно, от одних и тех же факторов: времени оценки оператором сложившейся ситуации, времени включения машины и перехода от запуска и холостого хода на рабочий режим, времени отключения и т.п., то есть от времени последовательных переходных процессов в системах «оператор-машина». Постоянными величинами этих процессов являются постоянные времени разгона добычных и транспортирующих машин, их остановок, реакции операторов, времени запаздывания. Роль и значимость отклонения фактической производительности очистного механизированного комплекса $Q_{\phi i}$ от расчетной, технически обоснованной $Q_{p i}$ вследствие этих кратковременно влияющих факторов недостаточно исследованы и в типовых методиках расчетов не учитываются.

Уменьшение текущей производительности $Q_{\phi i}$ относительно расчетной Q_{pi} за контролируемый период времени t_i работы ОМК может быть оценено показателем устойчивости Π_{yi} , равным отношению фактической производительности комбайна за конкретный промежуток времени к расчетной его производительности за тот же промежуток времени (2.1)

$$\Pi_{yi} = \frac{Q_{\phi i}}{Q_{pi}}. \quad (2.1)$$

Фактическая производительность ОМК рассчитывается по формуле (2.2)

$$Q_{\phi i} = \frac{BH\gamma_k \sum t_{di}}{\frac{1}{V_{\pi}} + \frac{\sum t_{oi}}{L_{di}}} = \frac{K_{\pi} \sum t_{di}}{\frac{L_{di} + V_{\pi} \sum t_{oi}}{V_{\pi} L_{di}}} = \frac{K_{\pi} V_{\pi} L_{di} \sum t_{di}}{L_{di} + V_{\pi} \sum t_{oi}}, \quad (2.2)$$

где $\sum t_{oi}$ – суммарное время кратковременных остановок, мин;

$\sum t_{di}$ – суммарное время производительной работы, мин;

B – ширина захвата исполнительного органа комбайна, м;

H – мощность пласта, м; γ_k – плотность угля в массиве, т/м³;

V_{π} – средняя скорость подачи комбайна, м/мин;

L_{di} – длина участка лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м;

K_{π} – величина постоянная для конкретных горнотехнических условий,

$K_{\pi} = HB\gamma_k$; $\sum t_{oi}/L_{di}$ – удельное время перерывов, мин/м.

Расчетная производительность ОМК определяется выражением (2.3)

$$Q_{pi} = \frac{\sum t_{pi} BH\gamma_k}{\frac{1}{V_{pi}} + \frac{\sum t_{opi}}{L_{pi}}} = \frac{K_{\pi} V_{pi} L_{pi} \sum t_{pi}}{L_{pi} + V_{pi} \sum t_{opi}}, \quad (2.3)$$

где $\sum t_{pi}$ – суммарное расчетное время производительной работы комплекса за контролируемый период времени, мин;

L_{pi} – расчетная длина участка лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м;

V_{pi} – расчетная скорость подачи комбайна, м/мин; Σt_{opi} – суммарное расчетное время кратковременных остановок (без выключения электродвигателей), мин.

Так как значение времени Σt_{opi} не может быть отнесено к регламентированным перерывам, то обосновано не учитываются в расчетах, то есть принимается $\Sigma t_{opi} = 0$.

Из зависимостей (2.1)–(2.3) следует, что оценка устойчивости процесса в комплексно-механизированном очистном забое определяется выражением (2.4)

$$\Pi_{yi} = \frac{\sum t_{di} K_{л} V_{п} L_{ди} (L_{pi} + V_{pi} \sum t_{opi})}{(L_{ди} + V_{п} \sum t_{oi}) \cdot (\sum t_{pi} K_{л} V_{pi} L_{pi})} = \frac{V_{п}}{V_{pi}} \cdot \frac{\sum t_{di}}{\sum t_{pi}} \cdot \frac{L_{ди}}{(L_{ди} + V_{п} \sum t_{oi})}. \quad (2.4)$$

Обозначив отношения $V_{п} / V_{pi} = K_{yv}$ коэффициентом устойчивости по скорости подачи, а отношение $\Sigma t_{oi} / \Sigma t_{pi} = K_{yt}$ коэффициентом устойчивости по времени; заменим длину участка лавы $L_{ди}$ пройденного комбайном за контролируемый период времени произведением $V_{п} \Sigma t_{ди}$, представим выражение (2.4) в виде (2.5)

$$\Pi_{yi} = K_{yv} K_{yt} \frac{L_{ди}}{L_{ди} + V_{п} \sum t_{oi}} = K_{yv} K_{yt} \frac{1}{1 + V_{п} \frac{\sum t_{oi}}{L_{ди}}} = K_{yv} K_{yt} \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{oi}}{\sum t_{ди}}}. \quad (2.5)$$

Таким образом, показатель устойчивости Π_{yi} равен произведению дифференциальных коэффициента устойчивости по скорости подачи K_{yv} на коэффициент устойчивости по времени K_{yt} и на относительное увеличение времени остановок, определяется выражениями (2.6) и (2.7)

$$K_{yo} = \frac{1}{1 + \frac{\sum t_{oi}}{\sum t_{ди}}}; \quad (2.6)$$

$$\Pi_{yi} = K_{yv} K_{yt} K_{yo}. \quad (2.7)$$

Значения коэффициентов K_{yv} , K_{yt} и K_{yo} в реальных условиях функционирования ОМК зависят от совместного влияния следующих технических и профессионально-психологических факторов:

- 1) степени взаимной адаптации оборудования и машин ОМК;
- 2) степени соответствия психофизиологических параметров оперативного персонала ритму работы машин и оборудования ОМК в конкретных условиях;
- 3) адаптивности ОМК в целом к переменным горно-геологическим условиям в очистном забое по мере отработки угольного пласта [96, 97].

Следует обратить внимание на более интенсивное во времени изменение динамических параметров функционирования машин, оборудования и систем комплекса, формирующих ритм их работы, по сравнению с практически неизменной реакцией оперативного персонала.

Поиск рациональных решений адаптации машин, оборудования и систем ОМК к изменяющимся условиям функционирования по мере отработки угольных пластов и согласование их с реакцией операторов возможно осуществлять по следующим направлениям [8, 40]:

- совершенствованием отдельно выемочных машин, механизированной крепи, ЗСК, вспомогательных машин, устройств и систем;
- совершенствованием адаптивности ОМК через развитие адаптивности составляющих элементов с использованием средств автоматизации, дистанционного управления и т.п.;
- поиском перспективных технико-технологических решений;
- обоснованием комплексов с переменной структурой оборудования.

2.3 Оценка качества конструкции и устойчивости режимов работы забойных скребковых конвейеров очистных механизированных комплексов

Степень соответствия структуры и конструкции ЗСК комплексу требуемых эксплуатационных свойств оценивается обобщенными и частными критериями качества.

В работе [107] указывается, что обобщенный функциональный критерий качества конвейера предлагается определять по формуле (2.8)

$$\lambda = 3600F\gamma_p vL = Q\gamma_p L, \quad (2.8)$$

где F – площадь поперечного сечения груза на конвейере, м²;

γ_p – насыпная плотность транспортируемой горной массы, т/м³;

v – скорость перемещения тягового органа, м/с;

L – длина лавы, м;

Q – теоретическая производительность конвейера, м³/ч.

Размерность λ показывает, что обобщенным функциональным критерием качества ЗСК является их транспортная мощность.

Известно [37, 107, 110], что помимо теоретической производительности конвейера Q различают техническую Q_T , эксплуатационную $Q_э$, межремонтную Q_p и среднюю за весь срок службы Q_c производительности конвейера.

Техническая производительность – это наибольшая средняя производительность конвейера в детерминированных условиях эксплуатации технически возможной непрерывности работы и достигнутой надежности этого конвейера, определяется выражением (2.9)

$$Q_T = Qk_T = Qk_r k_{и}, \quad (2.9)$$

где k_T – коэффициент технической реализации теоретической производительности;

k_r – коэффициент готовности конвейера;

$k_{и}$ – коэффициент использования конвейера по производительности.

Эксплуатационная производительность – это фактическая средняя производительность конвейера с учетом организационно-технических неполадок, а также надежности смежного оборудования в детерминированных условиях эксплуатации, определяется выражением (2.10)

$$Q_э = Qk_э = Q_T \frac{k_э}{k_T} = Q_T k_{э,T} = Q_T k'_r k_B, \quad (2.10)$$

где k'_r – общий коэффициент готовности смежного оборудования;

$k_{\text{э}}$ – коэффициент реализации теоретической производительности конвейера в процессе эксплуатации;

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования конвейера во времени;

$k_{\text{э.т}}$ – коэффициент реализации технической производительности конвейера в процессе эксплуатации [107].

Межремонтная производительность – это средняя производительность конвейера в период между двумя очередными капитальными ремонтами в детерминированных условиях эксплуатации, определяется выражением (2.11)

$$Q_{\text{р}} = Qk_{\text{р}} = Q_{\text{т}} \frac{k_{\text{р}}}{k_{\text{т}}} = Q_{\text{т}}k_{\text{р.т}} = Q_{\text{э}} \frac{k_{\text{р.т}}}{k_{\text{э.т}}} = Q_{\text{э}}k_{\text{р.э}}, \quad (2.11)$$

где $k_{\text{р}}$ – коэффициент реализации теоретической производительности конвейера в период между двумя капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта;

$k_{\text{р.т}}$ – коэффициент реализации технической производительности конвейера в период между капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта;

$k_{\text{р.э}}$ – коэффициент реализации эксплуатационной производительности конвейера в период между двумя капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта.

Средняя за весь срок службы производительность – это средняя производительность конвейера в период полного срока службы в детерминированных условиях эксплуатации, определяется выражением (2.12)

$$Q_{\text{с}} = Qk_{\text{с}} = Q_{\text{т}} \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{т}}} = Q_{\text{т}}k_{\text{с.т}} = Q_{\text{э}} \frac{k_{\text{с.т}}}{k_{\text{э.т}}} = Q_{\text{э}}k_{\text{с.э}} = Q_{\text{р}} \frac{k_{\text{с.э}}}{k_{\text{р.э}}} = Q_{\text{р}}k_{\text{с.р}}, \quad (2.12)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент реализации теоретической производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{\text{с.т}}$ – коэффициент реализации технической производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{\text{с.э}}$ – коэффициент реализации эксплуатационной производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{с.р}$ – коэффициент реализации межремонтной производительности конвейера за весь срок его службы.

В соответствии с указанными понятиями производительностей различают частные функциональные критерии качества конвейера, определяемые выражениями (2.13)–(2.16):

– технический

$$\lambda_T = Q_T \gamma_H L = Q \gamma_H L k_T; \quad (2.13)$$

– эксплуатационный

$$\lambda_э = Q_э \gamma_H L = Q \gamma_H L k_э; \quad (2.14)$$

– межремонтный

$$\lambda_p = Q_p \gamma_H L = Q \gamma_H L k_p; \quad (2.15)$$

– средний за весь срок службы

$$\lambda_c = Q_c \gamma_H L = Q \gamma_H L k_c. \quad (2.16)$$

Приведенные функциональные критерии качества могут быть положены в основу методологии определения качества конструкции, уровня эксплуатационного использования, ремонтпригодности или долговечности ЗСК.

Аналогично выражению (2.1), показатель устойчивости функционирования забойного скребкового конвейера $\Pi_{узск}$ может быть рассчитан, как отношение соответствующей эксплуатационной производительности конвейера $Q_э$ за анализируемый период времени к его теоретической производительности Q , то есть определён по формуле (2.17)

$$\Pi_{узск} = \frac{Q_э}{Q}. \quad (2.17)$$

Согласно зависимостям (2.9) и (2.10), эксплуатационная производительность ЗСК может быть рассчитана по формуле (2.18)

$$Q_э = Q k_э = Q_T \frac{k_э}{k_T} = Q_T k_{э,Т} = Q_T k'_Г k_B = Q k_Г k_{иГ} k'_Г k_B. \quad (2.18)$$

Таким образом, показатель устойчивости функционирования забойного скребкового конвейера $\Pi_{узск}$ определяется выражением (2.19)

$$\Pi_{\text{узск}} = \frac{Q_3}{Q} = k_{\Gamma} k_{\text{н}} k'_{\Gamma} k_{\text{в}}. \quad (2.19)$$

Величина показателя устойчивости функционирования ЗСК зависит от коэффициентов готовности забойного скребкового конвейера и смежного оборудования ОМК, коэффициентов использования конвейера по производительности и по времени.

Предложенная методология позволяет количественно оценить влияние внешних и внутренних факторов, параметров режима работы и технического состояния (см. рисунок 2.1) на эффективность функционирования забойного скребкового конвейера в составе ОМК.

2.4 Отказы узлов и деталей забойных скребковых конвейеров

Эффективность механизированной добычи угля определяется, среди прочих факторов, устойчивой и безотказной работой машин, входящих в ОМК.

Известно, что при эксплуатации шахтного оборудования зачастую допускаются нарушения режима технического обслуживания. Нормативное соотношение добычных и ремонтно-подготовительных смен установлено 3:1, но фактически это соотношение не выполняется [38]. Анализ информации, приведенной в открытых источниках, показывает, что причиной значительного числа аварийных отказов ЗСК является недостаточная надежность тяговых органов, узлов и деталей приводов.

Линейные и соединительные звенья тяговых цепей в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному абразивному износу, коррозии и переменным нагрузкам, величина которых может критически увеличиваться при заштыбовке направляющих, искривлении рештачного става, заклинивании скребков кусками породы и т.д.

Согласно данным работы [10], основной вид отказов тяговых органов ЗСК – разрушение соединительных звеньев цепей. Соотношение разрывов основных и соединительных звеньев составляет 1:18. Преобладают разрушения, вызванные усталостным и абразивным износом. Срок службы

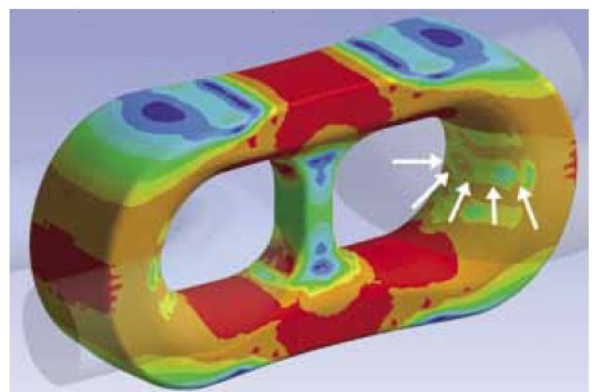
круглозвенных цепей калибром менее 30 мм составляет в условиях угольных шахт РФ, в среднем, 7...9 месяцев.

Вероятность возникновения порывов цепей ЗСК пытаются минимизировать на этапе проектирования и производства посредством увеличения калибра тяговых цепей. Например, компания *Caterpillar* для высокопроизводительных забойных конвейеров использует цепи калибра 42×146. В конструкциях ЗСК производства Анжерского машиностроительного завода применяются цепи калибров 30×108, 34×126, 38×137, 42×146 [31–33].

Зарубежные производители предпринимают попытки обеспечить высокую надежность тяговых цепей ЗСК посредством оптимизации формы звеньев. Интересна разработанная компанией *Thiele AG* (ФРГ) тяговая цепь *BIG-T* с увеличенной площадью контакта между звеньями (рисунок 2.4, а). Вертикальные кованые звенья отличаются значительно увеличенной толщиной и оптимизированной внутренней поверхностью. Указанные конструктивные решения обеспечили равномерное распределение напряжений в металле звеньев при функционировании тяговой цепи (рисунок 2.4, б), что позволило в 2,5...3 раза увеличить наработку цепи *BIG-T* по сравнению с аналогичными цепями традиционных конструкций [108].



а)



б)

Рисунок 2.4 – Тяговая цепь ЗСК *BIG-T* производства компании *Thiele AG*:

а – общий вид; б – распределение напряжений в вертикальном звене с оптимизированной формой

Снижение абразивно-фрикционного износа тяговых цепей и рештачных секций ЗСК, а также уменьшение вероятности заклинивания тягового органа, возможно посредством использования двухцепного тягового органа с центральным расположением цепей, что в настоящее время является предпочтительным решением при разработке новых конструкций ЗСК в практике отечественного и зарубежного горного машиностроения.

Срок службы редукторов ЗСК, выпускаемых промышленностью РФ, до капитального ремонта установлен 12 месяцев при наработке 5...10 млн. тонн перемещенного угля. Однако, фактическая средняя наработка у многих редукторов значительно ниже установленной заводами-изготовителями. Так, по данным специалистов сервисных служб шахты «Комсомолец» ОАО «СУЭК-Кузбасс» фактический ресурс до первого капитального ремонта планетарно-конических редукторов РПК120 скребковых конвейеров «Анжера-42» составляет 7...8 месяцев при фактической наработке около 2 млн. тонн. Редукторы РПК80 конвейеров «Анжера-34» имеют более длительный межремонтный период – 10...11 месяцев [38].

Основной причиной отказов редукторов РПК120 и РПК80 является разрыв сепаратора и разрушение подшипников качения конической вал-шестерни (рисунок 2.5). При дефектовке редукторов в процессе капитального ремонта бракуются 100 % подшипников, что обусловлено деформацией их корпусов, разрушением тел качения, образованием выработок на кольцах и коррозией.

Другой распространенной причиной отказов редукторов является усталостная поломка болтов, крепящих подшипниковую крышку редуктора со стороны быстроходной вал-шестерни. Под действием значительных ударных нагрузок детали, закрепленные болтами, также деформируются, чему способствуют также вибрации и завышенные зазоры, установленные при некачественной сборке.

В работе [38] отмечается, что основной причиной достижения редуктором ЗСК предельных состояний являются дефекты в сопряжении быстроходного конического вал-шестерни и корпуса. Предполагается, что

разрушения данного вида связаны с особенностями конструкции гидромуфты, которая не компенсирует несоосность валов редуктора и двигателя ЗСК.

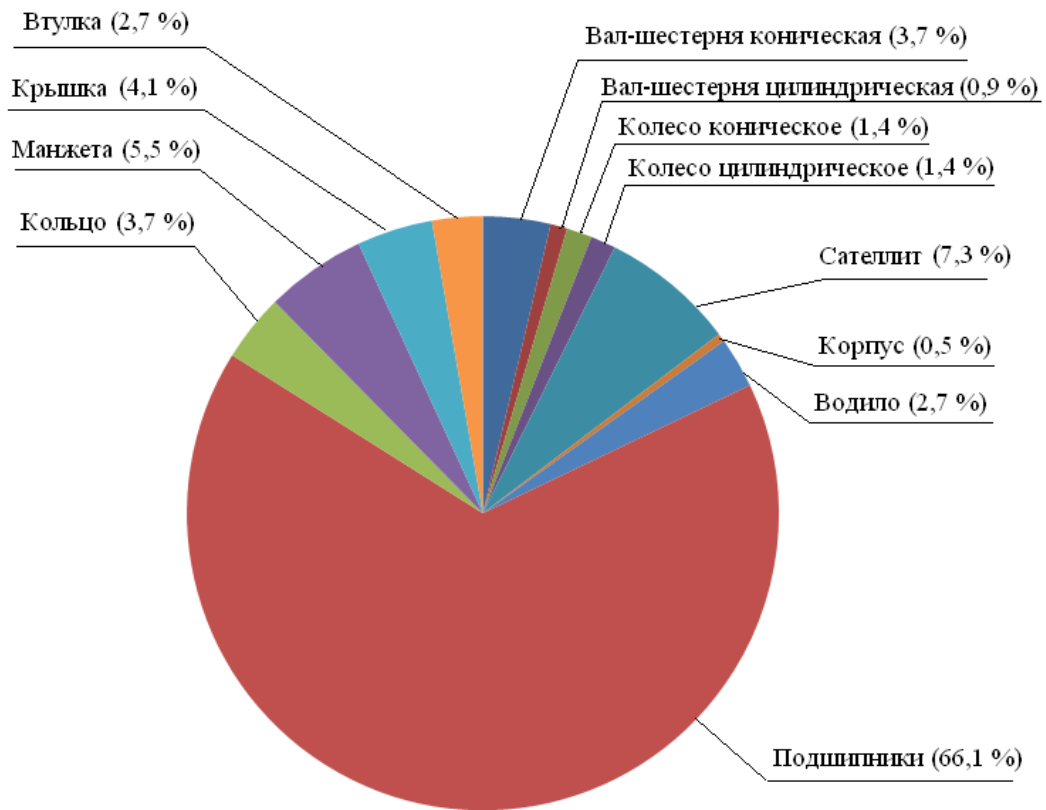


Рисунок 2.5 – Причины отказов редукторов РПК120 и РПК80 по данным специалистов сервисных служб шахты «Комсомолец» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Интенсивный износ секций рештачного става ЗСК обусловлен абразивным воздействием перемещаемой угольной массы и движущегося тягового органа, действием изгибающих нагрузок при передвижке конвейера и преодолении неровностей почвы пласта и т.д. Исследования по повышению износостойкости рештачных секций ЗСК сводятся, в основном, к обоснованию и выбору износостойких материалов (использование сталей, легированных марганцем) и разработке технологических процессов (термообработка, наплавка, нанесение покрытий), обеспечивающих повышение ресурса узлов. Повсеместно осуществляется переход на

применение литых боковин секций става скребковых конвейеров, что повышает ресурс респашного става ЗСК до 3 раз [39].

Анализ литературы, посвященный вопросам эксплуатации, ремонта и развития ЗСК ОМК показывает, что на сегодняшний день в отечественном горном машиностроении ставятся задачи повышения надежности электродвигателей, подшипников, уплотнительных элементов, внедрения новых конструкционных материалов, повышения качества смазки и совершенствования технологии сборки узлов ЗСК. Однако практически не рассматриваются вопросы улучшения функциональности и адаптивности конвейера к сложным горно-геологическим условиям работы.

2.5 Выводы по главе 2

1. Процесс функционирования ЗСК ОМК, по характеру влияния на него внешних и внутренних факторов, является комплексным, содержащим как детерминированные, так и вероятностные составляющие. Исследуемый процесс является многофакторным по количеству существенно влияющих на него внешних и внутренних факторов, и наличием значительного объема исходных данных по горно-геологическим, техническим и технологическим условиям.

2. Обоснованы методологические основы оценки устойчивости функционирования ОМК к изменяющимся по мере отработки угольных пластов условиям эксплуатации.

3. Выбраны и обоснованы функциональные критерии качества ЗСК, характеризующие уровень эксплуатационного использования, ремонтпригодности или долговечности забойных конвейеров.

4. Предложена методология оценки устойчивости функционирования ЗСК ОМК в изменяющихся горно-геологических и технологических условиях эксплуатации.

5. Выполнен анализ данных по отказам узлов и деталей ЗСК ОМК. Показано, что в настоящее время в отечественном горном машиностроении ставятся задачи повышения надежности электродвигателей, подшипников,

уплотнительных элементов, внедрения новых конструкционных материалов, повышения качества смазки и совершенствования технологии сборки узлов ЗСК. Однако, недостаточно внимания уделяется вопросам улучшения функциональности и адаптивности ЗСК в сложных горно-геологических и технологических условиях эксплуатации.

ГЛАВА 3 ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И КОНСТРУКЦИИ ЗАБОЙНОГО ЗАРУБНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА ОЧИСТНОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА АДАПТИВНОГО К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

3.1 Структурообразование забойных скребковых конвейеров

Для удобства разработки и анализа функциональной и элементарной структуры ЗСК, как и других горных машин, целесообразно использование структурных формул, отображающих функциональные элементы и их связи в конструкции конвейера. Необходимо учитывать, что кинематические и динамические свойства машин непрерывного транспорта зависят, главным образом, от физических явлений, происходящих во время работы по перемещению груза, а эти явления, в свою очередь, определяются условиями работы транспортирующей машины.

В состав ЗСК входят следующие функциональные элементы, определяющие их структуру:

- 1) рештачный став (Р) – грузовмещающая ёмкость, по которой (и относительно которой) транспортируется груз;
- 2) скребки (С), которыми транспортируется груз;
- 3) тяговая цепь (Ц) – силовой элемент, при помощи которого преодолеваются сопротивления транспортированию груза;
- 4) направляющие (Н), служащие для поддержания траектории скребков и тяговой цепи при изгибании рештачного става конвейера;
- 5) привод (П), обеспечивающий преодоление сопротивлений транспортированию груза;
- 6) зачистной элемент (З), обеспечивающий удаление штыба и зачистку почвы выработки для подвигания конвейера к груди забоя. К данным функциональным элементам относятся, например, зачистные лемехи и режуще-транспортирующие цепи скребковых конвейеров.

Из приведённых буквенных обозначений – символов функциональных элементов, можно составить структурную формулу любого ЗСК. При этом необходимо установить обозначение соответствующих видов связей, указывающих на способы сочетания функциональных элементов (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Символы сочетания структурных элементов скребковых конвейеров

Виды связи функциональных элементов	Условные обозначения
Кинематическая связь (сочленения) функциональных элементов	+
Конструктивная связь (совмещение) функциональных элементов	×
Разделение рабочей и порожней ветвей	
Непосредственная связь привода с другими функциональными элементами	[]

Пользуясь приведенными обозначениями, общую структурную формулу скребкового конвейера без привода при горизонтальном расположении рабочей и порожней ветвей можно записать выражением (3.1)

$$3+P \times H + Ц + С | P \times H + Ц + С . \quad (3.1)$$

Структурная формула скребкового конвейера без привода с вертикальным расположением рабочей и порожней ветвей определяется выражением (3.2)

$$3 + \frac{P \times H + Ц + С}{P \times H + Ц + С} . \quad (3.2)$$

Эти формулы являются базовыми структурными формулами скребковых конвейеров, так как они содержат все (кроме привода) явно выраженные функциональные элементы [107].

