

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**  
**ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л.Н. ГУМИЛЕВА**  
**КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Т.Е. ЕРМЕКОВ, Т.К. ИСАБЕК, Р.К. КАМАРОВ**

**ГОРНЫЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
КОМПЛЕКСЫ**



**Караганда 2014**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Л.Н. ГУМИЛЕВА  
КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Т.Е. ЕРМЕКОВ, Т.К. ИСАБЕК, Р.К. КАМАРОВ**

**ГОРНЫЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
КОМПЛЕКСЫ**

*Рекомендовано Министерством образования и науки  
Республики Казахстан в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений*

**Караганда 2014**

УДК 622  
ББК 38. 21  
Е 72

*Утверждено Ученым советом университета*

**Рецензенты:**

*К.С. Иванов*, д-р техн. наук, профессор кафедры робототехники и технических средств автоматизации КазНТУ им. К.И. Сатпаева;

*К.М. Бейсембаев*, д-р техн. наук, профессор кафедры горные машины и оборудование КарГТУ;

*Ж.М. Куанышбаев*, д-р техн. наук, профессор кафедры промышленного транспорта КарГТУ.

**Ермеков Т.Е.**

**Е72 Горные и строительные робототехнологические комплексы : Учебник / Т.Е. Ермеков, Т.К. Исабек, Р.К. Камаров; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда : Изд-во КарГТУ, 2014. – 298 с.**

**ISBN 978-601-296-602--2**

В учебнике рассмотрены современные и перспективные направления техники и технологии горной промышленности, научно-практические обоснования параметров горных и строительных машин и этапы их развития, технические средства очистных и подготовительно-проходческих горных и строительных работ с учетом определения их параметров. Приведены вопросы автоматизации и роботизации горно-шахтного оборудования. Описаны принципиальные логические схемы адаптивно-программного управления технологическими процессами горных машин. На базе автоматизированных выемочных манипуляторов разработаны робототехнологические комплексы с привязкой к существующей механизированной крепи.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, магистрантов и PhD докторантов специальностей 5В070700 «Горное дело», 5В072400 «Технологические машины и оборудование», а также для научных работников, специализирующихся по механике, мехатронике и робототехнике

**ISBN 978-601-296-602-2**

© Карагандинский государственный  
технический университет, 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	
<b>ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ</b> .....	
.	
Определения, классификация и основные понятия.....	
Социальные, экономические и эксплуатационные требования, предъявляемые к горным технологическим машинам и комплек- сам.....	
Влияние горнотехнических условий на показатели технологичес- ких машин при проведении горных выработок.....	
Технические средства и потребность.....	
Механизация процессов горных работ.....	
Этапы развития ГМ/ЭМО очистных работ угольных шахт.....	
Классификация комбайнов и предъявляемые к ним требования....	
Исполнительные органы горных технологических машин.....	
Кинематический расчет редукторов.....	
Проходческие комбайны с корончатым исполнительным органом	
Автоматизация проходческих комбайнов.....	
Технологические требования и характеристики деталей горных и строительных технологических машин.....	
<b>ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН</b> .....	
Привод исполнительных органов выемочных, проходческих и буровых технологических машин.....	
Приводы рабочих органов.....	
Зубчатые передачи и редукторы технологических машин.....	
Резьбовые соединения.....	
Подвижные соединения элементов передач горных технологических машин.....	
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК</b> .....	
Горная крепь.....	
Назначение и типы крепей.....	
Современные механизированные крепи.....	
Средства управления механизированными крепями очистных работ с использованием микропроцессорной техники.....	
Гидравлическая система секции крепи 2ОКП70К.....	
Рабочая характеристика податливости гидростойки.....	
Проектирование источников по личной информации.....	
Специальный транспортирующий став робототехнологического комплекса КРС.....	

Диагностирование и контроль эксплуатационных параметров конвейеров с применением микропроцессорного весоизмерителя.

## **РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ.....**

Научные основы создания робототехнологических горных комплексов.....

Разработка и создание роботизированного комплекса.....

Аппаратура управления робототехнологическим комплексом для селективной выемки угольных пластов.....

Средства управления механизированными крепями очистных работ с использованием микропроцессорной техники.....

Микропроцессорная система автоматического управления механизированной крепью.....

Линейный контроллер.....

Электрооборудование. Штрековый контроллер.....

Отличительные особенности способов обработки забоя с использованием выемочных манипуляторов.....

Выбор эффективного способа обработки забоя горным автоматическим выемочным манипулятором ВМФ-5.....

Выбор конструкции и схемы управления автоматического выемочного манипулятора робототехнологического комплекса.....

## **АДАПТИВНО-ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ, АГРЕГАТАМИ И МАШИНАМИ.....**

Система управления механизированными крепями.....

Основные требования к системе управления с использованием микропроцессорной техники.....

Разработка блок-схемы системы управления на примере угледобывающего манипулятора агрегата ВМФ-5.....

Программа управления манипулятором ВМФ.....

Выбор и обоснование электрогидравлических устройств сопряжения и датчиков.....

Алгоритм управления механизированного комплекса при селективной выемке.....

Разработка алгоритмов и управляющих программ для управляющей системы на базе МПК серии РМ-4.....

Разработка функциональных схем управляющей системы манипуляторов агрегата ВМФ-5.....

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСТАНОВЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ФЛАНГОВО-ФРОНТАЛЬНОЙ ВЫЕМКИ.....**

Общие сведения, цели и анализ состояния эффективных средств механизации на крутонаклонных пластах.....

Опыт работы выемочных манипуляторов ВМФ с различными конструктивными

схемами.....	
Аналитические и экспериментальные исследования устойчивости работы выемочных манипуляторов ВМФ.....	
Стендовые испытания выемочных манипуляторов для флангово-фронтальной выемки.....	
Стендовые испытания исполнительного органа – диска с отрывом манипулятора ВМФ.....	
Шахтные испытания манипуляторов для флангово-фронтальной выемки угольных пластов.....	
Исследование параметров следящих приводов автоматизированного управления выемочного