Для придания определенности структурным формулам символы функциональных элементов снабжают индексами. Так, например, структура одноцепного забойного скребкового конвейера КСП-3 (рисунок 3.1) с тяговой

цепью, замкнутой в горизонтальной плоскости, консольным расположением скребков, двумя концевыми приводами и закрытой конструкцией рештачного става на порожней ветви определяется формулой (3.3)

$$P \times H + [Ц + П_k] + C_{кc} \sqrt{P \times H + [Ц + П_k] + C_{кc}}, \quad (3.3)$$

где $П_k$ – концевой привод;

$C_{кc}$ – консольный скребок.

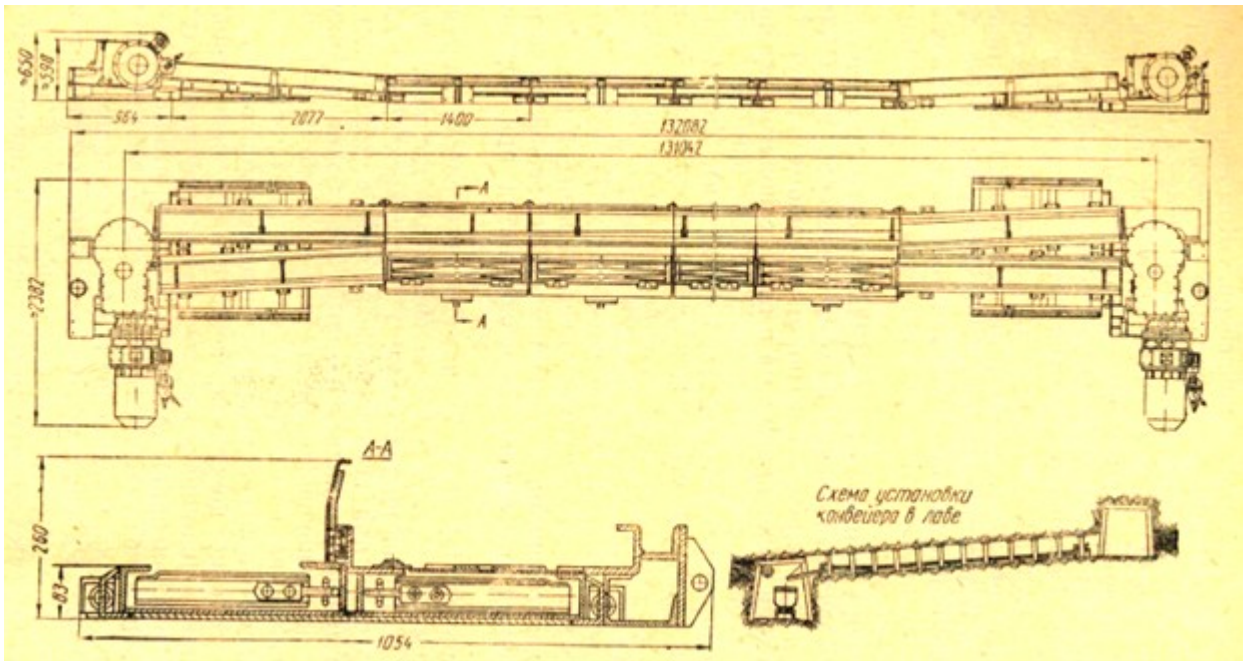


Рисунок 3.1 – Скребокый конвейер КСП-3 [91]

Систематизация и анализ скребокых конвейеров по структурному составу и конструкции функциональных элементов позволяет искать неявные пути совершенствования данных транспортирующих машин, повышения их адаптивности и эффективности использования в сложных горно-геологических условиях. Одним из перспективных направлений совершенствования ЗСК является придание дополнительных функций составляющим их элементам [8, 17, 40, 43].

3.2 Требования, предъявляемые к функциональным элементам забойных скребковых конвейеров, адаптивных к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям

На выбор рациональной структуры и типа конвейера влияют следующие факторы.

1. Характеристика транспортируемого груза. Подробный анализ физико-механических свойств подлежащего перемещению груза может значительно сузить перечень возможных к применению типов конвейеров. При учёте этого фактора необходимо принимать во внимание размеры частиц груза, требования его сохранности и надёжности работы машины.

2. Требуемая производительность. Каждый тип конвейера имеет свои пределы оптимальных скоростей и производительности. При заданной производительности с увеличением скорости, соответственно, уменьшается количество груза на единице длины конвейера, и проектируемая машина получается более компактной.

3. Длина и конфигурация трассы транспортирования груза. Каждый тип конвейера имеет разные оптимально возможные длины и может быть адаптирован к определенным диапазонам параметров, характеризующих изменение конфигурации трассы. Необходимо выбрать такую структуру и тип конвейера, которые обеспечивали бы возможность транспортирования горной массы единым составом при отсутствии (или минимальном числе) промежуточных перегрузок.

4. Способы загрузки и разгрузки горной массы. Целесообразно применять конвейеры с самозагрузкой и саморазгрузкой и максимально возможной автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций без дополнительного ручного труда.

5. Характеристика производственных процессов, выполняемых с перемещением грузов-изделий. Выбранный тип конвейера должен обеспечивать надежное совмещение транспортных и технологических операций в заданных условиях.

6. Горно-геологические условия: мощность пласта, гипсометрия, плотность пород, отжим [91, 102, 104].

Современные ЗСК используются не только для выполнения своих основных функций – доставки угля и горной массы из лавы и обеспечения кинематической связи со структурными элементами ОМК. Структура и конструкция типовых (традиционных) ЗСК должны обеспечивать возможность эффективной реализации ряда вспомогательных функций (рисунок 3.2), таких как управление положением выемочной машины, регулирование скорости и натяжения тяговой цепи и т.д.

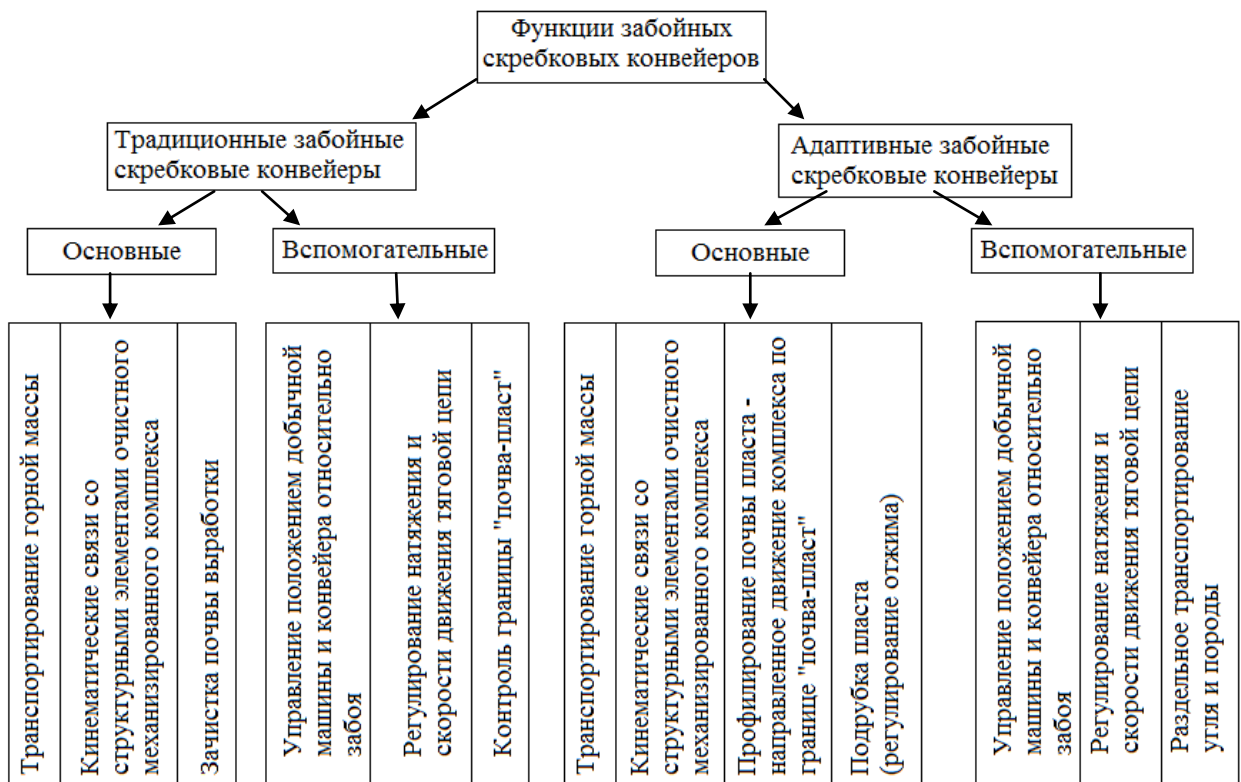


Рисунок 3.2 – Функциональные особенности традиционных и адаптивных ЗСК

Перспективные конструкции адаптивных ЗСК должны разрабатываться с учётом возможности выполнения большего количества как основных, так и вспомогательных функций. Указанное способствует повышению

эффективности использования ОМК при работе в сложных горно-геологических условиях.

ЗСК, обеспечивающий выполнение профилирования почвы, а также обеспечение подрубки пласта с целью интенсификации процесса отжима угля при добыче ОМК, назовём зарубежным забойным скребковым конвейером (ЗЗСК) и будем использовать это наименование в дальнейшем.

Общие требования, предъявляемые к типовым (традиционным) конструкциям ЗСК ОМК для добычи угля изложены в [19, 82, 94, 95, 107], а также приведены в п. 1.3.2 и 1.5 настоящего исследования. Проанализируем технические требования к отдельным функциональным ЗСК, выполнение которых обусловит повышение адаптивности данных машин к эксплуатации в сложных горно-геологических условиях.

К приводам скребковых конвейеров, работающих в сложных условиях, предъявляют требования:

- минимальных габаритов по длине, ширине и высоте;
- малой инерционности при стопорении (заклинивании) цепи;
- наличия предохранительных устройств при обрыве цепи;
- возможности изменения частоты вращения звездочки.

Выполнение данных требований может быть осуществлено средствами автоматизированных систем управления. Указанные вопросы выходят за рамки настоящего исследования и в дальнейшем рассматриваться не будут.

К тяговой цепи адаптивного скребкового конвейера предъявляют требования:

- пониженного сопротивления при перемещении по ставу;
- возможности изменения шага скребков;
- достаточной устойчивости скребков при движении;
- достаточной изгибаемости в горизонтальной плоскости для работы на криволинейных участках.

Данным требованиям наиболее полно соответствуют одно- и двухцепные тяговые органы с центральным расположением, выполненные из круглозвенных цепей.

Конвейер с двумя цепями в центре става целесообразно использовать на тонких пластах, где особенно важным является снижение высоты погрузки и уменьшение времени устранения отказов при порыве цепи, так как наличие второй цепи позволяет вывести участок порыва в зону, наиболее удобную для проведения ремонтных работ.

Конвейеры с цепями, размещенными в центре става, характеризуются повышенной изгибаемостью в горизонтальной плоскости. Вынесение цепей из направляющих позволяет уменьшить их износ.

Рештачный став ЗСК, помимо транспортных функций, обеспечивает кинематические и присоединительные связи с добычным комбайном и механизированной крепью. Став подвергается действию нагрузок от тягового органа механизированной крепи непосредственно, либо через навесное оборудование, а также от опор и узлов механизма подачи добычного комбайна. Поэтому, для повышения надежности рештачного става конвейера должны быть учтены все нагрузки, действующие на него.

К рештачному ставу адаптивного ЗСК предъявляются следующие требования:

- достаточная изгибаемость в горизонтальной и вертикальной плоскости;
- малая высота погрузки;
- возможность обеспечения изменения положения добычной машины относительно забоя;
- возможность организации отдельного транспортирования угля и пустой породы, а также вспомогательных грузов, необходимых для работы ОМК в лаве;
- надежное разобщение грузопотоков при организации отдельного транспортирования угля, пустой породы и вспомогательных грузов.

Наибольшее соответствие указанным требованиям обеспечивается при использовании рештачного става конвейера со скребковой цепью замкнутой в горизонтальной плоскости. Известно, что разобщение грузопотоков на таких конвейерах возможно осуществлять посредством горизонтально установленных металлических щитов, которые, в зависимости от условий работы, возможно размещать как над рабочей, так и над холостой ветвью конвейера [91, 94, 107].

Рештачный став конвейера со скребковой цепью замкнутой в горизонтальной плоскости характеризуется малой высотой, что обуславливает его высокую изгибаемость и возможность регулирования положения рештачных секций относительно почвы лавы. В изменяющихся горно-геологических и технологических условиях функционирования ОМК указанное свойство обеспечивает расширение диапазонов регулирования и оперативное изменение положения добычной машины относительно забоя, повышение эксплуатационной производительности и устойчивости работы комплекса в целом.

Направляющие обеспечивают устойчивое движение скребков, тяговой цепи и перемещаемого груза по рештачному ставу конвейера на криволинейных участках лавы при изгибании става, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. К направляющим адаптивного ЗСК предъявляют следующие требования:

- обеспечение минимального сопротивления движению скребков, тяговой цепи и перемещаемого груза, хорошие демпфирующие свойства;
- обеспечение перемещения скребков и тяговой цепи вдоль рештачного става без заклинивания и перекоса скребков;
- отсутствие заштыбовки частицами горной массы при работе, возможность свободного выхода кусков угля и породы из зоны направляющих;

- надежное соединение, плавное сопряжение стыков и сохранение целостности по всей длине рештачного става, в том числе, на криволинейных участках.

Указанным требованиям наиболее полно соответствуют линейные направляющие скольжения, выполненные в виде опорной балки с ограничителем цилиндрического сечения в головной части. Для исключения перекоса и заклинивания скребков направляющие должны быть размещены максимально близко к тяговой цепи. При использовании двухцепных тяговых органов предпочтительным является размещение направляющих между цепями.

К скребкам адаптивных ЗСК предъявляют требования:

- пониженного сопротивления при движении по ставу;
- достаточной устойчивости при движении;
- возможности простого и надежного монтажа и обеспечения изменения шага крепления на тяговой цепи;
- минимальное измельчение угля при транспортировании.

Указанным требованиям соответствуют скребки одноцепного конвейера с центральным креплением к тяговой цепи.

В типовых (традиционных) конструкциях ЗСК элемент, выполняющий зачистку почвы перед конвейером, изготавливается в виде лемеха. В ряде случаев горизонтальная полка лемеха выполняет функцию опоры для лыжи комбайна.

Существуют различные конструкции лемехов, однако, вследствие образования ядра уплотнения, неподвижка лемеха до забоя составляет до 0,2 м. Отсюда следует одно из основных требований к конструкции зачистного элемента адаптивного ЗСК: создание такой конструкции, которая обеспечивала бы эффективное профилирование почвы лавы и устойчивое поддержание направления движения конвейера и комплекса в целом, позволяла бы максимально придвинуть конвейер к забою. Зачистной элемент

должен подрубить, оконтуривать угольный пласт, интенсифицируя тем самым процесс отжима угля в зоне работы добычной машины.

Использование лемеха, оказывающего статическое воздействие на разрушаемый пласт, в качестве зарубежного устройства не рационально, так как потребует создания больших напорных усилий и обусловит возникновение существенных трудностей при поддержании заданной траектории движения става конвейера. В указанном случае, наиболее рациональным является использование в качестве зачистных (и зарубежных) элементов кольцевых режуще-транспортирующих цепей или скребков, оснащенных резцами.

Выполнение вышеуказанных требований к конструкции элементов ЗЗСК обеспечит повышение его технологичности и эффективности использования в сложных горно-геологических условиях при отработке балансовых и забалансовых запасов.

3.3 Анализ перспективных конструкций забойных скребковых конвейеров адаптивных к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям

С целью определения основных тенденций процесса совершенствования конструкций и повышения адаптивности ЗСК к сложным горно-геологическим условиям функционирования, выполним анализ перспективных технических решений, направленных на улучшение эксплуатационных свойств данных транспортирующих машин. Исходные данные для требуемого анализа приведены в справочной и научно-технической литературе [44, 45, 53, 91, 99, 102, 107], а также патентах [59–78].

В работах [37, 53, 69] приведены конструкции конвейеров с закрытым желобом и погруженным рабочим органом. Преимуществами данных конвейеров являются высокая производительность при относительно небольшом сечении желоба (короба) и небольшой ширине рабочего органа, относительно малые удельные затраты энергии на транспортирование,

надежность, бесшумность в работе, значительные углы (вплоть до 90°) наклона желоба (рисунок 3.3).

Недостатком данного типа конвейеров является невозможность загрузки угля и горной массы по всей длине желоба, что необходимо при работе ЗСК. Тем не менее, технические решения, разработанные при создании конвейеров с погруженным рабочим органом, могут быть использованы при проектировании отдельных секций (в первую очередь, концевых и угловых) ЗСК [53].

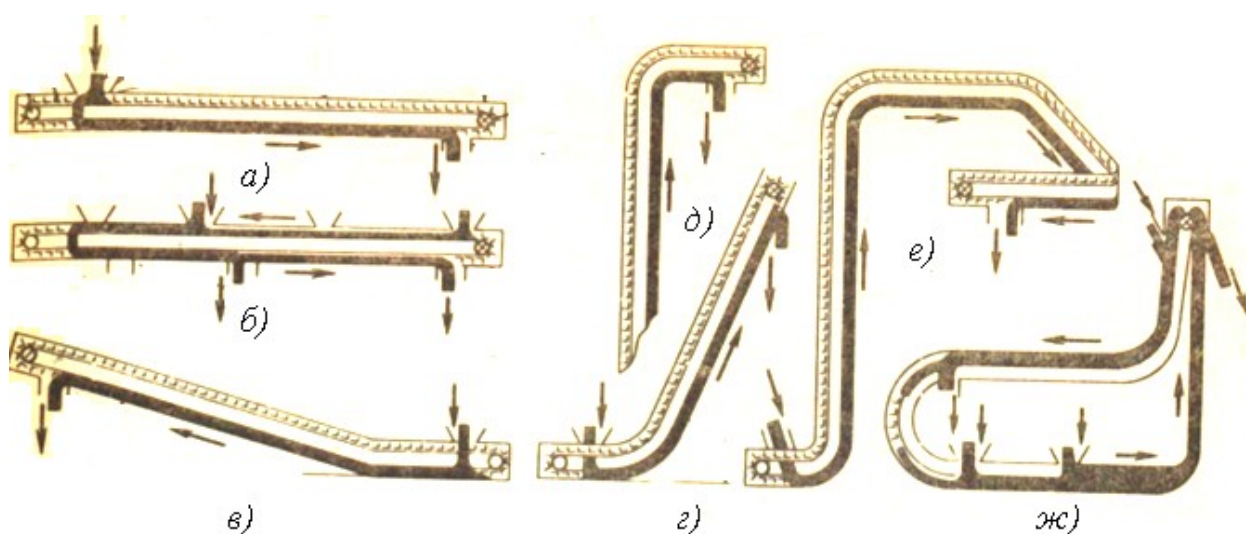


Рисунок 3.3 – Схемы скребковых конвейеров с погруженным рабочим органом: *a, б* – горизонтальные; *в, г* – наклонные; *д, е* – вертикальные; *ж* – циркуляционная [53]

Значительное число разработок посвящено повышению адаптивности решетчатых ставов скребковых конвейеров к изменению угла наклона горных выработок при искривлении става конвейера как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. В [61, 65, 68, 73, 74, 75] приведены варианты решетчатых секций изгибающихся конвейеров и замков для их соединения. Как правило, реализация данных технических решений обеспечивает отклонение последовательно соединенных секций решетки в горизонтальной плоскости на угол $10...15^\circ$ и в вертикальной плоскости на угол до 5°

(рисунок 3.4). Наличие в конструкции скребкового конвейера угловой секции обеспечивает возможность транспортировки горной массы на криволинейных участках с углами поворота в горизонтальной плоскости до 90° [71, 76, 78].

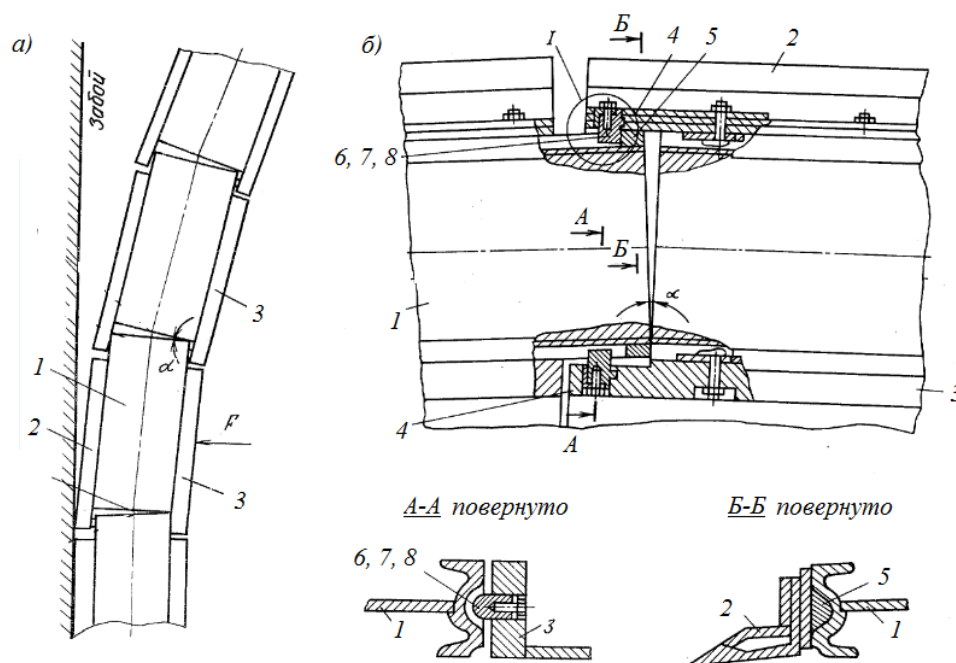


Рисунок 3.4 – Рештачный став изгибающегося скребкового конвейера:

- a* – общий вид; *б* – соединение секций рештака; *1* – секция рештака;
2, 3 – забойное и завальное навесное оборудование, соответственно;
4 – консоль; *5* – упоры; *6* – ограничители угла поворота; *7* – накладка;
8 – фиксирующий болт [65]

Следует, однако, отметить, что рештачный став, состоящий из секций с замками, обеспечивающими его подвижность, зачастую не обладает поперечной устойчивостью, достаточной для стабильной работы ОМК. Под действием продольных сжимающих нагрузок, создаваемых тяговыми цепями и собственным весом, рештачный став «шалашируется», изламывается на стыках рештачных секций, образуя «гармошку». На устранение такого явления тратится значительное количество времени, так как для этого необходимо «разжать» (растянуть) по длине весь конвейерный став. Кроме того, «шалаширование» става конвейера – явление опасное для

горнорабочих. Для устранения данного явления в выработках с большими углами наклона отдельными авторами предлагается использовать конвейеры, оснащенные рештачными ставами повышенной жесткости [77], что является малоэффективным решением при работе в сложных горно-геологических условиях.

Параллельное соединение секций рештачного става, а также монтаж забойного и завального навесного оборудования, осуществляется, как правило, жестко, либо посредством замковых соединений весьма ограниченной подвижности [72]. Указанное обуславливает возникновение трудностей при профилировании почвы лавы.

Конвейеры с горизонтально замкнутой тяговой цепью и шарнирным креплением консольных скребков описаны в [45, 59, 60, 66, 67, 71]. Данные конвейеры характеризуются малой высотой погрузки, что положительно сказывается на их эксплуатационных свойствах. Указанные конвейеры могут быть укомплектованы угловыми секциями, что позволяет трансформировать их в угловые конвейеры [67]. Вследствие складывания скребков, приводные звездочки и направляющие блоки конвейеров взаимодействуют непосредственно с тяговыми цепями (рисунок 3.5), что упрощает конструкцию приводов и обеспечивает надежную передачу тягового усилия от звездочек к цепям.

В то же время, наличие направляющих и шарниров для складывания скребков усложняет конструкцию конвейера и снижает надежность его работы по сравнению с конвейерами с жестко закрепленными скребками. Зачастую, складывание скребков обуславливает увеличение высоты рештачного става (см. рисунок 3.2), что не позволяет использовать указанные конвейеры при разработке тонких угольных пластов [94, 95]. Консольное крепление скребков обуславливает неустойчивость их положения при транспортировании горной массы по рештачному ставу конвейера.

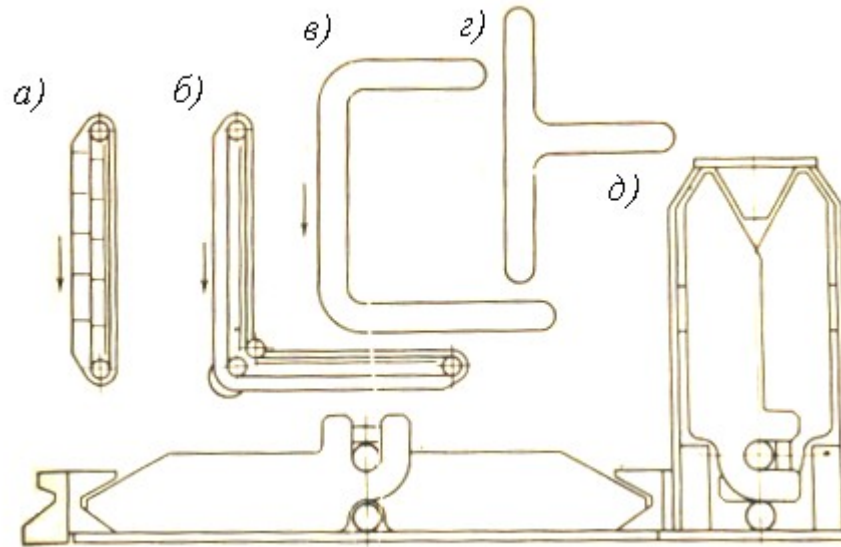


Рисунок 3.5 – Скребокый конвейер с шарнирным закреплением складывающегося скребка:

а–г – схемы конвейера; *д* – сечение средней части става [45]

Известны технические решения, обеспечивающие взаимодействие тяговых цепей и приводных звездочек конвейеров с горизонтально замкнутыми цепями без складывания скребков [62, 63, 70]. Например, ЗСК, описанный в [62], характеризуется наличием подвижного соединения скребков и тяговой цепи (рисунок 3.6). Каждый скребок *б* посредством съемной полувтулки *в*, зафиксирован на наружной, по отношению к продольной оси *5* конвейера части звена *4*, с возможностью поворота скребка относительно него. Рештачный став *7*, в зонах примыкания к приводной *1* и концевой *2* звездочкам выполнен с криволинейными переходными участками, с переходом от плоского горизонтального к плоскому вертикальному расположению непосредственно перед звездочками.

Расположение тяговой цепи *3* в центре рештачного става обеспечивает удовлетворительную устойчивость скребков *б* при транспортировании горной массы. Поворот скребков *б* при движении по криволинейным переходным участкам рештака обуславливает надежную передачу тягового

усилия от приводной звездочки 1 на тяговую цепь 3 без контакта со скребками 6 при переходе с рабочей ветви 8 на холостую ветвь 7 .

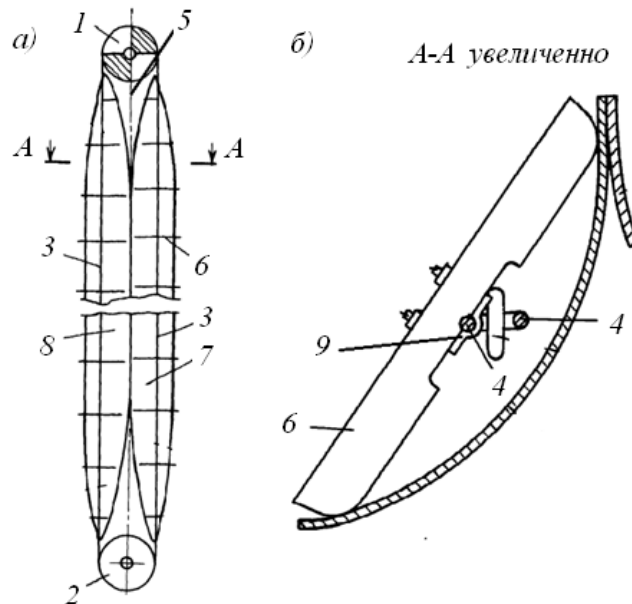


Рисунок 3.6 – Одноцепной скребковый конвейер с горизонтально замкнутой тяговой цепью и креплением скребков с возможностью поворота:
a – принципиальная схема конвейера; *б* – криволинейные переходные участки рештака для разворота скребков [62]

Аналогичное техническое решение описано в [63] для двухцепного скребкового конвейера (рисунок 3.7). Рештачный став конвейера, как и в вышеописанном устройстве, выполнен с криволинейными переходными участками 8 в зонах примыкания к приводной 1 и концевой 2 звездочкам, с переходом от плоского горизонтального к плоскому вертикальному расположению скребков 5 непосредственно перед звездочками. На криволинейных переходных участках 8 рештачного става закреплены направляющие 9 , обеспечивающие движение тяговых цепей 3 и 4 по заданной траектории и надежный разворот тягового органа из горизонтальной в вертикальную плоскость и обратно.

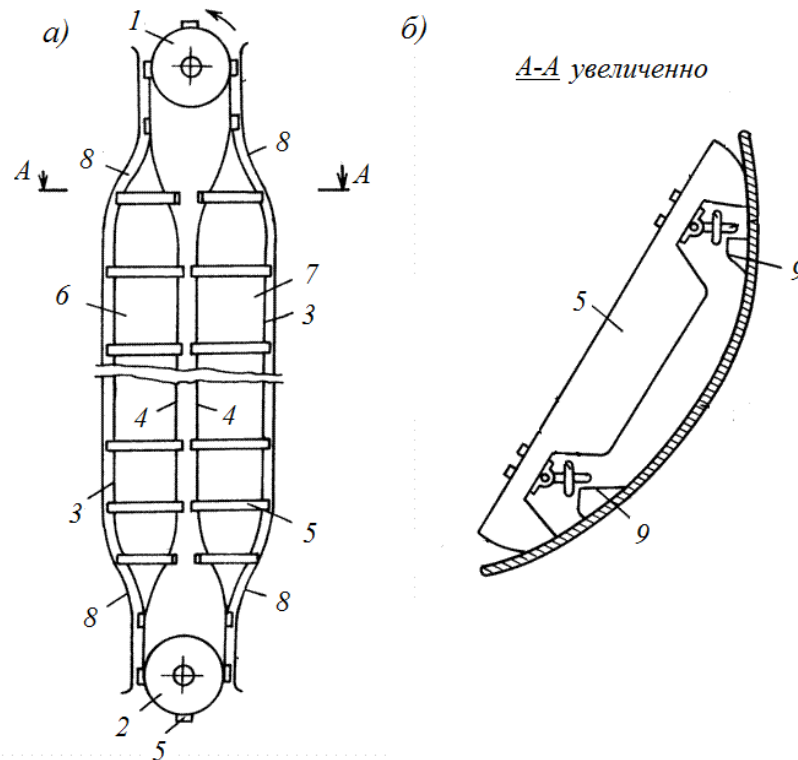


Рисунок 3.7 – Двухцепной скребковый конвейер с горизонтально замкнутым тяговым органом и креплением скребков с возможностью поворота:
a – принципиальная схема конвейера; *б* – криволинейные переходные участки рештака для разворота скребков:

- 1* – приводная звездочка; *2* – концевая звездочка; *3* и *4* – тяговые цепи;
5 – скребки; *6* и *7* – забойная и завальная стороны рештачного става, соответственно; *8* – криволинейные переходные участки рештака;
9 – направляющие тяговых цепей [63]

Анализ типовых и перспективных конструкций позволяет определить их общие недостатки, обуславливающие снижение эффективности использования ЗСК в сложных горно-геологических условиях функционирования:

- неуравновешенность и неудовлетворительная устойчивость скребков при их консольном соединении с тяговой цепью;
- низкая надежность конструкций и соединений складывающихся скребков;

- сложность регулирования линейных секций рештачного става по границе «почва-пласт» (рисунок 3.2);
- не приспособленность для отдельного транспортирования угля и горной породы при проведении селективной выемки или переходе геологических нарушений;
- низкая эффективность устройств для зачистки почвы лавы (неподвижка конвейера до груди забоя до 0,2 м).

Устранение указанных недостатков обуславливает необходимость разработки технических решений, направленных на совершенствование структуры и конструкций ЗСК, эксплуатирующихся в сложных горно-геологических условиях.

3.4 Обоснование рациональной структуры и конструкции забойного зарубного скребкового конвейера адаптивного к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям

3.4.1 Обоснование рациональной структуры забойного зарубного скребкового конвейера

На основе обобщения данных, изложенных выше, предложена общая структурная формула (без привода) забойного зарубного скребкового конвейера (ЗЗСК), адаптивного к сложным горно-геологическим условиям функционирования, определяемая выражением (3.4)

$$\begin{cases} \overline{3 \times C + Ц + Ц + P \times H | ГД | \overline{P \times H + Ц + Ц + C \times 3}}; \\ \overline{3 \times C + Ц + Ц + P \times H | ГД | P \times H + Ц + Ц + C \times 3}, \end{cases} \quad (3.4)$$

где ГД – гидродомкрат, обеспечивающий изменение положения рештаков забойной стороны конвейера относительно рештаков, расположенных с завальной стороны.

Функциональное совмещение зачистных элементов и скребков обеспечивается посредством установки на скребки со стороны забоя резцы.

Таким образом, при подаче конвейера на забой, перемещающиеся вместе со скребками резцы осуществляют профилирование почвы выработки и формирование зарубной щели, интенсифицируя таким образом процессы отжима в призабойной зоне угольного пласта. Указанное положительно сказывается на устойчивости работы ОМК в сложных горно-геологических условиях и определяет снижение удельных затрат энергии на разрушение угля в зоне интенсивного отжима.

Устойчивое положение скребков с установленными резцами обеспечивается использованием двухцепного тягового органа и линейных направляющих скольжения, выполненных в виде опорной балки.

Наличие в структуре предлагаемого ЗЗСК гидродомкратов расположенных между рештками забойной и завальной стороны, в сочетании с возможностью зарубки конвейера, обуславливает управление перемещением конвейера в вертикальной плоскости.

Разобщение решточных секций забойной и завальной стороны ЗЗСК обеспечивает возможность отдельного транспортирования угля и пустой породы при селективной разработке пластов или при переходе геологических нарушений, что позволяет предотвратить снижение качества и повышение зольности добываемого угля [43].

Конструкция ЗЗСК, соответствующая структурной формуле (3.4) представлена на рисунке 3.8.

ЗЗСК включает завальные решточные секции 2, опирающиеся на основания секции крепи 1, и опорный лист 3, который крепится к опорной стойке 4 завальной решточной секции 2. Опорный рычаг 6 забойной решточной секции 8 крепится шарнирно к основанию опорной стойки 4 завальной решточной секции 2. Посредством опорной цапфы 7 и гидродомкрата 5 осуществляется регулирование положения забойной решточной секции 8 по почве пласта. Перемещение скребков 9, оснащенных резцами 13, осуществляется по опорной направляющей 11 посредством

тяговых цепей, закрепленных к скользящим кареткам 12. На каждом скребке 9 устанавливается по одному резцу 13.

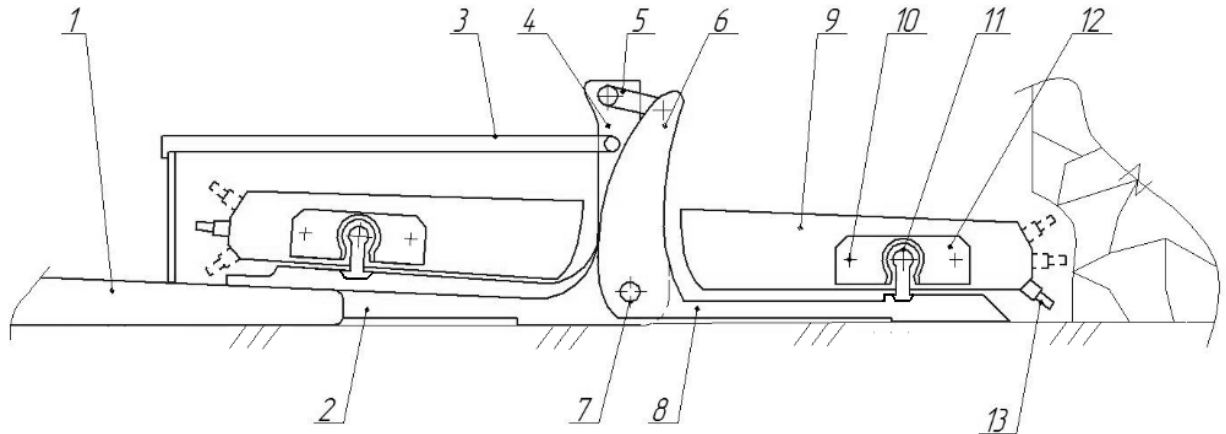


Рисунок 3.8 – Схема зарубного забойного скребкового конвейера, адаптивного к изменяющимся горно-геологическим и технологическим условиям функционирования [64]

Предлагаемый ЗЗСК работает следующим образом. Скребки 9 с установленными резцами 13 и тяговой цепью 10 выполняют функции транспортирования горной массы, зачистки, выравнивания почвы пласта и подрубки забоя. Регулирование забойных рештачных секций 8 по почве пласта осуществляется посредством гидродомкратов 5, которые поворачивают рештачные секции 8 относительно завальных секций 2, что обуславливает заглубливание резцов 13 в почву пласта. Если резцы 13 углубятся больше, чем это требуется, то, подавая давление в штоковую полость гидродомкрата 5, рештачную секцию 8 можно приподнять или вернуть в исходное положение.

Транспортирование грузов в тележке и перемещение людей могут осуществляться по опорным листам 3, размещенными над завальными рештачными секциями 2. При переходе зон геологических нарушений и разрушении вмещающих пород, листы 3 помещают над забойными рештачными секциями 8. При этом разрушенная порода сгружается на

завальные секции 2, не смешивается с углём и транспортируется в противоположный конец лавы. Аналогично осуществляется разобщение грузопотоков при селективной разработке угольных пластов.

Уравновешивание скребков 9 забойной части конвейера обеспечивается размещением тяговых цепей 10 с двух сторон от линейной направляющей 11. В конструкции предлагаемого ЗЗСК используются линейные направляющие 11, кинематически связанные со скользящими каретками 12 скребков 9.

Для повышения устойчивости секции механизированной крепи и завальных рештачных секций 2 ЗЗСК нижнее опорное основание 1 секции крепи может подходить больше или меньше под корпус завальных рештачных секций става ЗЗСК.

Предложенные технические решения обеспечивают увеличение эффективности процессов добычи и транспортирования угля и повышение устойчивости работы ОМК при эксплуатации в сложных горно-геологических условиях.

На разработанную конструкцию ЗЗСК получен патент [64].

3.4.2 Обоснование конструктивных решений при разработке забойного зарубного скребкового конвейера

Расположение забойных и завальных рештачных секций ЗЗСК в одной плоскости обуславливает увеличение площади опорной базы конвейера и снижение давления на грунт, что уменьшает вероятность «зарывания» ОМК. Данная компоновка позволяет уменьшить высоту конвейера и увеличить подвижность секций става относительно друг друга.

ЗЗСК сопрягается с механизированной крепью через опорную балку (рисунок 3.9), что облегчает направление конвейера по границе почва-пласт. Опорная балка 2 выполняет функции става комплекса, обеспечивая поперечную устойчивость рештачных секций ЗЗСК, достаточную для

стабильной работы ОМК. При этом основания секций механизированной крепи частично располагается под завальными рештачными секциями ЗЗСК.

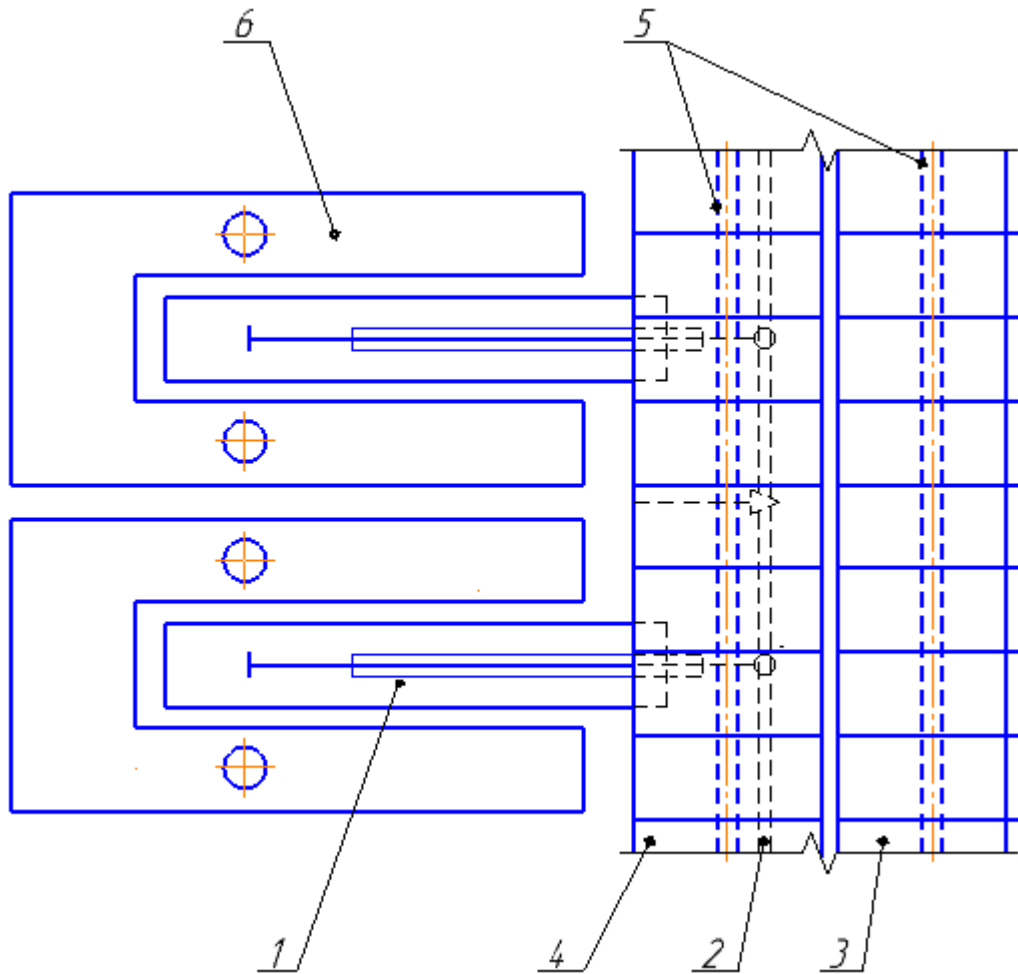


Рисунок 3.9 – Схема сопряжения ЗЗСК с механизированной крепью:

1 – направляющая балка секции крепи; 2 – опорная балка; 3 – забойные рештачные секции ЗЗСК; 4 – завальные рештачные секции ЗЗСК; 5 – тяговый орган ЗЗСК (сдвоенная цепь со скребками), замкнутый в горизонтальной плоскости; б – основание секции механизированной крепи

Анализ известных конструкций забойных скребковых конвейеров с горизонтально замкнутым тяговым органом показал, что выполнение завальных рештачных секций наиболее рационально с поперечным сечением в виде коробчатого профиля (рисунок 3.10, а).

Завальная рештачная секция предлагаемого ЗЗСК состоит из литых боковин 1 и днища 2, на котором жестко закреплен проставок 3 с пазами 4

для установки линейных направляющих скребков тягового органа ЗЗСК. С нижней стороны на днище 2 жестко устанавливается крепление 5 для сопряжения завальной секции рештачного става ЗЗСК с направляющей балкой секции механизированной крепи. Поскольку часть направляющей балки механизированной крепи располагается под завальным рештаком, крепления 5 с гидродомкратами передвижки секций сближены с опорными стойками, что минимизирует возможность деформации рештака ЗЗСК во время передвижки секции.

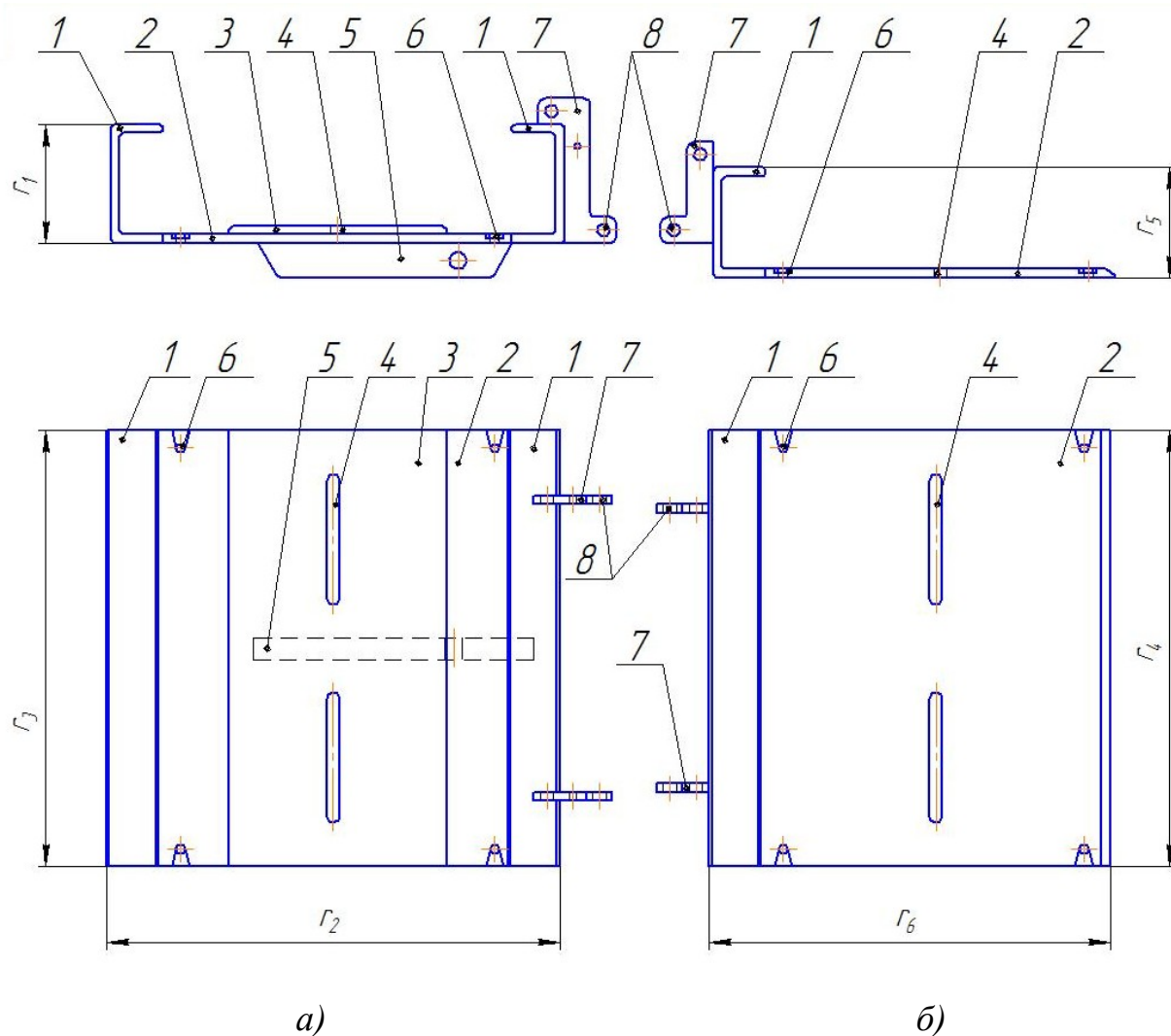


Рисунок 3.10 – Конструктивные схемы завальных (а) и забойных (б) рештачных секций ЗЗСК

В днище 2 предусмотрены пазы 6 для соединения завальных секций ЗЗСК между собой. Боковины 1 снабжены S-образными креплениями 7 для сопряжения с забойными секциями ЗЗСК.

Скребки ЗЗСК снабжены резцами, поэтому между скребком и днищем завальной рештачной секции посредством проставка 3 обеспечивается зазор для свободного прохода почвенных резцов. Такой же зазор предусмотрен для верхних (кровельных) резцов при их движении внутри завальных секций.

Таким образом, высота боковины 1 завальной рештачной секции конвейера определяется выражением (3.5)

$$r_1 = h_{\text{ск}} + 2l_{\text{п}} + 2s_{\text{ст}} + \Delta_{\text{к}}, \quad (3.5)$$

где r_1 – высота боковины завальной рештачной секции ЗЗСК, мм;

$h_{\text{ск}}$ – высота скребка, мм; $l_{\text{п}}$ – радиальный вылет почвенного резца, мм;

$s_{\text{ст}}$ – толщина стенки боковины завальной секции ЗЗСК, мм;

$\Delta_{\text{к}}$ – конструктивный зазор, $\Delta_{\text{к}} = 3 \dots 5$ мм.

Из формулы (3.5) следует, что высота щели, прорезаемой в массиве резцами ЗЗСК, рассчитывается по формуле (3.6)

$$H_{\text{р}} = h_{\text{ск}} + 2l_{\text{п}}. \quad (3.6)$$

Ширина завальной рештачной секции ЗЗСК рассчитывается по формуле (3.7)

$$r_2 = l_{\text{ск}} + 2s_{\text{ст}} + \Delta_{\text{к}}, \quad (3.7)$$

где r_2 – ширина завальной рештачной секции ЗЗСК, мм;

$l_{\text{ск}}$ – длина скребка ЗЗСК, мм.

Завальные и забойные рештачные секции ЗЗСК выполнены одинаковой длины (3.8)

$$r_3 = r_4 = s_{\text{м.к}}, \quad (3.8)$$

где r_3 и r_4 – длины завальной и забойной секций ЗЗСК соответственно, мм;

$s_{\text{м.к}}$ – ширина нижнего основания секции механизированной крепи.

Коробчатый профиль сечения завальных рештачных секций ЗЗСК обеспечивает устойчивое положение опорных листов и, как следствие,

позволяет безопасно перемещаться горнорабочим, надежно разобщать разнонаправленные грузопотоки.

Забойная рештчатая секция ЗЗСК имеет с-образный профиль сечения (рисунок 3.10, б) и состоит из литой боковины 1 и днища 2, соединенного с боковиной 1 сваркой. В днище 2 выполнены пазы 4 для установки линейных направляющих скребков тягового органа ЗЗСК, и пазы 6 для соединения забойных рештчатых секций между собой.

Забойные рештчатые секции ЗЗСК соединяются с завальными шарнирно через опорные цапфы 8 креплений 7. Верхние части креплений 7 кинематически связаны гидродомкратами, обеспечивающими регулирование положения забойных секций ЗЗСК по почве пласта. Высота боковины забойной рештчатой секции ЗЗСК рассчитывается по формуле (3.9)

$$r_5 = h_{\text{ск}} + l_{\text{п}} + s_{\text{ст}} + \Delta_{\text{к}}, \quad (3.9)$$

где r_5 – высота боковины забойной рештчатой секции ЗЗСК, мм.

Ширина забойной рештчатой секции ЗЗСК определяется выражением (3.10)

$$r_6 = l_{\text{ск}} + s_{\text{ст}} + \Delta_{\text{к}} - b_3 = (l_{\text{ск}} + s_{\text{ст}} + \Delta_{\text{к}}) - 2l, \quad (3.10)$$

где r_6 – ширина забойной рештчатой секции ЗЗСК, мм;

b_3 – величина зарубки скребков ЗЗСК в угольный пласт, мм;

l – радиальный вылет линейного резца ЗЗСК, мм.

Линейные направляющие ЗЗСК имеют профиль поперечного сечения в виде т-образной стойки (рисунок 3.11). Направляющие монтируются в пазы рештчатых секций ЗЗСК и соединяются сваркой.



Рисунок 3.11 – Конструктивная схема линейной направляющей рештчатой секции ЗЗСК

Между собой направляющие соединены замками в виде скоб, которые устанавливаются в пазы 1. Замки обеспечивают фиксацию направляющих друг относительно друга и устойчивое движение скребков на участках между решетчатыми секциями. Параметры направляющих определяются по результатам прочностных расчетов.

Скребки ЗЗСК выполнены составными (рисунок 3.12) и включают в себя пластину скребка 1 с отверстиями для крепления резцедержателей 2, а также скользящую каретку 3 с пазами 4 и 5 для линейной направляющей и тяговых цепей соответственно. Паз 4 линейной направляющей скользящей каретки 3 снабжен вставкой 6 из антифрикционного материала, например, латуни. Тяговые цепи 7 закреплены в пазах 5 посредством скоб 8.

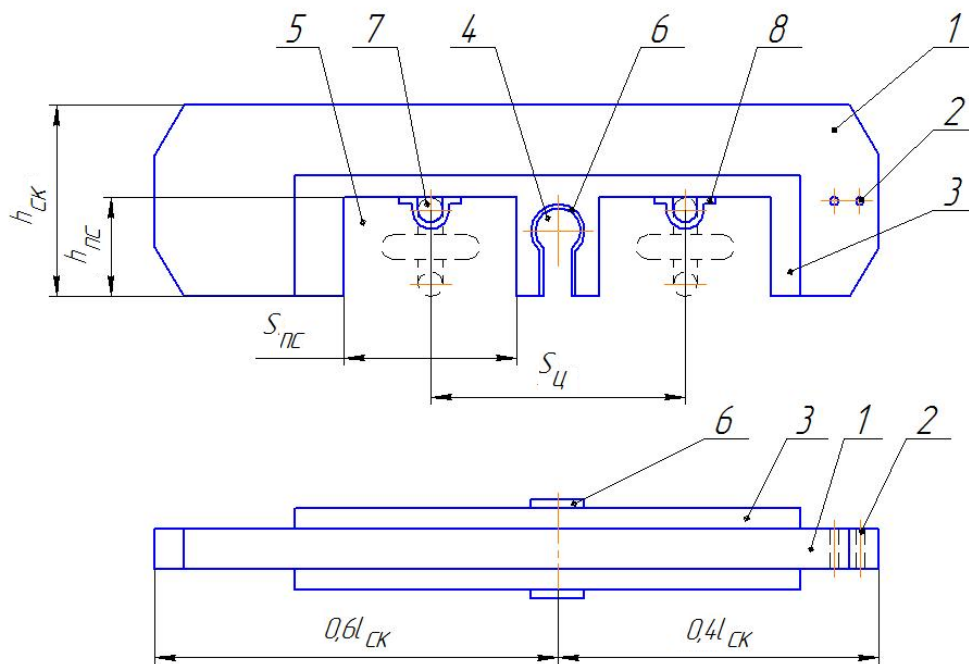


Рисунок 3.12 – Конструктивная схема скребка ЗЗСК

Пазы 5 имеют прямоугольную форму для обеспечения подвижности тяговых цепей при повороте скребка в вертикальное положение (см. рисунок 3.7, б). Ширина паза 5 определяется выражением (3.11)

$$s_{пс} = 2b_{ц} - d_{ц}, \quad (3.11)$$

где $s_{пс}$ – ширина паза для крепления тяговой цепи к скребку ЗЗСК, мм;

$b_{ц}$ – ширина звена тяговой цепи ЗЗСК, мм;

$d_{ц}$ – калибр тяговой цепи ЗЗСК, мм.

Высота паза 5 определяется шириной звена тяговой цепи ЗЗСК (3.12)

$$h_{пс} = b_{ц}, \quad (3.12)$$

где $h_{пс}$ – высота паза для крепления тяговой цепи к скребку ЗЗСК, мм

Расстояние между тяговыми цепями ЗЗСК определяется по формуле (3.13)

$$s_{ц} = 2(b_{ц} + s_{н}), \quad (3.13)$$

где $s_{ц}$ – расстояние между тяговыми цепями ЗЗСК, мм;

$s_{н}$ – ширина направляющей скребка ЗЗСК, мм.

С целью компенсации перекашивающего момента, действующего на скребок ЗЗСК при работе резцов, тяговые цепи крепятся к скребку со смещением, согласно схеме, приведенной на рисунке 3.12.

Эффективное разрушение угольного пласта резанием зависит от параметров резания, схемы расстановки резцов и параметров самих резцов.

В конструкциях стругов отечественного производства шаг резания изменяется от 70 до 90 мм, то есть при высоте щели, прорезаемой ЗЗСК, $H_p = 0,2 \dots 0,24$ м количество линий резания составит $m_p = 3 \dots 5$.

Резцы ЗЗСК, как и резцы стругов, и конвейеро-стругов, разделяются на две группы – линейные и почвенные.

Линейные резцы осуществляют отделение угля в одной плоскости от угольного забоя. Почвенные резцы отделяют уголь в двух плоскостях – от угольного забоя и почвы (кровли) и работают в наиболее тяжелых условиях, так как осуществляют разрушение угольного пласта и вмещающих пород блокированными резами. Почвенные резцы имеют две режущих кромки.

Как правило, применяют две схемы расположения почвенных резцов. Первая схема (рисунок 3.13, а) применяется при выемке пластов угля с малой абразивностью и сопротивляемостью резания $A_p < 100$ кН/м, предусматривает расположение почвенных резцов под углом $30 \dots 45^\circ$ относительно почвы. Применение данной схемы для разрушения крепких и абразивных углей

обуславливает интенсивный износ резцедержателей и державок почвенных резцов.

Схема с расположением почвенного резца перпендикулярно плоскости рештачного става ЗЗСК (рисунок 3.13, б) или с наклоном в забой не более 5° может быть применена при разрушении прочных углей, так как обеспечивает снижение интенсивности износа резцедержателей. При данной схеме почвенный резец совместно с надпочвенным резцом формируют у почвы обрабатываемого угольного пласта уступ, что обуславливает равномерную подачу конвейера к забою при передвижке рештачного става и определяет стабильность толщины стружки.

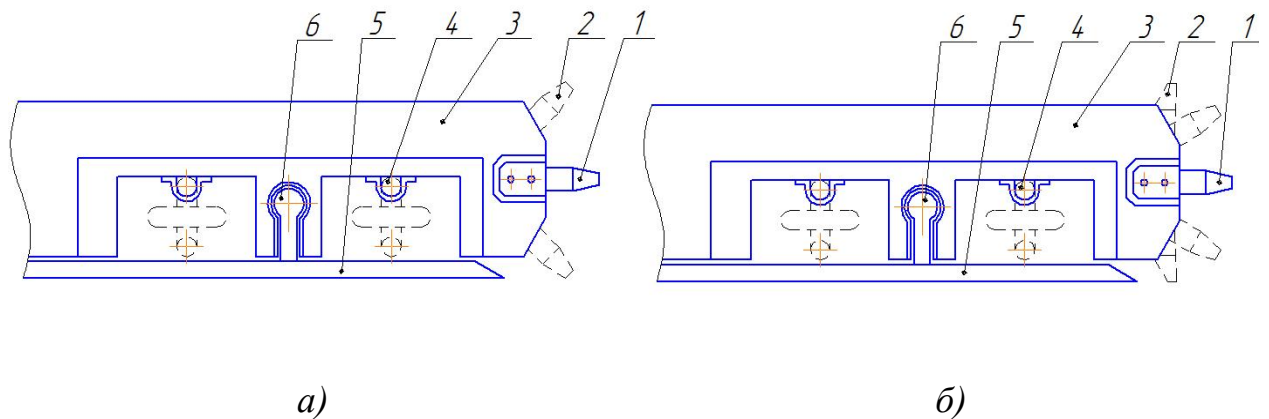


Рисунок 3.13 – Схема расположения резцов на скребках ЗЗСК:

- а* – с наклоном почвенных резцов; *б* – с перпендикулярным положением почвенных резцов; 1 – линейные резцы; 2 – почвенные резцы; 3 – скребок; 4 – тяговая цепь; 5 – днище забойной рештачной секции ЗЗСК; 6 – направляющая скребка

Перпендикулярное расположение почвенных (кровельных) резцов определяет компоновку резцов на тяговом органе ЗЗСК с реализацией пяти линий резания. С целью уменьшения толщины стружки, срезаемой почвенными резцами, установка на скребке почвенных и кровельных резцов осуществляется совместно. Таким образом, количество резцов в крайних линиях резания удваивается, что уменьшает их нагруженность.

Наклонное расположение резцов позволяет подрубать пласт с тремя линиями резания в проводимой щели. Однако такая схема резания может быть использована только при обработке пластов хрупких углей малой крепости.

3.5 Выводы по главе 3

1. Систематизация и анализ скребковых конвейеров по структурному составу и конструкции функциональных элементов позволяет искать неявные пути совершенствования данных транспортирующих машин, повышения их адаптивности и эффективности использования в изменяющихся горно-геологических и технологических условиях функционирования.

2. Конструкции адаптивных забойных скребковых конвейеров необходимо разрабатывать с учётом возможности выполнения как можно большего количества основных и вспомогательных функций. Перспективным направлением совершенствования забойных скребковых конвейеров является придание дополнительных функций составляющим их элементам.

3. При проектировании забойного зарубного скребкового конвейера рациональным является использование в качестве зачистных и зарубных элементов скребков, оснащенных резцами. Указанное обеспечивает эффективное профилирование почвы лавы, а также выполнение подрубки и оконтуривание угольного пласта, что интенсифицирует процесс отжима угля в зоне работы добычной машины.

4. Обоснована рациональная структура и предложена конструкция адаптивного зарубного забойного скребкового конвейера, обеспечивающего эффективное выполнение профилирования почвы выработки, интенсифицирование процессов отжима в призабойной зоне отрабатываемого угольного пласта и разобшение грузопотоков при селективной выемке угля и горной породы или переходе геологических нарушений.

ГЛАВА 4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ МАССЫ И ПОДРУБКИ ПЛАСТА ПРИ РАБОТЕ ЗАБОЙНОГО ЗАРУБНОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

4.1 Исходные данные

Условия и характер функционирования ЗЗСК определяются сложным комплексом взаимодействия горно-геологических и технологических условий работы, структурой конвейера и его конструктивными параметрами.

Исследование процесса транспортирования отделенной от массива угольной массы и подрубки пласта, определение производительности конвейера, усилий в тяговых цепях, расчет устойчивости и деформации скребков целесообразно осуществлять с использованием методов математического моделирования и при выполнении численного эксперимента (компьютерного моделирования) [2, 9, 32, 97].

Для проведения математического и компьютерного моделирования процессов транспортирования угольной массы и подрубки пласта ЗЗСК необходимо задать значения (диапазоны значений) следующих групп параметров:

- конструктивные параметры конвейера;
- свойства материалов, используемых в конструкции ЗЗСК;
- режимные параметры работы конвейера и ОМК;
- параметры, характеризующие горно-геологические условия;
- физико-механические свойства угольного пласта и транспортируемой угольной массы.

Численный эксперимент (компьютерное моделирование) реализован в программных пакетах *ANSYS Workbench* и *ROCKY DEM* с использованием метода конечных элементов.

Конструктивные параметры ЗЗСК принимаются, исходя из требований, приведенных в главе 3 настоящей работы, а также условий унификации производства с существующими аналогичными конструкциями забойных

конвейеров и совместной эксплуатации с серийно выпускаемыми добычными машинами и механизированными крепями ОМК (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Конструктивные и режимные параметры моделируемого ЗЗСК

Наименование параметра	Значение
Длина конвейера в поставке, м	200
Тяговый орган, тип	две центрально расположенные цепи
Калибр цепей, м	0,026×0,092
Масса 1 м круглозвенной цепи заданного калибра, кг	15,5
Расстояние между цепями, м	0,14
Параметры скребка (ширина × высота × толщина), м	0,9×0,2×0,05
Расстояние между скребками, м	0,7...1,0
Скорость движения цепей, м/с	1...2
Скорость подачи конвейера на забой, м/с	0,01...0,04
Шаг передвижки секций, м	0,8
Коэффициент сопротивления движения тягового органа по рештаку	0,35

В качестве резцов, устанавливаемых на скребки ЗЗСК, примем резцы Р100 (ГОСТ Р 51047-97) [25]. Модели скребка и фрагмента ЗЗСК, разработанные в программной среде *ANSYS Workbench* приведены на рисунках 4.1 и 4.2, соответственно.

Материал секций рештачного става и скребков – Сталь 45; материал тяговых цепей и державок резцов ЗЗСК – сталь 30ХГСА. Физические свойства указанных материалов, необходимые для проведения численного эксперимента (компьютерного моделирования), приведены в Таблице 3.2.

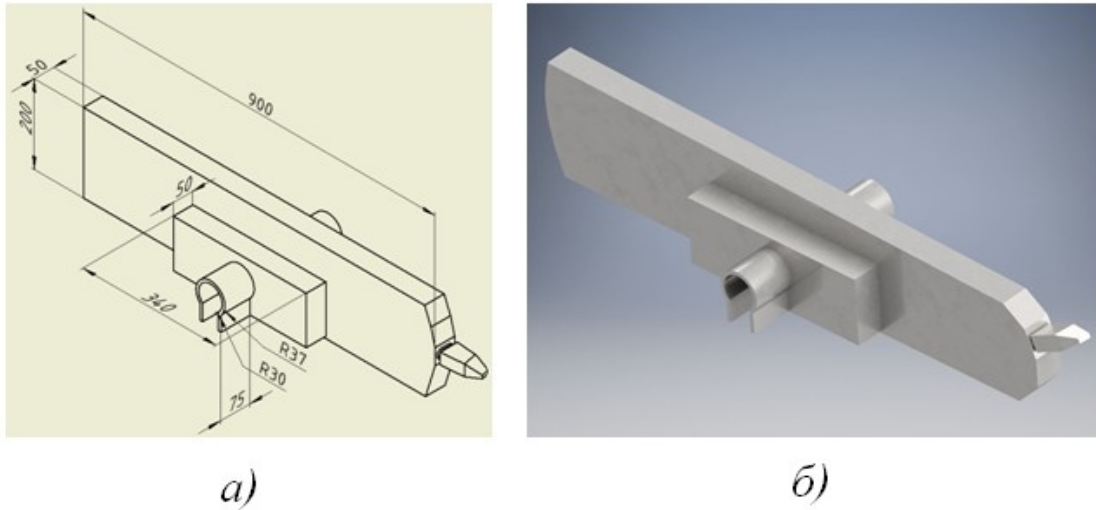


Рисунок 4.1 – Схема (а) и модель (б) скребка ЗЗСК

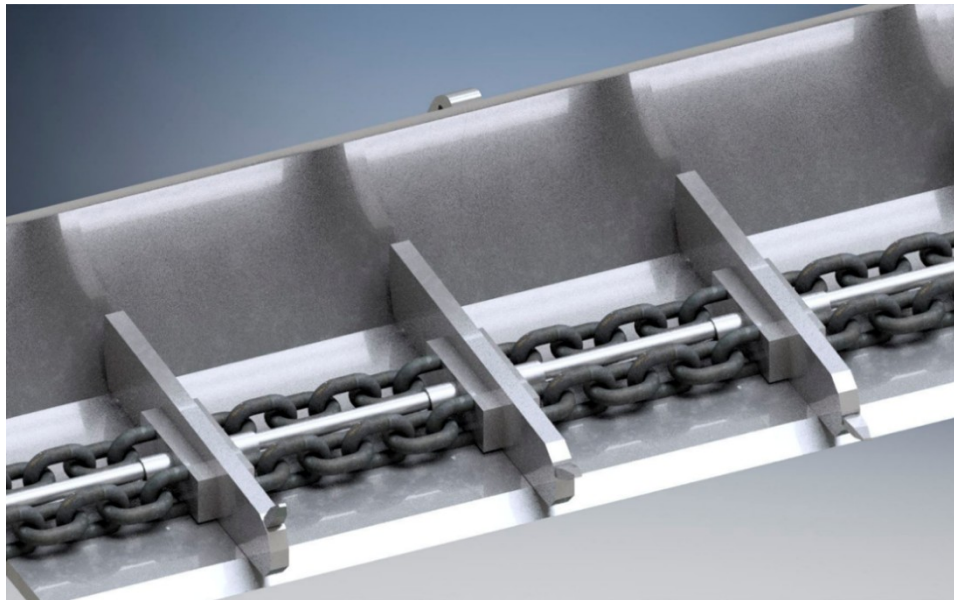


Рисунок 4.2 – Модель фрагмента ЗЗСК

Таблица 4.2 – Физические свойства конструкционных материалов ЗЗСК

Наименование параметра	Значение	
	Сталь 45	30ХГСА
Плотность, кг/м ³	7826	7850
Модуль Юнга, МПа	$2 \cdot 10^5$	$2,15 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона	0,29	0,33
Предел текучести, МПа	830	1570
Предел прочности, МПа	980	1700

Параметры, характеризующие горно-геологические условия, физико-механические свойства угольного пласта и транспортируемой угольной массы задаются, исходя из типичных, определённых при проведении экспериментальных исследований в работах [6, 83, 93, 101] (Таблица 4.3).

При выполнении проектировочных расчетов, разрушаемый угольный пласт рассматривается как изотропное тело, коэффициент отжима принимается $k_{от} = 1$ [57].

Таблица 4.3 – Горно-геологические и технологические условия работы ЗЗСК

Наименование параметра	Значение
Угол наклона почвы пласта по падению, град	0...30
Угол наклона почвы пласта по простиранию, град	0
Сопrotивляемость угля резанию, кН/м	180
Коэффициент Пуассона	0,15
Модуль Юнга, МПа	330...360
Насыпная плотность угля, т/м ³	0,85
Плотность угля в массиве, т/м ³	1,3
Крупность кусков транспортируемого угля, м	0,02...0,1
Коэффициент сопротивления перемещению угольной массы по рештаку	0,6

Указанные параметры использовались при моделировании процессов транспортирования и подрубки угля ЗЗСК с применением известных аналитических зависимостей, а также при построении конечно-элементной модели участка ЗЗСК в программных пакетах *ANSYS Workbench* и *ROCKY DEM*. Отказ от создания полноразмерной компьютерной модели ЗЗСК обусловлен ограничениями вычислительных мощностей используемых ЭВМ и значительными временными затратами на проведение вычислительного эксперимента.

4.2 Расчет производительности и моделирование распределения угольной массы между скребками ЗЗСК

Теоретическая производительность скребкового конвейера рассчитывается по формуле (4.1)

$$Q = 3600F\gamma_p v, \quad (4.1)$$

где F – площадь поперечного сечения груза на конвейере, м²;

γ_p – насыпная плотность транспортируемой горной массы, т/м³;

v – скорость перемещения тягового органа, м/с.

Параметр F определяется по формуле (4.2)

$$F = F_0\psi, \quad (4.2)$$

где F_0 – площадь поперечного сечения грузонесущего органа, м²;

ψ – коэффициент заполнения, который в зависимости от режима и условий работы забойного конвейера, может принимать следующие значения:

– $\psi < 1$ – неполное заполнение тягового органа (прерывистое волочение);

– $\psi \geq 1$ – заполнение тягового органа с шапкой (сплошное волочение).

Прерывистое волочение возникает при неполном заполнении тягового органа угольной массой. Результаты моделирования, выполненного в программной среде *ROCKY DEM* (рисунок 4.3, а) показывают, что этому режиму способствуют увеличенный шаг $t_{ск}$ расстановки скребков, увеличенная их высота $h_{ск}$ и наклонное расположение конвейера при транспортировании отделенного от пласта угля вверх под некоторым углом α [99, 106].

Режим сплошного волочения угольной массы является наиболее экономичным, так как характеризуется максимальным использованием транспортных возможностей конвейера. Сплошное волочение возможно, если сопротивление прорезанию слоя транспортируемой угольной массы скребками больше, чем сопротивление движению груза по рештаку при формированию в нём непрерывного слоя со средней толщиной большей, чем

высота скребков (рисунок 4.3, б). Величина коэффициента заполнения ψ , в этом случае, определяется углом естественного откоса ρ_d угольной массы, перемещаемой по рештаку.

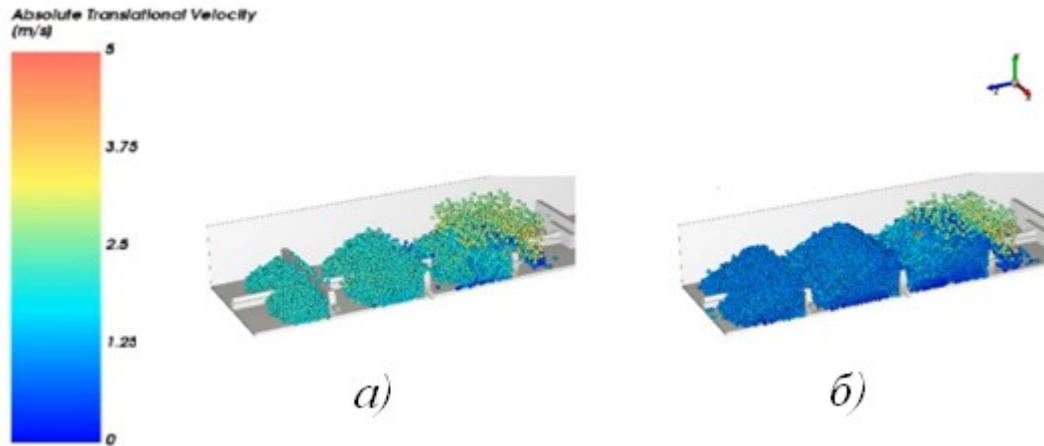


Рисунок 4.3 – Заполнение рештака конвейера угольной массой при прерывистом (а) и сплошном (б) волочении

Угол естественного откоса ρ перемещаемой угольной массы является одним из важнейших показателей при определении параметров работы забойных скребковых конвейеров. Как указывалось в главе 1, различают угол естественного откоса насыпных грузов в покое ρ_n и в движении ρ_d . Известно, что $\rho_n > \rho_d$, так как перемещение тягового органа забойного конвейера осуществляется неравномерно и сопровождается вибрациями. Согласно исследованием И.В. Пономарева и М.А. Перепелкина для угольной массы $\rho_n = 27...45^\circ$; $\rho_d = 10...35^\circ$ [79, 83].

Угол естественного откоса для крупнокусковых фракций превышает углы мелкозернистых материалов. Кроме того, значение ρ_d зависит от скорости движения груза по рештаку скребкового конвейера, так как, попадая на поверхность ранее засыпанных материалов, куски дольше продолжают движение. Результаты компьютерного моделирования показывают, что при увеличении скорости движения тягового органа ЗСК

от 1,0 до 2,0 м/с угол естественного откоса ρ_d транспортируемой угольной массы уменьшается от 26 до 11 градусов (рисунок 4.4).

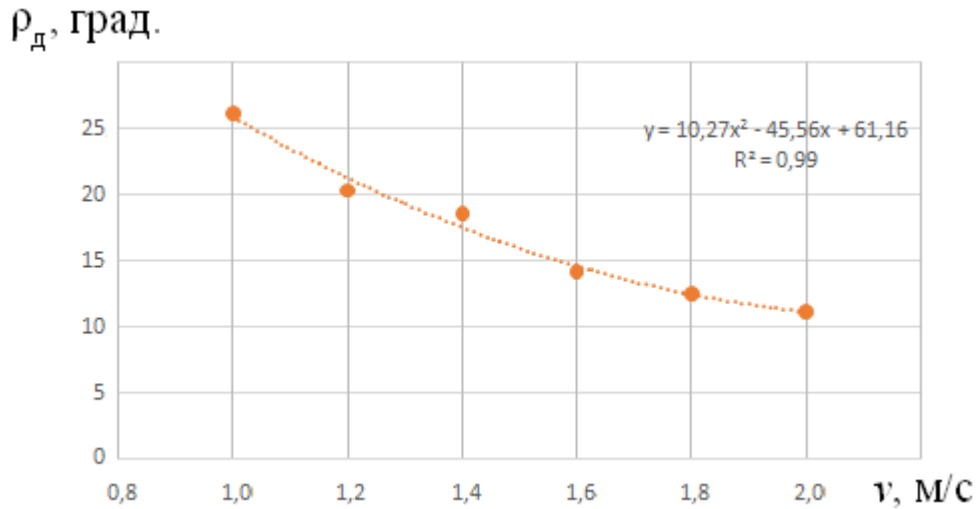


Рисунок 4.4 – Изменение угла естественного откоса транспортируемой угольной массы в зависимости от скорости движения тягового органа 3ЗСК

Производительность 3ЗСК, с учетом угла наклона почвы угольного пласта по падению α , определяется в соответствии с расчетной схемой, представленной на рисунке 4.5, по аналитическим зависимостям (4.3) и (4.4), приведенным в [26, 106] и адаптированным к конструктивным особенностям 3ЗСК

$$\begin{cases} \alpha < \rho_d; \\ Q = 3600\gamma v \left[(l_{\text{ск}} - b_3)(h_{\text{ск}} + \frac{\sin(\rho_d + \alpha)\sin(\rho_d - \alpha)}{2\sin 2\rho_d} t_{\text{ск}}) + b_3 h_{\text{ск}} \right]; \end{cases} \quad (4.3)$$

$$\begin{cases} \alpha \geq \rho_d; \\ Q = 3600\gamma v l_{\text{ск}} (h_{\text{ск}} - \frac{\text{tg}(\alpha - \rho_d)}{2} t_{\text{ск}}), \end{cases} \quad (4.4)$$

где b_3 – величина зарубки скребков 3ЗСК в угольный пласт, м.

При выполнении расчетов примем $b_3 = 0,2$ м.

Оценка производительности 3ЗСК выполнялась при значениях угла наклона почвы угольного пласта $\alpha = 0; 10; 20; 30$ градусов (транспортирование угля вверх). Результаты расчетов представлены на рисунке 4.6.

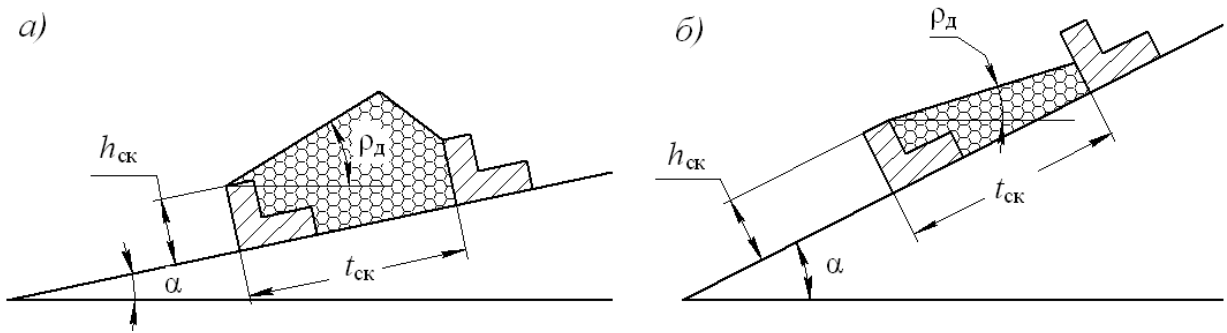


Рисунок 4.5 – Расчетная схема зарубного забойного скребкового конвейера:

а) $\alpha < \rho_d$; б) $\alpha \geq \rho_d$

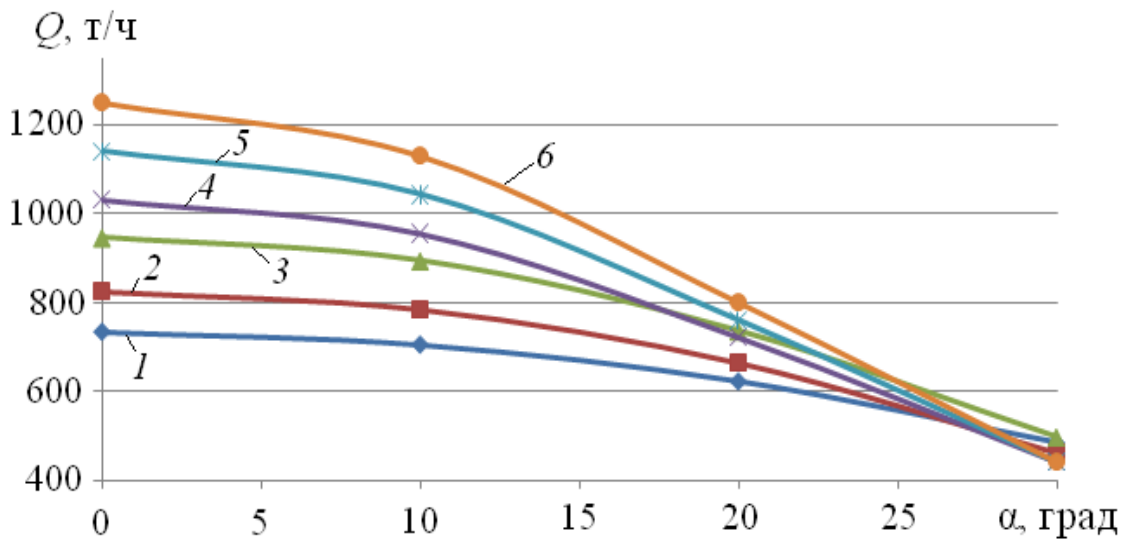


Рисунок 4.6 – Изменение производительности ЗСК в зависимости от угла наклона почвы угольного пласта при скорости перемещения тягового органа:

1 – $v = 1$ м/с; 2 – $v = 1,2$ м/с; 3 – $v = 1,4$ м/с; 4 – $v = 1,6$ м/с;

5 – $v = 1,8$ м/с; 6 – $v = 2,0$ м/с

Анализ полученных графиков показывает, что с увеличением угла наклона пласта α производительность ЗСК снижается, причём тем интенсивнее, чем выше скорость перемещения тягового органа.

Исходя из (2.9) и (2.18), коэффициент использования ЗСК по производительности $k_{и}$ при увеличении угла наклона пласта может быть рассчитан по формуле (4.5)

$$k_{и} = \frac{Q_{та0}}{Q_{таi}}, \quad (4.5)$$

где $Q_{та0}$ – техническая производительность ЗЗСК при угле наклона почвы угольного пласта по падению $\alpha = 0$ град., т/ч; $Q_{таi}$ – техническая производительность ЗЗСК при угле наклона почвы угольного пласта по падению $\alpha = i$ град., т/ч.

Результаты расчетов изменения коэффициента производительности ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы обрабатываемого угольного пласта по падению и скорости движения тягового органа приведены на рисунке 4.7.

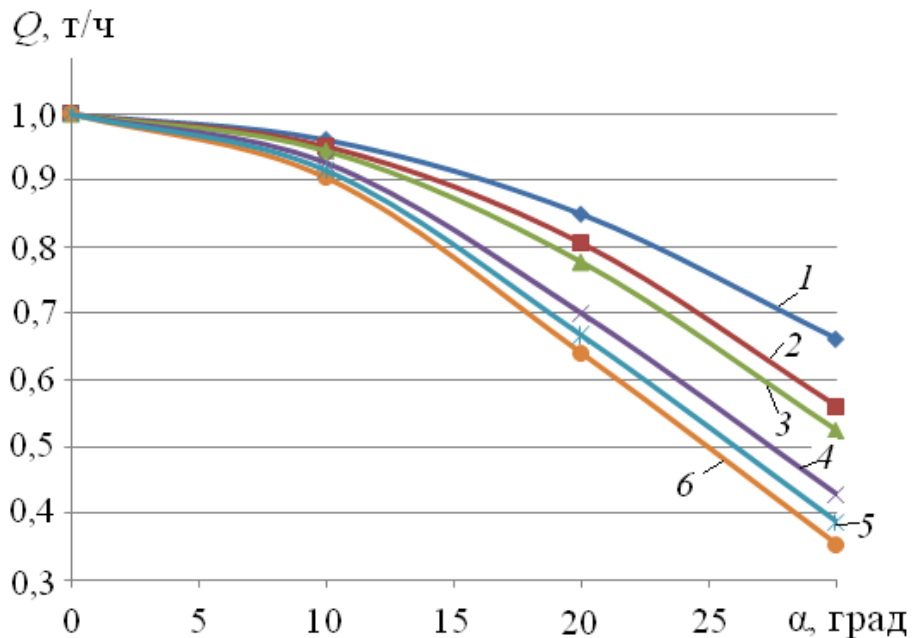


Рисунок 4.7 – Изменение коэффициента использования ЗЗСК по производительности в зависимости от угла наклона почвы угольного пласта при скорости перемещения тягового органа: 1 – $v = 1$ м/с; 2 – $v = 1,2$ м/с; 3 – $v = 1,4$ м/с; 4 – $v = 1,6$ м/с; 5 – $v = 1,8$ м/с; 6 – $v = 2,0$ м/с

С увеличением скорости перемещения скребков и цепи по рештаку ЗЗСК увеличиваются неравномерность движения и вибрации тягового органа, уменьшается угол естественного откоса транспортируемой угольной массы, снижается коэффициент заполнения тягового органа. Данное

негативное явление усугубляется при увеличении шага расстановки скребков (рисунок 4.8). Таким образом, рациональный шаг расстановки скребков ЗЗСК, функционирующего в сложных горно-геологических и технологических условиях, составляет $t_{ск}=0,7...0,8$ м.

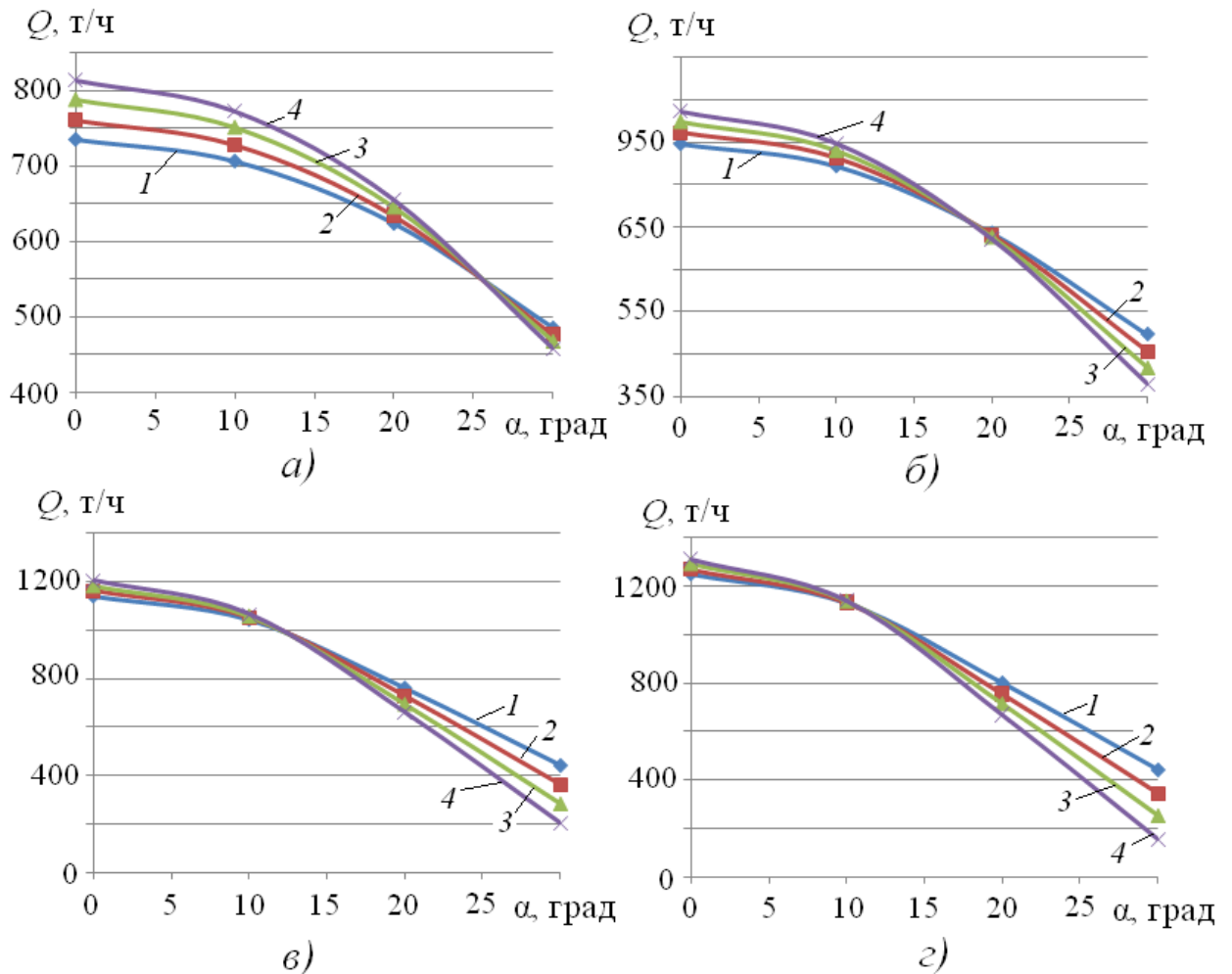


Рисунок 4.8 – Изменение производительности ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы угольного пласта, скорости перемещения тягового органа и шага расстановки скребков:

$$a - v = 1 \text{ м/с}; \quad б - v = 1,4 \text{ м/с}; \quad в - v = 1,8 \text{ м/с}; \quad z - v = 2,0 \text{ м/с};$$

$$1 - t_{ск} = 0,7 \text{ м}; \quad 2 - t_{ск} = 0,8 \text{ м}; \quad 3 - t_{ск} = 0,9 \text{ м}; \quad 4 - t_{ск} = 1,0 \text{ м}$$

Полученный вывод не противоречит общепринятым представлениям в области горно-шахтного транспортирующего оборудования. Как указывалось в главе 1, ввиду возможности возникновения значительных динамических

нагрузок, скорость движения тягового органа в современных забойных скребковых конвейерах обычно не превышает 1,6 м/с [3, 19, 26, 30, 31]. То есть рациональный диапазон значений скорости движения тягового органа ЗЗСК находится в пределах $v = 1,4 \dots 1,5$ м/с. При выполнении дальнейших расчетов примем $v = 1,4$ м/с; $t_{\text{ск}} = 0,7$ м.

4.3 Моделирование процесса подрубки угольного пласта при работе ЗЗСК

4.3.1 Анализ параметров процесса резания угольного пласта резцами ЗЗСК

Обоснование параметров цепных породоразрушающих исполнительных органов, к которым следует отнести и тяговый орган ЗЗСК, осуществляют, исходя из критериев разрушения угольного пласта с минимальными удельными затратами энергии при максимальном выходе угля крупных фракций [55, 58].

Известно, что совокупным режимным параметром, влияющим на эффективность процесса резания угля, является толщина стружки, которая для цепных исполнительных органов рассчитывается по формуле (4.6)

$$h = s \frac{v_{\text{п}}}{v}, \quad (4.6)$$

где h – толщина стружки, м;

s – расстояние между двумя соседними резцами в одной линии резания, м;

$v_{\text{п}}$ – скорость подачи режущего исполнительного органа на забой, м/с.

Расстояние между соседними резцами в линии резания определяется по формуле (4.7)

$$s = t_{\text{ск}} m_{\text{р}}, \quad (4.7)$$

где $m_{\text{р}}$ – число линий резания, реализуемых цепным исполнительным органом, шт.

Известно, что для каждого значения толщины стружки h , отделяемой от угольного пласта резцом, существует рациональное значение шага резания $t_{\text{рац}}$, характеризующее наименьшими удельными затратами энергии и максимальным выходом угля крупных классов. В работах [6, 93, 101] указывается, что величина рационального шага резания $t_{\text{рац}}$ может быть рассчитана по формуле (4.8)

$$t_{\text{рац}} = b_p + 2htg\psi_p \approx (1,0...3,0)h, \quad (4.8)$$

где b_p – ширина режущей кромки резца, м; ψ_p – угол развала борозды реза, град.

В технической литературе диапазон рациональных значений параметров резания принято задавать отношением шага резания к толщине стружки t/h . Таким образом, исходя из зависимости (4.8), по данным [6, 81], рациональное значение $t/h = 1,0...3,0$.

Следует также отметить, что в работах [101] установлено, что с технологической точки зрения режущий инструмент цепных исполнительных органов обеспечивает работу в рациональном режиме со средними сечениями срезов не менее $S = 2...3,5 \text{ см}^2$. Приблизительно, сечение среза может быть определено выражением (4.9)

$$S = hb_p + h^2tg\psi_p. \quad (4.9)$$

Шаг резания цепного исполнительного органа определяется по формуле (4.10)

$$t = H_p / (m_p - 1), \quad (4.10)$$

где H_p – высота прорезаемой щели, м.

При проведении моделирования зададим $H_p = 0,24 \text{ м}$.

Радиальный вылет резца, с учетом угла его наклона, определяется выражением (4.11)

$$l = l_k \cos\theta, \quad (4.11)$$

где l_k – конструктивный вылет резца, м, $l_k = 0,1 \text{ м}$;

θ – угол наклона резца относительно плоскости рештачного става ЗЗСК, град.

Параметры резца Р100 приведены на рисунке 4.9. Значение $\cos\theta$ для резцов, установленных по краям скребка ЗЗСК, рассчитывается по формуле (4.12)

$$\cos\theta = \sqrt{1 - \frac{0,25(H - h_{\text{ск}})^2}{l^2}}. \quad (4.12)$$

Допустимая максимальная толщина стружки h_{max} для резцов ЗЗСК, исходя из значения радиального вылета, определяется выражением (4.13)

$$h_{\text{max}} = \frac{l}{k_l}, \quad (4.13)$$

где k_l – коэффициент вылета резца, для цепных и буровых исполнительных органов $k_l = 1,8 \dots 2,5$ [57].

При $k_l = 1,8$ максимальная толщина стружки $h_{\text{max}} = 0,06$ м.

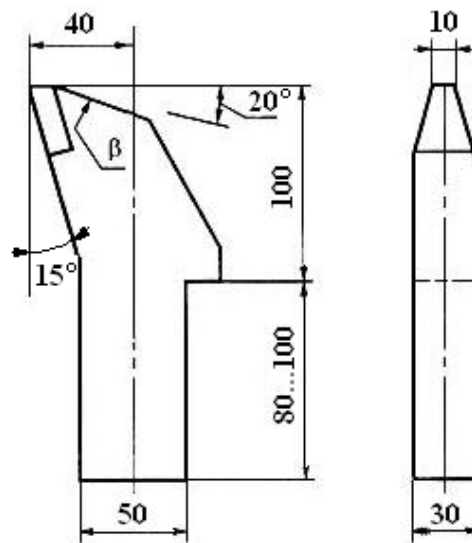


Рисунок 4.9 – Конструктивные параметры резца Р100

Исходя из данных, приведенных в таблицах 4.1–4.3, и используя выражения (4.6)–(4.13), определены параметры процесса разрушения угольного пласта резцами ЗЗСК (рисунок 4.10) при диапазонах изменения скорости подачи конвейера на забой $v_{\text{п}} = 0,01 \dots 0,04$ м/с и числе линий резания, реализуемых резцами тягового органа ЗЗСК, $m_p = 3 \dots 5$.

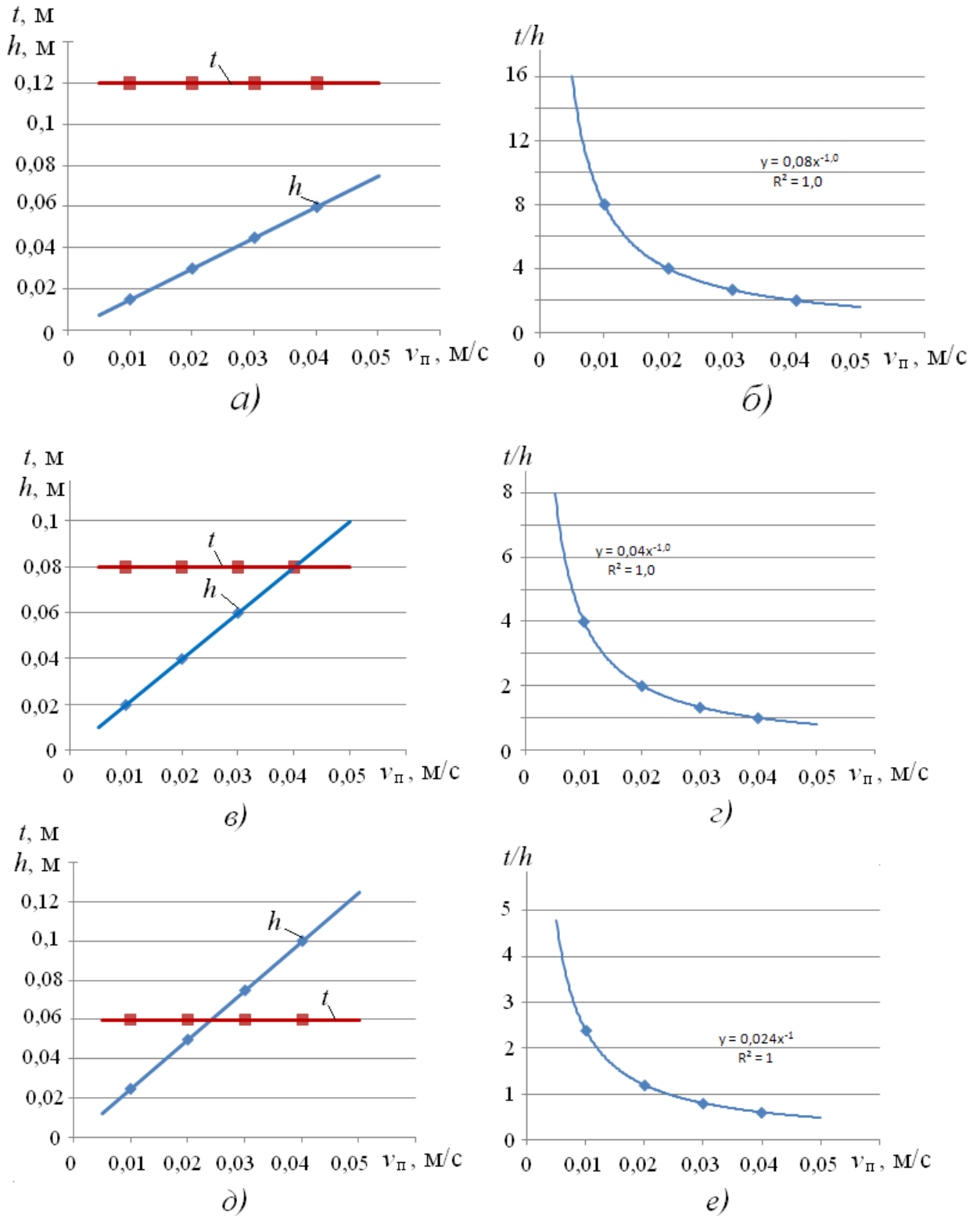


Рисунок 4.10 – Изменение параметров разрушения угольного пласта резцами ЗЗСК в зависимости от скорости подачи конвейера на забой (при $v = 1,4$ м/с,

$t_{ск} = 0,7$ м; $H_p = 0,24$ м): а, б – $m_p = 3$; в, з – $m_p = 4$; д, е – $m_p = 5$

Анализ полученных графиков показывает, что при скорости подачи ЗЗСК на забой $v_{\text{п}} \approx 0,1 \dots 0,2$ м/с рациональное отношение шага резания к толщине стружки $t/h = 1 \dots 3$ обеспечивается при числе линий резания $m_{\text{р}} = 5$; при скорости подачи $v_{\text{п}} \approx 0,2 \dots 0,3$ м/с рациональное число линий резания $m_{\text{р}} = 4$; при $v_{\text{п}} \approx 0,3 \dots 0,4$ м/с рациональный диапазон t/h достигается при $m_{\text{р}} = 3$.

С учетом вышеуказанного, во всём рассматриваемом диапазоне скоростей подачи ЗЗСК на забой толщина стружки h не будет превышать допустимую максимальную толщину $h_{\text{max}} = 0,06$ м.

4.3.2 Определение сил резания, действующих на резцы ЗЗСК при разрушении угольного пласта

Значение средней силы резания на остром неповоротном резце ЗЗСК рассчитывается по эмпирической формуле (4.14)

$$P_z = 10 A_{\text{р}} h t k_{\text{от}} k_{\phi} k_3 k_y k_b k_{\theta}, \quad (4.14)$$

где P_z – средняя сила резания на одиночном неповоротном резце, установленном на скребке ЗЗСК, кН;

k_{ϕ} , k_3 , k_y , k_b , k_{θ} – коэффициенты, характеризующие влияние формы передней поверхности режущей части резца, обнажения забоя, кинематического угла резания, ширины режущей кромки и угла установки резца на среднюю силу резания, соответственно.

Значение коэффициента влияния формы передней поверхности режущей части резца на среднюю силу резания принимается для резцов с клиновидной передней поверхностью равным $k_{\phi} = 0,87$. При выполнении проектировочных расчетов коэффициент обнажения забоя рекомендуется принимать, исходя из диапазона значений $k_3 = 1,1 \dots 1,25$ [57]. При выполнении расчетов примем $k_3 = 1,2$.

Коэффициент влияния кинематического угла резания рассчитывается по формуле (4.15)

$$k_y = 0,012\delta_k + \frac{0,42E}{E + 3,45}, \quad (4.15)$$

где δ_k – кинематический угол резания резца, град.;

E – показатель степени хрупкости пласта при резании.

Как указывалось выше, применительно к расчету нагрузок на исполнительных органах горных машин все углы по показателю степени хрупкости E делятся на три группы: вязкие – $E < 2,1$; хрупкие – при $2,1 \leq E \leq 3,5$; весьма хрупкие – $E > 3,5$. При выполнении проектировочных расчетов для каждой из групп следует принимать среднее значение показателя степени хрупкости: для вязких – $E = 1,65$; для хрупких – $E = 2,8$; для весьма хрупких – $E = 4,2$.

Для цепных исполнительных органов кинематический угол резания рассчитывается по формуле (4.16)

$$\delta_k = \delta - \operatorname{arctg} \frac{v_{\pi}}{v}, \quad (4.16)$$

где δ – угол резания резца, град.

Для резца Р100 угол резания составляет $\delta = 75^\circ$.

Значение коэффициента влияния ширины режущей кромки резца на среднюю силу резания определяется по формуле (4.17)

$$k_b = \frac{0,35b_{pp} + 0,3}{b_{pp} + E\sqrt{h}}, \quad (4.17)$$

где b_{pp} – расчетная ширина режущей кромки резца, м, определяется выражением (4.18)

$$b_{pp} = b_p + 2\operatorname{tg}\varphi_6 \frac{0,045\sqrt{h}}{\sin \delta}, \quad (4.18)$$

где φ_6 – угол наклона боковой поверхности резца относительно плоскости симметрии, град.

Для резца Р100 ширина режущей кромки $b_p = 0,01$ м; угол наклона боковой поверхности относительно плоскости симметрии $\varphi_6 = 14^\circ$ [25].

Коэффициент влияния угла установки резца на среднюю силу резания рассчитывается по формуле (4.19)

$$k_0 = \frac{1}{\cos \theta}. \quad (4.19)$$

Графики изменения силы резания на одиночном резце, установленном на скребке ЗЗСК, в зависимости от параметров схемы резания, скорости подачи конвейера на забой и степени хрупкости угольного пласта представлены на рисунке 4.11.

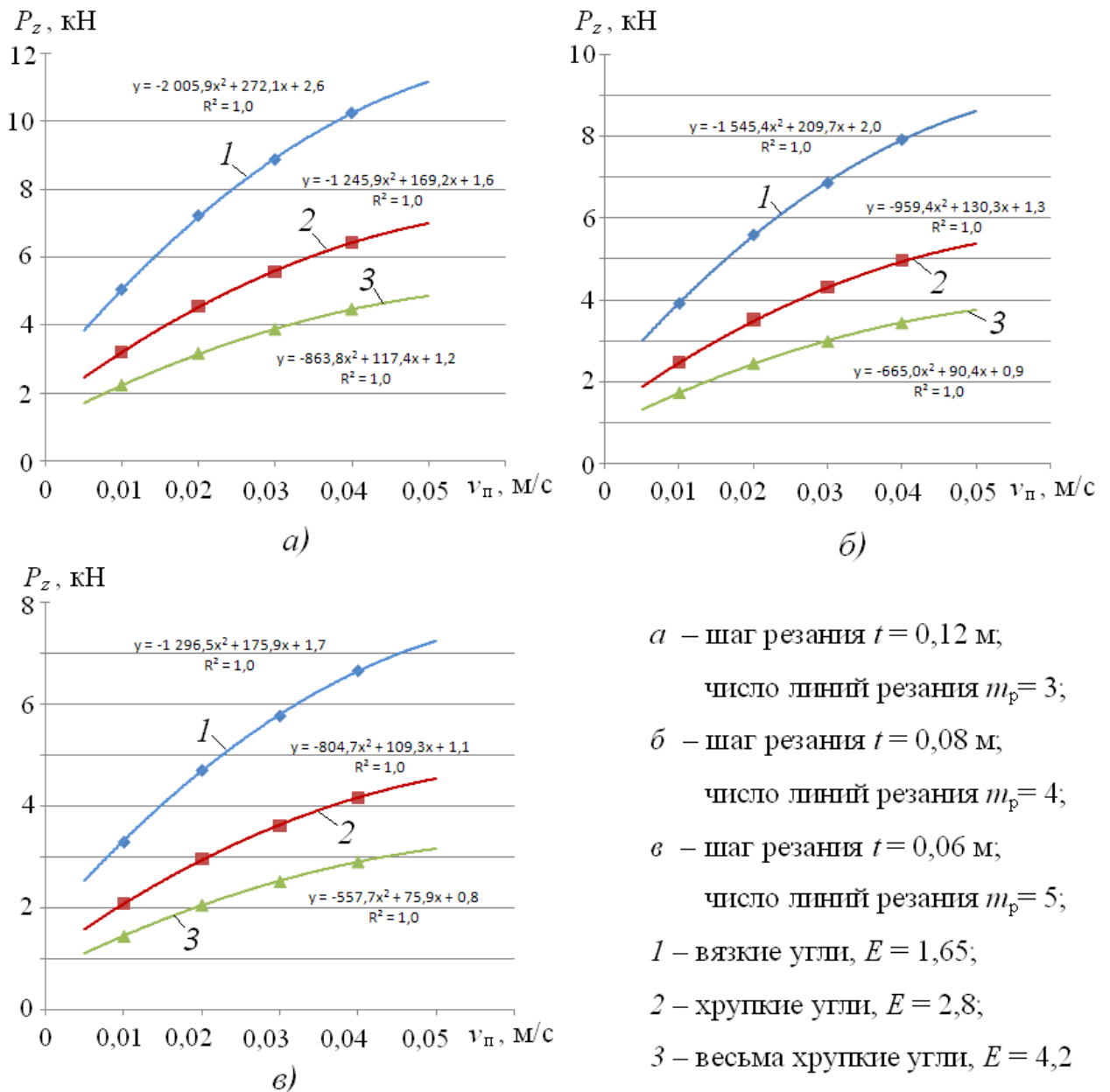


Рисунок 4.11 – Изменение силы резания P_z на одиночном резце ЗЗСК в зависимости от скорости подачи конвейера на забой $v_{п}$

Анализ полученных графиков показывает существенное увеличение нагруженности резцов ЗЗСК при разрушении вязких углей, что негативно отразится на эффективности использования предлагаемого ЗЗСК, особенно, при скоростях подачи конвейера на забой $v_{п} > 0,02$ м/с. Необходимость уменьшения скорости подачи ЗЗСК при подрубке пластов вязких углей ограничит производительность ОМК. Значительные реакции со стороны разрушаемого пласта на резцы ЗЗСК обусловят снижение устойчивости скребков конвейера, увеличат вероятность их поломки и заклинивания на направляющих.

Меньшие средние значения силы резания на резцах ЗЗСК обеспечиваются при разрушении хрупких и весьма хрупких углей при значениях шага резания $t < 0,08$ м. Высокая трещиноватость, характерная для пластов хрупких углей, будет способствовать интенсификации процесса отжима при использовании ЗЗСК, что снизит удельные энергозатраты процесса разрушения угольных пластов механизированным способом [4].

Из указанного следует вывод о предпочтительности использования ЗЗСК при разработке хрупких и весьма хрупких углей при небольших скоростях подачи конвейера на забой $v_{п} \leq 0,02$ м/с.

4.3.3 Результаты компьютерного моделирования процесса разрушения угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК

Компьютерное моделирование процесса разрушения угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК проводилось с использованием метода конечных элементов в программной среде *ANSYS Workbench*. Физико-механические свойства разрушаемого угольного пласта, резцов и скребков ЗЗСК задавались в соответствии с данными, приведенными в таблицах 4.2 и 4.3.

В ходе выполнения вычислительного эксперимента строилась 3D-модель скребка ЗЗСК с одиночным резцом и участка разрушаемого угольного пласта. Моделируемые объекты разбивались расчетной сеткой, задавались траектории и параметры их перемещения и ограничения.

В результате выполнения компьютерного моделирования определялись нагрузки, действующие на одиночный резец ЗЗСК (силы резания и реакции забоя), а также распределение напряжений в объеме металла скребка ЗЗСК с закреплённым резцом.

Моделируемые условия и режимные параметры разрушения угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК следующие:

- тип резания – с выровненной поверхности;
- скорость резания (перемещения тяговой цепи ЗЗСК) – $v = 1,4$ м/с;
- толщина стружки – $h = 0,02$ м.

Процесс разрушения угольного пласта резцом – это случайный, многофакторный процесс, поэтому обработка полученного в ходе вычислительного эксперимента массива данных осуществлялась с использованием методов математической статистики, корреляционного и спектрального анализа.

Основными, используемыми на практике характеристиками случайного процесса являются математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации, автокорреляционная функция и спектральная плотность. Вычисление указанных параметров проводилось по известным формулам (4.20)–(4.23) [2, 22]

$$m_p = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} P_i}{n_p}, \quad (4.20)$$

где m_p – математическое ожидание силы резания P_z , Н;

n_p – количество интервалов дискретизации;

P_i – мгновенное значение силы резания в заданный момент времени i , Н.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_p} (P_i - m_p)^2}{n_p - 1}}, \quad (4.21)$$

где σ_p – среднеквадратичное отклонение силы резания P_z , Н.

$$v_P = \frac{\sigma_P}{m_P}, \quad (4.22)$$

где v_P – коэффициент вариации силы резания P_z .

Расчёт автокорреляционной функции $p(r)$ силы резания осуществлялся по формуле

$$p(r) = \frac{1}{(n_P - r)} \sum_{i=1}^{n_P - r} (P_i - m_P)(P_{i-r} - m_P), \quad (4.23)$$

где $r=0...m_r$ – номер интервала дискретизации; $m_r \leq n_P/3$.

График изменения силы резания на одиночном резце ЗЗСК, построенный по результатам проведения вычислительного эксперимента в программной среде *ANSYS Workbench*, представлен на рисунке 4.12.

Математическое ожидание силы резания является величиной постоянной $m_P = 4,3$ кН и близкой по значению к рассчитываемой аналитическим путем ($P_z = 3,9...4,5$ кН). Форма графика плотности распределения вероятности $q(P_z)$ близка к нормальному закону (рисунок 4.13).

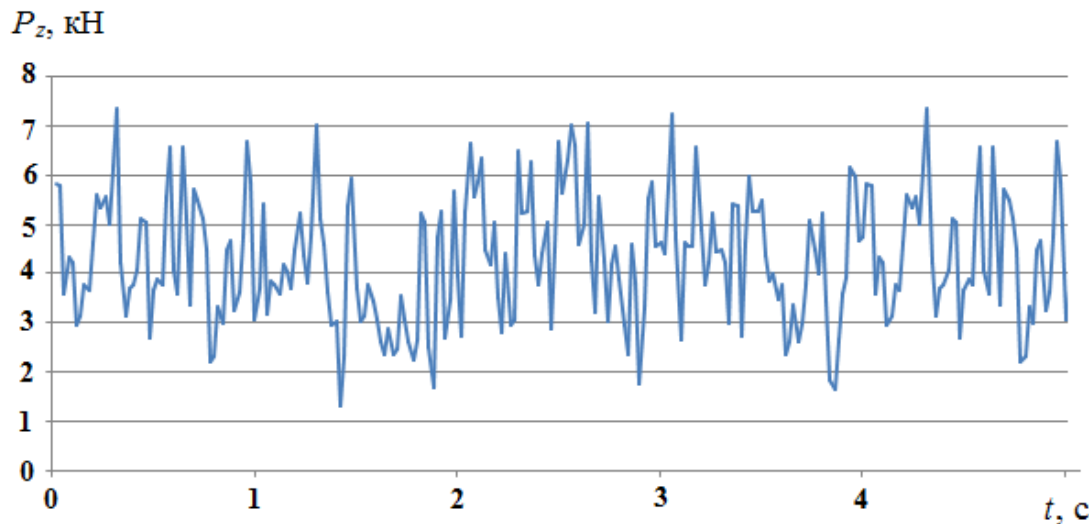


Рисунок 4.12 – Изменение силы резания на одиночном резце ЗЗСК при разрушении угольного пласта при $h = 0,02$ м, $v = 1,4$ м/с

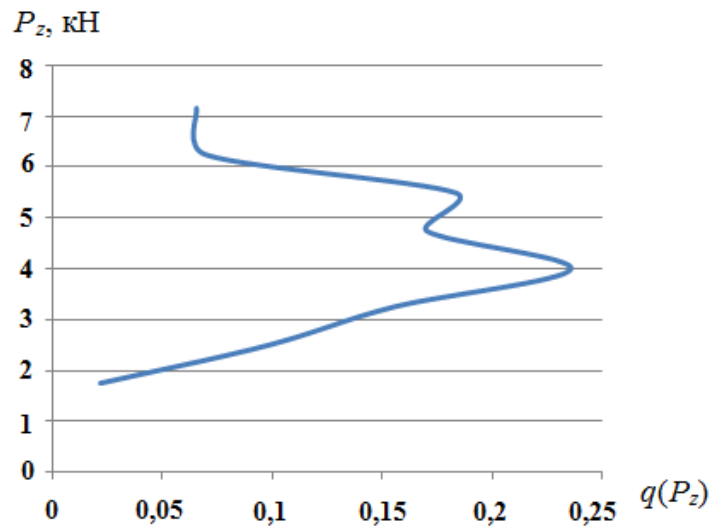


Рисунок 4.13 – Плотность распределения вероятности силы резания $q(P_z)$

График автокорреляционной функции практически не затухает, период колебаний близок к постоянному, а процесс – к стационарному (рисунок 4.14).

Значение среднего квадратичного отклонения силы резания составило $\sigma_p = 1,26$ кН, а коэффициента вариации $\nu_p = 0,29$, то есть согласно полученным в ходе компьютерного моделирования данным процесс резания угля одиночным резцом ЗЗСК при $h = 0,02$ м является сильно вариабельным.

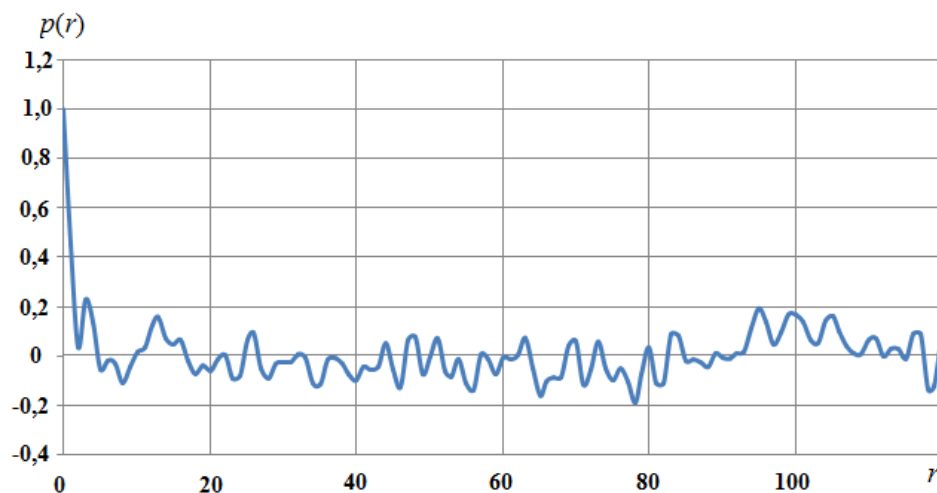


Рисунок 4.14 – Автокорреляционная функция силы резания при разрушении угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК с выровненной поверхности

График изменения силы реакции забоя P_y на одиночный резец при разрушении угольного пласта одиночным резцом ЗЗСК, построенный по результатам проведения вычислительного эксперимента, представлен на рисунке 4.15. Математическое ожидание силы реакции забоя составляет $m_y = 1,9$ кН при среднем квадратичном отклонении $\sigma_y = 439$ Н, и коэффициенте вариации $\nu_y = 0,29$.

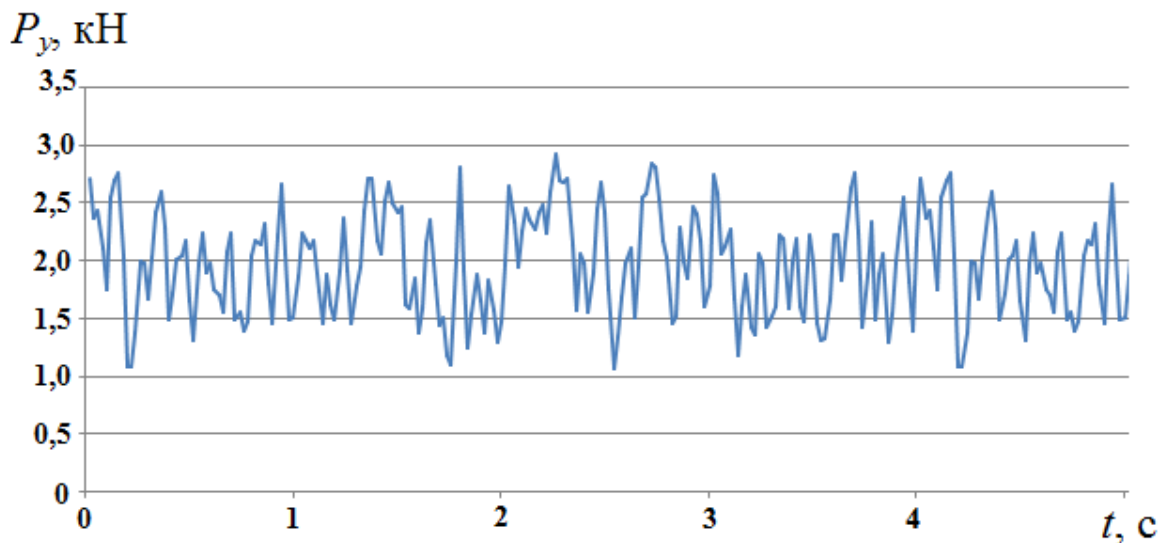


Рисунок 4.15 – Изменение силы реакции забоя на одиночный резец ЗЗСК при разрушении угольного пласта при $h = 0,02$ м, $v_p = 1,4$ м/с

Анализ полученных результатов показывает, что на устойчивость положения скребка ЗЗСК при выполнении подрубки угольного пласта существенное влияние будет оказывать не только сила резания, но и реакция забоя, отжимающая скребок с резцом в направлении, противоположном направлению подачи конвейера.

Характер распределения напряжений в объеме металла скребка ЗЗСК с закрепленным резцом при транспортировании угольной массы и подрубке пласта показан на рисунке 4.16. Наиболее нагруженными элементами конструкции являются рабочая часть резца и место его соединения со скребком, а также область крепления скребка к тяговому органу конвейера.

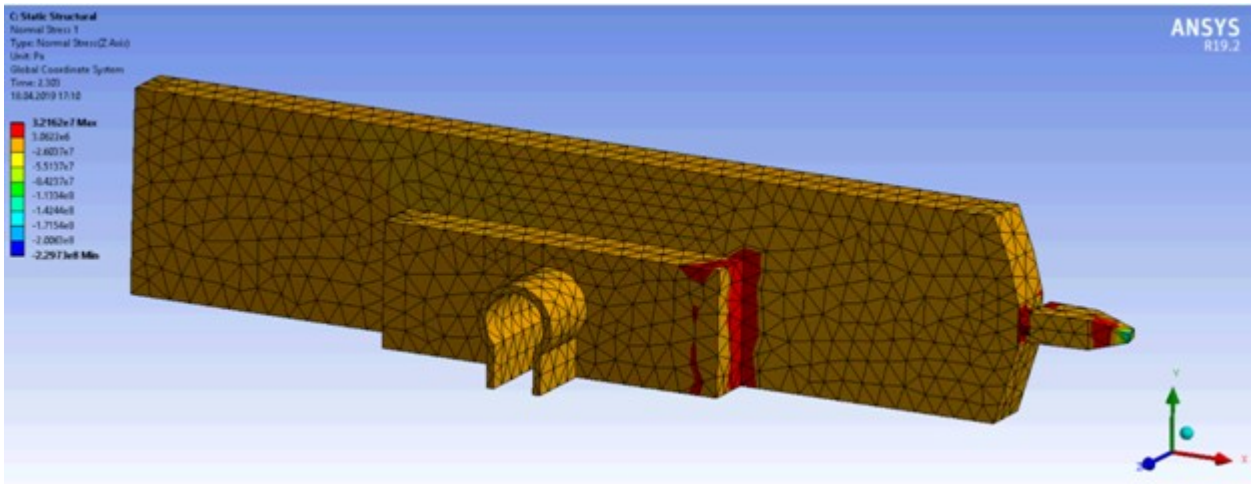


Рисунок 4.16 – Распределение напряжений в объеме металла скребка ЗЗСК с закрепленным резцом при транспортировании угольной массы и подрубке пласта

Результаты, полученные при выполнении вычислительного эксперимента, не противоречат основным постулатам экспериментально-статистической теории резания углей и горных пород. Достоверность и корректность компьютерного моделирования подтверждается хорошей сходимостью результатов вычислительного эксперимента с результатами, полученными по известным аналитическим зависимостям. В то же время, следует отметить значительную трудоёмкость и существенные временные затраты на проведение компьютерного моделирования. Ограничения при разработке компьютерных моделей исследуемых процессов возникают вследствие необходимости использования ЭВМ с существенными вычислительными мощностями.

4.4 Тяговый расчет ЗЗСК

Целью тягового расчета ЗЗСК является определение нагрузок, действующих на цепи тягового органа и приводные двигатели конвейера. При выполнении расчета сделаем допущение, что конвейер прямолинеен в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Соппротивление движению грузовой ветви ЗЗСК рассчитывается по формуле (4.24)

$$W_{\text{гр}} = [(q_{\text{гр}} \omega_{\text{гр}} + q_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}) \cos \alpha \pm (q_{\text{гр}} + q_{\text{ц}}) \sin \alpha] g L_{\text{к}} + m_{\text{к}} P_{\text{з}}, \quad (4.24)$$

где $W_{\text{гр}}$ – сопротивление движению грузовой ветви конвейера, Н;

$q_{\text{гр}}$ – масса груза на 1 м длины конвейера, кг/м;

$q_{\text{ц}}$ – масса тягового органа на 1 м длины конвейера, кг/м;

$\omega_{\text{гр}}$ – коэффициент сопротивления движению груза, $\omega_{\text{гр}} = 0,6$;

$\omega_{\text{ц}}$ – коэффициент сопротивления движению тягового органа, $\omega_{\text{ц}} = 0,35$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

$L_{\text{к}}$ – длина ЗЗСК, $L_{\text{к}} = 200 \text{ м}$;

$m_{\text{к}}$ – число резцов ЗЗСК, находящихся в контакте с забоем при выполнении подрубки угольного пласта, шт.;

$P_{\text{з}}$ – сила резания на одиночном резце ЗЗСК, Н [45, 54].

Исходные величины для выполнения расчета определены по данным таблиц 4.1–4.3 и работы [54].

Соппротивление движению порожней ветви ЗЗСК определяется выражением (4.25)

$$W_{\text{пор}} = q_{\text{ц}} (\omega_{\text{ц}} \cos \alpha \mp \sin \alpha) L_{\text{к}}, \quad (4.25)$$

где $W_{\text{пор}}$ – сопротивление движению порожней ветви конвейера, Н.

Масса груза на 1 м конвейера рассчитывается по формуле (4.26)

$$q_{\text{гр}} = \frac{Q}{3,6 v}. \quad (4.26)$$

Масса 1 м тягового органа находится по эмпирической формуле (4.27) через массу одного метра цепи

$$q_{\text{ц}} = q'_{\text{ц}} (i + 1), \quad (4.27)$$

где $q'_{\text{ц}}$ – масса 1 метра цепи, $q'_{\text{ц}} = 15,5 \text{ кг}$;

i – число цепей в тяговом органе конвейера, $i = 2 \text{ шт.}$

Число резцов ЗЗСК, находящихся в контакте с забоем при выполнении подрубки угольного пласта, определяется по формуле (4.28)

$$m_k = \frac{T_{п.к}}{t_{ск} \cos(\arctg(h_{п.к} / T_{п.к}))}, \quad (4.28)$$

где $T_{п.к}$ – шаг передвижки крепи, м, $T_{п.к} = 0,8$ м;

$t_{ск}$ – шаг расстановки скребков ЗЗСК, м, $t_{ск} = 0,7$ м;

$h_{п.к}$ – величина подвижки секции крепи на забой, м, $h_{п.к} = 0,4$ м.

Полученное по формуле (4.28) число резцов ЗЗСК, одновременно находящихся в контакте с забоем при подрубке угольного пласта, определяем до целого значения в большую сторону. Значения производительности Q и силы резания P_z на одиночном резце принимаем по данным расчетов, приведенных в п. 4.2 и 4.3.2, соответственно.

При выполнении расчетов принимаем следующие конструктивные и режимные параметры работы ЗЗСК: скорость подачи ЗЗСК на забой $v_{п} = 0,02$ м/с; число линий резания $m_p = 5$ шт. Показатель степени хрупкости угля $E = 2,8$ (хрупкие угли), средняя сила резания на одиночном резце ЗЗСК составляет $P_z = 2,96$ кН.

Графики изменения усилий сопротивления движению груженой и порожней ветвей тягового органа ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы обрабатываемого угольного пласта приведены на рисунке 4.17.

Анализ графиков показывает, что при увеличении угла наклона почвы пласта до $\alpha = 14...17^\circ$ сопротивление движению груженой ветви $W_{гр}$ тягового органа увеличивается, после чего начинает снижаться вследствие уменьшения количества перемещаемой угольной массы и снижения производительности ЗЗСК. При этом усилие, затрачиваемое на подрубку угольного пласта резцами ЗЗСК и профилирование почвы лавы, составляет не более 3 % от величины усилия сопротивления движению груженой ветви конвейера.

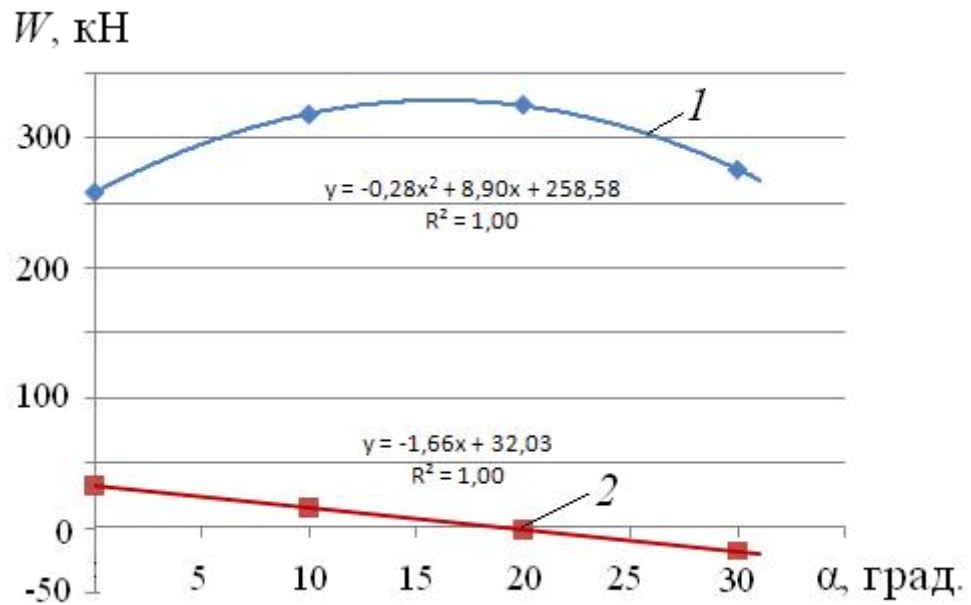


Рисунок 4.17 – Изменение сопротивления движению тягового органа ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы пласта:

1 – грузовой ветви; 2 – порожней ветви

Полученная максимальная величина сопротивления движению грузовой ветви ЗЗСК вдвое меньше разрушающей нагрузки круглозвенной тяговой цепи калибра 26×92 мм по классу прочности *B*, которая составляет $[W_{\text{раз}}] = 670$ кН [23].

Сопротивление движению $W_{\text{пор}}$ порожней ветви ЗЗСК линейно уменьшается с увеличением угла наклона почвы лавы.

Тяговое усилие привода ЗЗСК рассчитывается по формуле (4.29)

$$F_{\text{т.п}} = 1,1 (W_{\text{гр}} + W_{\text{пор}}), \quad (4.29)$$

где $F_{\text{т.п}}$ – потребное тяговое усилие привода ЗЗСК, Н.

Потребная мощность привода ЗЗСК определяется выражением (4.30)

$$N = \frac{k_{\text{з.п}} F_{\text{т.п}} v}{1000 \eta}, \quad (4.30)$$

где N – потребная мощность привода ЗЗСК, кВт;

$k_{\text{з.п}}$ – коэффициент запаса мощности, $k_{\text{з.п}} = 1,2$;

η – коэффициент полезного действия передаточного механизма привода ЗЗСК (на стадии проектировочных расчетов может быть принят равным $\eta=0,75$) [54].

Графики изменения потребного тягового усилия и мощности привода ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы лавы приведены на рисунке 4.18.

На забойные скребковые конвейеры с концевыми приводами устанавливают до четырех приводных двигателей.

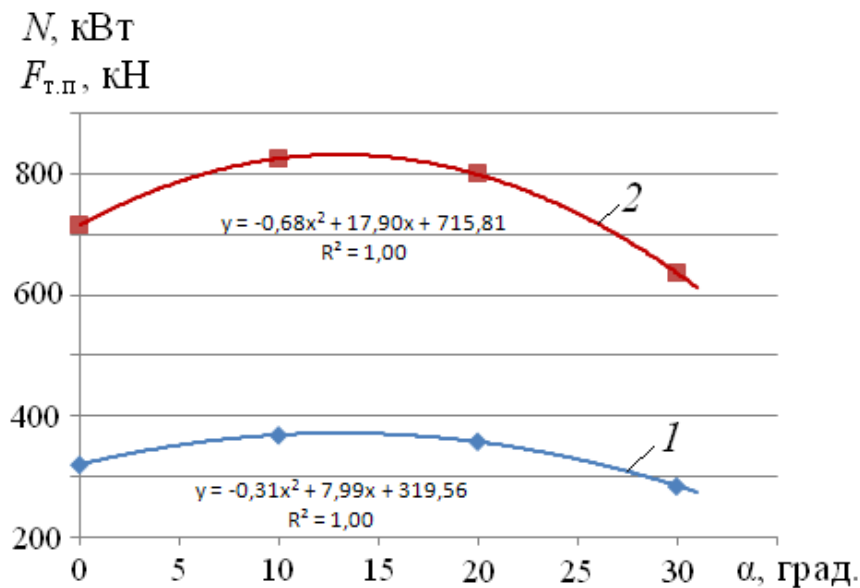


Рисунок 4.18 – Изменение потребного тягового усилия (1) и мощности привода (2) ЗЗСК в зависимости от угла наклона почвы лавы

Так как в рассматриваемом случае привод конвейера работает в двигательном режиме $(W_{гр} + W_{пор}) > 0$, то расстановку приводных двигателей рекомендуют осуществлять в следующем порядке.

1. При одном приводном двигателе привод размещают в голове конвейера.

2. При двух приводных двигателях рекомендуется устанавливать два привода: на головном и хвостовом обводном устройстве, а если это осуществить нельзя (например, при необходимости сокращения длины конвейера в процессе эксплуатации), то устанавливают один головной привод, в который входят два приводных двигателя.

3. При трех приводных двигателях два устанавливаются в головной части конвейера, один – в хвостовой.

4. При четырех приводных двигателях в головной и хвостовой частях конвейера устанавливаются по два двигателя.

Если привод конвейера работает в тормозном режиме $(W_{гр} + W_{пор}) < 0$, то большее число приводных двигателей устанавливаются в хвостовой части конвейера [56, 58, 89].

4.5 Расчет устойчивости движения одиночного скребка при работе ЗЗСК

При выполнении подрубки угольного пласта и профилировании почвы лавы скребок ЗЗСК нагружен не равномерно. На него действует изгибающий момент силы резания $M_{п}$, перекашивающий скребок относительно центральной направляющей, величина которого определяется выражением (4.31)

$$M_{п} = P_z(c_o - 0,5e) \cos \beta_{п}, \quad (4.31)$$

где $M_{п}$ – момент, перекашивающий скребок, Н·м;

P_z – сила резания на одиночном резце скребка ЗЗСК, Н;

$\beta_{п}$ – угол поворота скребка, град.;

c_o – расстояние от места приложения силы резания P_z до оси направляющей скребка ЗЗСК, м;

e – расстояние между осями цепей ЗЗСК, м, $e = 0,14$ м.

Параметр c является конструктивным и рассчитывается по формуле (4.32)

$$c_o = 0,5B_c + l, \quad (4.32)$$

где B_c – ширина скребка, м, $B_c = 0,9$ м;

l – радиальный вылет резца, м, $l = 0,1$ м.

Перекося скребка ликвидируется действием восстанавливающего момента $M_{в}$, величина которого определяется выражением (4.33)

$$M_{в} = (S_{т.о} + \Delta S)t_{ц} \sin \beta_{п}, \quad (4.33)$$

где $S_{т.о}$ – натяжение тягового органа, Н;

ΔS – приращение натяжения в цепи при перекося скребка, Н;

$t_{ц}$ – шаг цепи, м.

Приращение натяжения в тяговой цепи при перекосе скребка рассчитывается по формуле (4.34)

$$\Delta S = \frac{t_{\text{ц}}(1 - \cos\beta_{\text{п}})}{L_{\text{ц}}} E_0, \quad (4.34)$$

где $L_{\text{ц}}$ – длина тяговой цепи, м;

E_0 – продольная жесткость цепи, Н, $E_0 = 4,4 \cdot 10^7$ Н [107].

Зададим значения $P_z = 2960$ Н; $S = 0,5W_{\text{гр}} = 129405$ Н; $L_{\text{ц}} = 200$ м, и построим графики изменения величин перекашивающего $M_{\text{п}}(\beta_{\text{п}})$ и восстанавливающего момента $M_{\text{в}}(\beta_{\text{п}})$ от угла поворота скребка (рисунок 4.19).

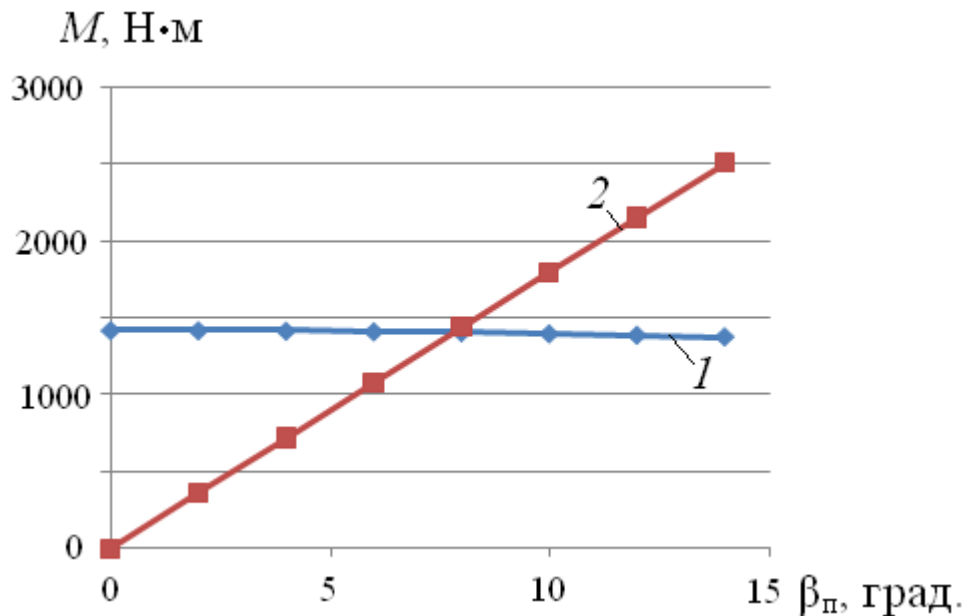


Рисунок 4.19 – Изменение величин перекашивающего $M_{\text{п}}$ (1) и восстанавливающего $M_{\text{в}}$ (2) моментов от угла поворота скребка $\beta_{\text{п}}$

Анализ полученных графиков показывает, что при заданных значениях конструктивных и режимных параметров работы ЗЗСК компенсация перекоса скребка ($M_{\text{в}} \geq M_{\text{п}}$) будет происходить при угле поворота скребка $\beta_{\text{п}} = 8^\circ$. Указанное подтверждает необходимость использования в конструкции ЗЗСК линейных направляющих тягового органа, обеспечивающих устойчивое движение скребков с закрепленными резцами вдоль рештачного става конвейера.

4.6 Выводы по главе 4

1. Выполнено математическое и компьютерное моделирование процесса транспортирования угольной массы ЗЗСК. Получены зависимости изменения производительности ЗЗСК от конструктивных и режимных параметров работы конвейера.

2. Выполнено компьютерное моделирование распределения угольной массы между скребками ЗЗСК. Доказано, что увеличение скорости движения тягового органа ЗЗСК обуславливает уменьшение угла естественного откоса угольной массы, транспортируемой в пространстве между скребками, что определяет снижение коэффициента использования ЗЗСК по производительности в наклонных лавах.

3. Выполнено математическое и компьютерное моделирование процесса разрушения (подрубки) угольного пласта резами цепного тягового органа ЗЗСК. Получены зависимости изменения силы резания на одиночном резе ЗЗСК от конструктивных и режимных параметров работы конвейера и типа разрушаемого угля.

4. Обоснованы рациональные параметры ЗЗСК: шаг установки скребков $t_{ск} = 0,7...0,8$ м; скорость перемещения тягового органа $v = 1,4...1,5$ м/с; скорость подачи ЗЗСК на забой $v_{ц} \leq 0,02$ м/с; количество линий резания $m_p = 4...5$ шт.

5. Выполнен тяговый расчет ЗЗСК. Показано, что усилие, затрачиваемое на подрубку угольного пласта резами ЗЗСК и профилирование почвы лавы, составляет не более 3 % от величины усилия сопротивления движению груженой ветви конвейера.

6. Выполнен расчет устойчивости движения одиночного скребка при работе ЗЗСК. Доказано, что сила резания, действующая на резец, закрепленный на скребке ЗЗСК, обуславливает возникновение перекоса скребка до 8° (при заданных параметрах расчета). Для компенсации перекоса в конструкции рештачных секций конвейера необходимо использовать линейные направляющие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи обоснования схемных и конструктивных решений адаптивного забойного зарубного скребкового конвейера с целью повышения устойчивости работы очистного механизированного комплекса для добычи угля в изменяющихся по мере отработки выемочного столба горно-геологических и технологических условиях.

Основные результаты работы заключаются в следующем.

1. Определен диапазон изменений горно-геологических условий комплексно-механизированных очистных забоях по мере отработки выемочных столбов, влияющих на эффективность функционирования забойных скребковых конвейеров, как базовых элементов очистных механизированных комплексов.

2. Установлено влияние структуры и конструкции забойных скребковых конвейеров на эффективность функционирования очистных механизированных комплексов при работе в изменяющихся по мере отработки выемочных столбов горно-геологических и технологических условиях.

3. Обоснованы требования к забойному скребковому конвейеру, как элементу адаптивного очистного механизированного комплекса. Обоснованы комплексные показатели устойчивости функционирования адаптивного очистного механизированного комплекса и его базового элемента – забойного скребкового конвейера.

4. Обоснованы схемные и конструктивные решения забойного зарубного скребкового конвейера очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся изменяющихся по мере отработки выемочного столба горно-геологическим и технологическим условиям функционирования. Предложена и запатентована конструкция забойного зарубного скребкового конвейера, обеспечивающего профилирование почвы

пласта как опорной и направляющей поверхности для движения очистного механизированного комплекса, а также отдельное транспортирование угля и породы.

5. Выполнено математическое и компьютерное моделирование процессов транспортирования горной массы и подрубки пласта забойным зарубным скребковым конвейером очистного механизированного комплекса.

6. Обоснованы рациональные параметры забойного зарубного конвейера очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся по мере отработки выемочного столба горно-геологическим и технологическим условиям.

7. Перспективы развития темы диссертации включают разработку физических моделей и опытных образцов забойных зарубных скребковых конвейеров очистных механизированных комплексов и проведение лабораторных и шахтных экспериментальных исследований по определению параметров работы и оценке эффективности их функционирования.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- a – высота эквивалентного уступа при переходе комплекса через геологическое нарушение, м;
- A_{B_3} – сопротивляемость угля резанию в зоне отжима, Н/мм;
- A_p – сопротивляемость резанию, Н/мм;
- B – ширина захвата породоразрушающего органа комбайна, м;
- B_c – ширина скребка, м;
- b_3 – величина зарубки скребков забойного зарубного скребкового конвейера в угольный пласт, м;
- b_p – ширина режущей кромки резца, мм;
- b_{pp} – расчетная ширина режущей кромки резца, мм;
- c – усредненная величина недодвигания конвейера к забою, м;
- c_o – расстояние от места приложения силы резания до оси направляющей скребка конвейера, м;
- E – показатель степени хрупкости угля;
- e – расстояние между осями тяговых цепей конвейера, м;
- E_0 – продольная жесткость цепи, Н;
- f – коэффициент крепости угля по шкале проф. М.М. Протодяконова;
- F – площадь поперечного сечения груза на конвейере, м²;
- F_0 – площадь поперечного сечения грузонесущего органа, м²;
- f_1 – амплитуда геологического нарушения, м;
- f_c – частота реализации сколов, Гц;
- $F_{т.п}$ – требуемое тяговое усилие привода забойного зарубного скребкового конвейера, Н;
- G – вес продуктов разрушения, кг;
- g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;
- H – мощность пласта, м;
- h – толщина стружки, мм;
- h_{\max}, h_{\min} – максимальная и минимальная раздвижность секций крепи, соответственно, м;

- H_w – удельные энергозатраты процесса разрушения угля резанием, кВт·ч/м³;
- H_d – максимально допустимая высота подрываемой породной пачки, при которой зольность не превышает допуска, м;
- $h_{п.к}$ – величина подвижки секции крепи на забой, м;
- H_p – высота щели, прорезаемой цепным породоразрушающим органом, м;
- $h_{ск}$ – высота скребков забойного скребкового конвейера, м;
- i – число цепей в тяговом органе конвейера, шт;
- k'_r – общий коэффициент готовности смежного оборудования;
- k_l – коэффициент вылета резца, для цепных и буровых исполнительных органов;
- k_b – коэффициент использования забойного скребкового конвейера во времени;
- k_r – коэффициент готовности забойного скребкового конвейера;
- $k_{з.п.}$ – коэффициент запаса мощности привода забойного зарубежного скребкового конвейера;
- $k_{и}$ – коэффициент использования забойного скребкового конвейера по производительности;
- $k_{от}$ – коэффициент отжима;
- K_p – коэффициент разрыхления;
- k_p – коэффициент реализации теоретической производительности конвейера в период между двумя капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта;
- $k_{p.т}$ – коэффициент реализации технической производительности конвейера в период между двумя капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта;
- $k_{p.э}$ – коэффициент реализации эксплуатационной производительности конвейера в период между двумя капитальными ремонтами или до первого капитального ремонта;
- k_c – коэффициент реализации теоретической производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{с.р}$ – коэффициент реализации межремонтной производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{с.т}$ – коэффициент реализации технической производительности конвейера за весь срок его службы;

$k_{с.э}$ – коэффициент реализации эксплуатационной производительности конвейера за весь срок его службы;

k_T – коэффициент технической реализации теоретической производительности забойного скребкового конвейера;

K_{yt} – коэффициент устойчивости работы очистного комбайна по времени;

K_{yv} – коэффициент устойчивости работы очистного комбайна по скорости подачи;

K_{yo} – коэффициент относительного увеличения времени остановок очистного комбайна;

k_{ϕ} , k_z , k_y , k_b , k_{θ} – коэффициенты, характеризующие влияние формы передней поверхности режущей части резца, обнажения забоя, кинематического угла резания, ширины режущей кромки и угла установки резца на среднюю силу резания, соответственно;

$k_э$ – коэффициент реализации теоретической производительности забойного скребкового конвейера в процессе эксплуатации;

$k_{э.т}$ – коэффициент реализации технической производительности забойного скребкового конвейера в процессе эксплуатации;

L – длина лавы, м;

l – радиальный вылет резца, м;

L_1 – длина эквивалентного уступа при переходе комплекса через геологическое нарушение, м;

$L_{дi}$ – длина участка лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м;

L_k – длина ЗЗСК, м;

l_k – конструктивный вылет резца, м;

L_p – длина реза, м;

L_{pi} – расчетная длина участка лавы, пройденная комбайном за контролируемый период времени, м;

$L_{ц}$ – длина тяговой цепи, м;

m_P – математическое ожидание силы резания P_z , Н;

m_k – число резцов ЗЗСК, находящихся в контакте с забоем при выполнении подрубки угольного пласта, шт.;

$M_{п}$ – момент, перекашивающий скребок, Н·м;

m_p – число линий резания, реализуемых цепным исполнительным органом, шт.;

N – необходимая мощность привода забойного зарубного скребкового конвейера, кВт;

n_p – количество интервалов дискретизации;

P_i – мгновенное значение силы резания в заданный момент времени i , Н;

P_y – сила реакции забоя на одиночный резец, Н;

P_z – средняя сила резания на одиночном неповоротном резце, Н;

Q – теоретическая производительность забойного скребкового конвейера, м³/ч;

$q_{гр}$ – масса груза на 1 м длины конвейера, кг/м;

Q_p – межремонтная производительность забойного скребкового конвейера, м³/ч;

Q_{pi} – расчетная производительность очистного механизированного комплекса, т/мин;

Q_c – средняя за весь срок службы производительность забойного скребкового конвейера, м³/ч;

Q_T – техническая производительность забойного скребкового конвейера, м³/ч;

$Q_{\phi i}$ – фактическая производительность очистного механизированного комплекса, т/мин;

$q_{ц}$ – масса тягового органа на 1 м длины конвейера, кг/м;

$q'_{ц}$ – масса 1 метра цепи, кг;

Q_3 – эксплуатационная производительность забойного скребкового конвейера, м³/ч;

r – номер интервала дискретизации;

R_1, R_2, R_3 – предельные радиусы вписывания комплекса в формируемый контур лавы, м;

s – расстояние между двумя соседними резцами в одной линии резания, м;

S – сечение среза, мм²;

$S_{т.о}$ – натяжение тягового органа, Н;

$T_{п.к}$ – шаг передвижки крепи, м;

$t_{рац}$ – рациональный шаг резания, мм;

$t_{рац}$ – шаг резания, мм;

$t_{ск}$ – шаг расстановки скребков забойного скребкового конвейера, м;

$t_{ц}$ – шаг цепи, м;

v – скорость перемещения тягового органа, м/с;

v_p – коэффициент вариации силы резания P_z ;

$v_{п}$ – скорость подачи режущего исполнительного органа (конвейера) на забой, м/с.

$V_{п}$ – средняя скорость подачи комбайна, м/мин;

V_{pi} – расчетная скорость подачи комбайна, м/мин;

$W_{гр}$ – сопротивление движению грузовой ветви конвейера, Н;

$W_{пор}$ – сопротивление движению порожней ветви конвейера, Н;

α – угол наклона почвы угольного пласта по падению, град.;

α_1 – предельный угол поворота секций крепи относительно друг друга в горизонтальной плоскости, град.;

$\alpha_{рас.}$ – угол рассогласования движения комплекса и напластования, град.;

$\beta_{п}$ – угол поворота скребка, град.;

$\gamma_{в}$ – предельный угол поворота секций крепи относительно друг друга в вертикальной плоскости, град.;

$\gamma_{к}$ – плотность угля в массиве, кг/м³;

$\gamma_{р}$ – насыпная плотность угля, кг/м³;

δ – угол резания резца, град.;

ΔS – приращение натяжения в цепи при перекосе скребка, Н;

δ_k – кинематический угол резания резца, град.;

θ – угол наклона резца относительно плоскости рештачного става забойного зарубного скребкового конвейера, град.;

λ – обобщенный функциональный критерий качества забойного скребкового конвейера, т·м/ч;

λ_p – межремонтный критерий качества забойного скребкового конвейера, т·м/ч;

λ_c – средний за весь срок службы функциональный критерий качества забойного скребкового конвейера, т·м/ч;

λ_T – технический критерий качества забойного скребкового конвейера, т·м/ч;

λ_3 – эксплуатационный критерий качества забойного скребкового конвейера, т·м/ч;

μ – предельный угол наклона базовой плоскости комплекса при отработке пласта по простиранию, град.;

ρ_a – показатель абразивности, мг/км;

ρ_d – угол естественного откоса насыпного груза в движении, град.;

ρ_n – угол естественного откоса насыпного груза в покое, град.;

σ_P – среднеквадратичное отклонение силы резания P_z , Н;

Σt_{di} – суммарное время производительной работы, мин;

Σt_{oi} – суммарное время кратковременных остановок, мин;

Σt_{opi} – суммарное расчетное время кратковременных остановок, мин;

Σt_{pi} – суммарное расчетное время производительной работы комплекса за контролируемый период времени, мин;

$\sigma_{сж}$ – предел прочности угля на сжатие, Па;

ϕ_6 – угол наклона боковой поверхности резца относительно плоскости симметрии, град.;

ψ – коэффициент заполнения грузонесущего органа забойного скребкового конвейера;

ψ_p – угол бокового развала реза, град.;

η – коэффициент полезного действия передаточного механизма привода забойного зарубного скребкового конвейера;

$\omega_{гр}$ – коэффициент сопротивления движению груза;

$\omega_{ц}$ – коэффициент сопротивления движению тягового органа;

P_{yi} – показатель устойчивости работы очистного механизированного комплекса;

$P_{узск}$ – показатель устойчивости функционирования забойного скребкового конвейера;

ЗЗСК – забойный зарубной скребковый конвейер;

ЗСК – забойный скребковый конвейер;

ОМК – очистной механизированный комплекс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамкин, Н. И. Показатели эффективности разработки угольных пластов длинными лавами и камерно-столбовой системой / Н. И. Абрамкин, В. К. Сидорчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 12. – С. 233–240.
2. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Издание второе, переработанное и дополненное / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский – М.: Наука, 1976. – 280 с.
3. Андрианова, О. И. Прогнозирование ресурса тяговых цепей мощных скребковых конвейеров // О. И. Андрианова // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2007. – № 39. – С. 19–21.
4. Асатур, К. Г. Механика динамического разрушения / К. Г. Асатур. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 1997. – 84 с.
5. Балашов, И. Б. Перспективы развития подземной угледобычи на шахтах Российской Федерации / И. Б. Балашов, Ю. Л. Худин, Е. Ф. Козловчунас // Уголь. – 2000. – № 11. – С. 13–19.
6. Берон, А. И. Резание угля / А. И. Берон, А. С. Казанский, Б. М. Лейбов, Е. З. Позин. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 439 с.
7. Боярский, Э. Ф. Цифровое моделирование угольных пластов / Э. Ф. Боярский, В. В. Рогозов. – М.: Недра, 1992. – 128 с.
8. Буевич, В. В. Адаптация секции механизированной крепи совершенствованием механической характеристики гидропривода ее гидростоек / В. В. Буевич, В. В. Габов, А. В. Стебнев, Н. В. Бабырь // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 3. – С. 28-34.
9. Власов, К. П. Методы исследований и организация экспериментов / К. П. Власов, П. К. Власов, А. А. Киселёва – Х.: Из-во «Гуманитарный центр», 2002. – 256 с.

10. Вэньчжэ, Я. Повышение надежности и долговечности тяговых цепей забойных скребковых конвейеров / Ян Вэньчжэ // Лесной вестник. – 2003. – № 5. – С. 135–137.

11. Габов, В. В. Адаптация очистного комплекса при отработке выемочного столба к изменяющимся горно-геологическим условиям внедрением забойного зарубежного конвейера / В. В. Габов, **А. И. Королев** // В сборнике: Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Научные редакторы В. В. Максаров, В. В. Габов. – 2017. – С. 32–34.

12. Габов, В. В. Забойный конвейер очистного комплекса адаптивного к изменяющимся горно-геологическим условиям при отработке выемочного столба / В. В. Габов, **А. И. Королев** // Сборник трудов 6-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд на будущее» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», «Институт горного дела». Тула, – 2016. – С.34-37.

13. Габов, В. В. Забойный конвейер очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся горно-геологическим условиям / В. В. Габов, **А. И. Королев** // В сборнике: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. сборник трудов XIV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека» в рамках Уральской горнопромышленной декады. Отв. редактор Ю. А. Лагунова. – 2016. – С. 68–71.

14. Габов, В. В. Очистные механизированные комплексы для добычи угля в длинных забоях / В. В. Габов // Горная техника. – 2006. – № 41. – С. 33-41.

15. Габов, В. В. Развитие способов отделения угля от массива добычными машинами / В. В. Габов, С. Л. Иванов, Д. А. Задков,

А. А. Банников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 7. – С. 297-302.

16. Габов, В. В. Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер / В. В. Габов, К. Л. Нгуен, В. С. Нгуен, Т. Б. Ле, Д. А. Задков // Уголь. – 2018. – С. 32–35.

17. Габов, В. В. Повышение эффективности работы очистных механизированных комплексов / В. В. Габов, А. А. Яичников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 3. – С. 230-233.

18. Гайко, Г. И. История горной техники: Учеб. пособие / Г. И. Гайко. – Алчевск: Изд-во ДГМИ, 2001. – 134 с.

19. Галкин, В. И. Транспортные машины: Учеб. для ВУЗов / В. И. Галкин, Е. Е. Шешко. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – 589 с.

20. Гетопанов, В. Н. Некоторые закономерности процесса разрушения горных пород резцовым инструментом выемочных горных машин / В. Н. Гетопанов // Научные труды, сб. № 17. – М.: МГГИ, 1956. – С. 21–27.

21. Глазов, Д. Д. Вождение механизированных комплексов в сложных горногеологических условиях / Д. Д. Глазов, В. С. Верин, М. В. Петруша, И. Н. Киселёв, Н. И. Рябов. – Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1973. – 124 с.

22. ГОСТ 21878-76. Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 33 с.

23. ГОСТ 25996-97 (ИСО 610-90). Межгосударственный стандарт. Цепи круглозвенные высокопрочные для горного оборудования – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 23 с.

24. ГОСТ 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2011. – 28 с.

25. ГОСТ Р 51047–97. Резцы для очистных и проходческих комбайнов. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 20 с.

26. Григорьев, В. Н. Транспортные машины и комплексы подземных разработок / В. Н. Григорьев, В. А. Дьяков, Ю. С. Пухов – М.: Недра, 1976. – 399 с.

27. Доброногова, В. Ю. Обоснование параметров и режимов работы гидравлических натяжных устройств забойных скребковых конвейеров нового технического уровня: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Доброногова Виктория Юрьевна. – ЛНР, Алчевск, 2017. – 174 с.

28. Докукин, А. В. Выбор параметров выемочных машин. Научно-методические основы / А. В. Докукин, А. Г. Фролов, Е. З. Позин. – М. : Наука, 1976. – 144 с.

29. Домрачев, А. Н. Разработка гибких геотехнологических систем эффективного освоения угленосных складчатых структур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.22 / Домрачев Алексей Николаевич. – Новокузнецк, 2002. – 40 с.

30. Ещин, Е. К. Вариант снижения динамической нагруженности электромеханических систем скребковых конвейеров / Е. К. Ещин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2019. – Т. 62. – № 3. – С. 51–57.

31. Ещин, Е. К. Динамика скребковых конвейеров. Обзор / Е. К. Ещин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 108–115.

32. Ещин, Е. К. Моделирование и управление динамическими процессами электромеханических систем скребковых конвейеров / Е. К. Ещин // Горное оборудование и электромеханика. – 2016. – № 6 (124). – С. 14–19.

33. Ещин, Е. К. Управление динамической нагруженностью забойных скребковых конвейеров / Е. К. Ещин // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 570–575.
34. Жабин, А. Б. Состояние научных исследований в области разрушения горных пород резцовым инструментом на рубеже веков / А. Б. Жабин, А. В. Поляков, Е. А. Аверин, В. И. Сарычев // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2018. – № 1. – С. 230–247.
35. Задков, Д. А. Обоснование рациональных динамических параметров гидропривода механизма резания выемочного модуля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Задков Денис Александрович. – Санкт-Петербург, 2005. – 121 с.
36. Задков, Д. А. Способ отделения угля от массива при отработке трещиновато-слоистых угольных пластов / Д. А. Задков, А. А. Банников, Д. И. Шишлянников, К. П. Талеров, К. А. Головин // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 2. – С. 30–33.
37. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта: учебник для ВУЗов / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашов, Л. Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
38. Ковальчук, С. Н. Анализ факторов, сокращающих срок службы редукторов скребковых конвейеров / С. Н. Ковальчук // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2012. – № 6 (94). – С. 62–64.
39. Козлов, С. В. Основные тенденции развития и совершенствования горной техники для очистных работ на шахтах Российской Федерации / С. В. Козлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – № 12. – С. 305–310.
40. Корнеев, С. В. Концепция адаптации забойных скребковых конвейеров / С. В. Корнеев // Наукові праці Донецького національного технічного ун-ту. Вип. 99. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 130-137.

41. **Королев, А. И.** Актуальность применения зарубежного конвейера в составе очистного механизированного комплекса / А. И. Королев // Сборник трудов Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет». – 2017. – С. 316-321.

42. **Королев, А. И.** Забойный скребковый конвейер очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся горно-геологическим условиям / А. И. Королев, В. В. Габов // В сборнике: Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Отв. ред. В.В. Габов, Н.С. Голиков. – 2016. – С. 27–30.

43. **Королев, А. И.** Повышение адаптивности очистного механизированного комплекса к изменяющимся горно-геологическим условиям модернизацией его забойного конвейера / А. И. Королев / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 9. – С. 214-219.

44. Кузьменко, В. И. Горные транспортные машины. Теория и расчеты: Учеб. пособие. – Алчевск: ДГМИ, 2001.– 232 с.

45. Леусенко, А. В. Скребковые конвейеры: справочное пособие / А. В. Леусенко, Г. В. Высоцкий, Б. А. Эйдерман. – М.: Недра, 1993. – 221 с.

46. Луганцев, Б. Б. Расчет и конструирование струговых установок / Б. Б. Луганцев, Б. А. Ошеров, Л. И. Файнбурд, А. Н. Аверкин. – М.: Изд-во «Горная книга», 2011. – 297 с.

47. Лущик, А. Г. Испытания в сложных горно-геологических условиях комплекса для выемки тонких пластов 2МКС216 / А. Г. Лущик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 12. – С. 352–358

48. Майборода, А. А. Типизация геологических нарушений угольных пластов при их прогнозе методами шахтной геофизики / А. А. Майборода, М. Г. Тиркель // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2011. – № 9. – С. 394-404.
49. Максимов, А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Максимов Алексей Борисович. – Пермь, 2019. – 182 с.
50. Максимов, А. Б. Определение рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» / А. Б. Максимов, Д. И. Шишлянников, Н. В. Чекмасов // Известия УГГУ. – 2019. – № 2 (54). – С. 97–101.
51. Малевич, Н. А. Горнопроходческие машины и комплексы: учебник для вузов / Н. А. Малевич ; под ред. В. А. Бреннера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 384 с.
52. Миничев, В. И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет / В. И. Миничев. – М. : Машиностроение, 1976. – 248 с.
53. Михайлов, Ю.И. Конвейеры с погружным рабочим органом / Ю. И. Михайлов, Л. Д. Тищенко, В. И. Святошнюк. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.
54. Озорнин, М.С. Расчеты горных транспортных машин: Учебно-метод. пособие / Сост. М.С. Озорнин, А.П. Кошкин. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. – 127 с.
55. Олейник, Б. Н. Врубовые машины и горные комбайны. Часть 1. Врубовые машины / Б. Н. Олейник. – М.: УГЛЕТЕХИЗДАТ, 1954. – 171 с.
56. Основные положения по проектированию подземного транспорта новых и действующих угольных шахт. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. – 174 с.

57. ОСТ 12.44.258–84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика – М.: Министерство угольной промышленности СССР, 1986. – 108 с.

58. Пархоменко А.И. Справочник механика угольной шахты / А.И. Пархоменко, В.И. Остапенко, И.М. Митько [и др.]. – М.: Недра, 1985. – 448 с.

59. Патент *RU 2019477 C1* МПК *B 65 G 19/08*. Забойный скребковый конвейер / В. М. Горлов. – № 4953642/03; Заявлено 30.05.1991; Оpubл. 15.09.1994, Бюл. № 8. – 5 с.

60. Патент *RU 2042593 C1* МПК *B 65 G 19/00*. Забойный скребковый конвейер / В. М. Горлов. – № 4853501/03; Заявлено 19.07.1990; Оpubл. 27.08.1995, Бюл. № 15. – 10 с.

61. Патент *RU 2117616 C1* МПК *B 65 G 19/28*. Рештачный став скребкового изгибающегося конвейера / В. М. Станкус, Б. А. Анферов, С. П. Русаков. – № 96109249/03; Заявлено 06.05.1996; Оpubл. 20.08.1998, Бюл. № 20. – 4 с.

62. Патент *RU 2349760 C1* МПК *E21F 13/00, B 65 G 19/28, B 65 G 19/26*. Забойный скребковый конвейер / В. В. Габов, Ю. Д. Тарасов. – № 2007137721/03; Заявлено 11.10.2007; Оpubл. 20.03.2009, Бюл. № 8. – 9 с.

63. Патент *RU 2466076 C2* МПК *E21F 13/00, B 65 G 19/28, B 65 G 19/26*. Забойный скребковый конвейер / Ю. Д. Тарасов. – № 2010148248/11; Заявлено 25.11.2010; Оpubл. 27.05.2012, Бюл. № 31. – 10 с.

64. Патент *RU 2574090 C1* МПК *E21F 13/00, B 65 G 19/28, B 65 G 19/26*. Забойный скребковый зарубной конвейер / В. В. Габов, **А. И. Королев**, Д. А. Задков. – № 2014149673/03; Заявлено 09.12.2014; Оpubл. 10.02.2016, Бюл. № 10. – 8 с.

65. Патент *SU 1261862 A1* МПК *B 65 G 19/28, E 21 F13/08*. Став скребкового изгибающегося конвейера / А. А. Будасов, Б. А. Эйдерман, И. И. Иваненко, В. П. Голощяпов, В. Е. Паперный, В. И. Галкин. – № 3895672/27-03; Заявлено 16.05.1985; Оpubл. 07.10.1986, Бюл. № 37. – 3 с.

66. Патент *SU 1666402 A1* МПК *B 65 G 19/00*. Угловой скребковый конвейер / Б. А. Эйдерман, В. Ю. Ицкович, А. В. Симановский, А. В. Леусенко, Н. П. Бабенко, А.И. Усенко. – № 4369894/03; Заявлено 21.01.1988; Оpubл. 30.07.1991, Бюл. № 28. – 3 с.

67. Патент *SU 1676945 A1* МПК *B 65 G 19/00*. Скребковый забойный конвейер / В. М. Горлов. – № 4698848/03; Заявлено 31.05.1989; Оpubл. 15.09.1991, Бюл. № 34. – 7 с.

68. Патент *SU 1717503 A1* МПК *B 65 G 19/28*. Став скребкового изгибающегося конвейера / В. С. Олейник, Д. С. Меркулов. – № 4366059/03; Заявлено 18.01.1988; Оpubл. 07.03.1992, Бюл. № 9. – 3 с.

69. Патент *SU 298755* МПК *E 21 F13/08*. Одноцепной горизонтально-замкнутый скребковый конвейер / В. Е. Домбровский, В. Д. Перский, В. И. Парамонов, С. Х. Клорикьян, Н. Д. Самойлюк и др. – № 1277563/22-3; Заявлено 25.10.1968; Оpubл. 18.05.1971, Бюл. № 11. – 3 с.

70. Патент *SU 451859* МПК *E 21 F13/08*. Одноцепной горизонтально замкнутый скребковый конвейер / А. Г. Фролов, Б. А. Эйдерман – № 1892357/22-3; Заявлено 19.03.1973; Оpubл. 17.07.1975, Бюл. № 44. – 4 с.

71. Патент *SU 468016* МПК *E 21 F13/08*. Забойный скребковый конвейер / М. А. Сребный, В. И. Малов, И. А. Скидан, В. И. Белоненко, В. М. Панов – № 1672319/22-3; Заявлено 24.06.1971; Оpubл. 25.04.1975, Бюл. № 15. – 3 с.

72. Патент *SU 694064* МПК *B 65 G 19/28, E 21 F13/08*. Секция желоба цепного скребкового конвейера / Д. Грюндкен, Г. Темме – № 2433662/27-03; Заявлено 02.04.1976; Оpubл. 25.10.1979, Бюл. № 39. – 5 с.

73. Патент *SU 839896* МПК *B 65 G 19/28*. Замок для соединения секций изгибающегося конвейера / В. Д. Перский, В. Е. Домбровский, И. С. Солопий, В. И. Парамонов и др. – № 2637138/27-03; Заявлено 03.07.1978; Оpubл. 23.06.1981, Бюл. № 23. – 2 с.

74. Патент *SU 854826* МПК *B 65 G 19/28, E 21 F13/08*. Соединение секций скребкового конвейера / В. Ф. Чудин. – № 2715274/27-03; Заявлено 17.01.1979; Оpubл. 15.08.1981, Бюл. № 30. – 3 с.

75. Патент *SU 856917* МПК *B 65 G 19/28*. Рештачный став скребкового конвейера / Б. Б. Френкель, И. С. Солопий, В. И. Галкин, С. А. Логачев, В. Д. Перский, В. И. Парамонов. – № 2794300/27-03; Заявлено 06.07.1979; Оpubл. 23.08.1981, Бюл. № 31. – 3 с.

76. Патент *SU 857505* МПК *E 21 F13/08, B 65 G 19/00*. Секция углового скребкового конвейера / М. А. Немилостивый, В. М. Иванов, Л. И. Федоров, В. П. Левочки, Ю. С. Фокин, В. И. Пиягин. – № 2722501/22-03; Заявлено 06.02.1979; Оpubл. 03.09.1981, Бюл. № 31. – 3 с.

77. Патент *SU 865727* МПК *B 65 G 19/28, E 21 F13/08*. Рештак скребкового конвейера / А. Г. Бойко. – № 2729913/27-03; Заявлено 26.01.1979; Оpubл. 23.09.1981, Бюл. № 35. – 4 с.

78. Патент *SU 906839* МПК *B 65 G 19/00, E 21 F13/08*. Горизонтально замкнутый скребковый конвейер / В. С. Ромашин, Ю. Ф. Тверезый, Е. И. Киселев, В. И. Крутилин, О. В. Ким, П. А. Овсянников, А. Г. Скуров. – № 2945575/27-03; Заявлено 11.04.1980; Оpubл. 23.02.1982, Бюл. № 7. – 4 с.

79. Перепелкин, М. А. Исследование угла естественного откоса строительных и рудных материалов при проектировании и разработке строительного-дорожных, горных машин и оборудования / М.А. Перепелкин, С.В. Перепелкина // Горная промышленность. – 2017. – № 4(134). – С. 86–87.

80. Позин, Е. З. Измельчение углей при резании / Е. З. Позин, В. З. Меламед, С. М. Азовцева. – М.: Наука, 1977. – 139 с.

81. Позин, Е. З. Разрушение углей выемочными машинами / Е. З. Позин, В. З. Меламед, В. В. Тон. – М.: Недра, 1984. – 288 с.

82. Поляков, Н. С. Основы теории и расчеты рудничных транспортных установок / Н. С. Поляков, И. Г. Штокман. – М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1962. – 492 с.

83. Пономарев, И. В. Дробление и грохочение углей / И.В. Пономарев. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
84. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618–03). – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность» – Серия 5. Вып. 11, 2003. – 296 с.
85. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. – М.: Недра, 1976. – 303 с.
86. Разумняк, Н. Л. Основные направления развития технологий и средств комплексной механизации очистных работ для отработки пологих угольных пластов / Н. Л. Разумняк, Б. К. Мышляев // Уголь. – 2001. – №1. – С. 34–40.
87. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород: Учебник для вузов / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – М. : Недра, 1984. – 359 с.
88. Ромакин, Н. Е. Конструкция и расчет конвейеров: справочник / Н. Е. Ромакин. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 504 с.
89. Рудничный транспорт и механизация вспомогательных работ / под общ. ред. Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1978. – 423 с.
90. Рыжков, Ю. А. Сравнительная оценка горно-геологических условий разработки, техники и технологии при подземном способе добычи угля в России и за рубежом / Ю. А. Рыжков, Е. В. Игнатов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 1. – С. 67–74.
91. Самойлюк, Н. Д. Забойные скребковые конвейеры / Н. Д. Самойлюк, К. И. Кравцов. – М. : Недра, 1964. – 152 с.
92. Сафохин, М. С. Горные машины и оборудование: Учеб. для ВУЗов / М. С. Сафохин. – М. : Недра, 1995. – 463 с.
93. Слободкин, М. И. Основы аналитической теории резания углей / М. И. Слободкин. – М. : Углетехиздат, 1947. – 207 с.
94. Спиваковский, А. О. Подземные конвейерные установки / А. О. Спиваковский, Н. Д. Самойлюк, Г. И. Солод, Л. Г. Шахмейстер. – М.: ГОСГОРТЕХИЗДАТ, 1961. – 480 с.

95. Спиваковский, А. О. Специальные транспортирующие устройства в горнодобывающей промышленности / А.О. Спиваковский, И. Ф. Гончаревич. – М.: Недра, 1985. – 129 с.

96. Стебнев, А. В. Анализ и оценка устойчивости режимов работы очистного механизированного комплекса / А. В. Стебнев, В. В. Габов, **А. И. Королев** // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 1(135). – С. 37-40.

97. Сысоев, Н. И. Очистной комбайн с мехатронным модулем управления режимными параметрами / Н. И. Сысоев, А. С. Кожевников // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 4. – С. 49–51.

98. Талеров, К. П. Обоснование параметров выемочного модуля для проведения ниш в комплексно-механизированном очистном забое: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Талеров Константин Павлович. – Санкт-Петербург, 2012. – 173 с.

99. Тарасов, Ю. Д. Транспортные машины непрерывного действия / Ю. Д. Тарасов. – СПб.: Изд-во СПГГИ(ТУ), 2009. – 144 с.

100. Тихонов, Н. В. Транспортные машины горнорудных предприятий / Н. В. Тихонов. – М.: Недра, 1985. – 336 с.

101. Тон, В. В. Исследование нагрузок на резцах для узкозахватных угледобывающих комбайнов: дис. ... канд. техн. наук: 05.172 / Тон Виктор Владимирович. – Москва, 1971. – 257 с.

102. Тургель, Д. К. Горные машины и оборудование подземных разработок: Учеб. пособие / Д. К. Тургель. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 302 с.

103. Харченко, В. В. Процессы очистных работ на пластах угольных шахт: учебник / В. В. Харченко, Н. П. Овчинников, В. И. Сулаев, А. А. Гайдай, В. В. Русских. – Д.: НГУ, 2014. – 170 с.

104. Холодилин, А. Н. Расчет конвейеров: Учеб. пособие / А. Н. Холодилин. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – 127 с.

105. Худин, Ю. Л. Комплексно-механизированная выемка нарушенных угольных пластов / Ю. Л. Худин, Д. Д. Глазов, С. В. Мамонтов. – М.: Недра, 1985. – 198 с.

106. Чекмасов, Н. В. Повышение эффективности процесса погрузки калийной руды при работе проходческо-очистных комбайнов / Н. В. Чекмасов, Д. И. Шишлянников, В. М. Демин // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – № 6. – С. 4–8.

107. Шахмейстер, Л. Г. Подземные конвейерные установки / Л. Г. Шахмейстер, Г. И. Солод. – М.: Недра, 1976. – 432 с.

108. Шерф, Б. Использование цепи *BIG-T* в скребковом конвейере – путь к повышению нагрузки на забой / Б. Шерф, А.А. Рогозин // Уголь. – 2019. – № 10 – С. 48–49.

109. Шишлянников, Д. И. Повышение эффективности отделения калийной руды от массива резцами добычных комбайнов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Шишлянников Дмитрий Игоревич. – СПб, 2012. – 159 с.

110. Штокман, И. Г. Проектирование и конструирование транспортных машин и комплексов: учеб. для ВУЗов / И. Г. Штокман, П. М. Кондрахин, П. С. Шахтарь, Е. М. Сноведский, В. Н. Маценко, К. И. Чебаненко, Н. Д. Мухопад, И. Т. Сидоренко, Г. Ш. Хазанович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1986. – 392 с.

111. Babyr, N. V. Enhancement of powered cleaning equipment with the view of mining and geological conditions / N. V. Babyr, **A. I. Korolev**, T. V. Neupokoeva // IOP: Earth and Environmental Science 194 (EES). – 2018. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/3/032004/meta> (дата обращения 03.08.2021).

112. Nguyen, K. L. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines / K. L. Nguyen, V. V. Gabov, D. A. Zadkov, T. B. Le // IOP conference series: Materials science and engineering. – 2018. – P. 042132.

113. Shishlyannikov, D. I. Improvement of rock-breaking tools of heading and winning machine of potash mines / D. I. Shishlyannikov, A.E. Suhanov // Ural Mining Decade 2020. E3S Web of Conferences 177, 03018 (2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703018>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.
114. Zhou, Y. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling / Yaneng Zhou, Wu Zhang, Isaac Gamwo, Jeen-Shang Lin // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2017. – V. 100. – P. 287–297.
115. Zvonarev, I. E. Efficiency increase of process of loading of potash ore while working with heading and winning machine «Ural-20R» / I. E. Zvonarev, D. I. Shishlyannikov, A. B. Maksimov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1118 (2018) 012053.

Приложение А

Патент «Забойный скребковый зарубной конвейер»

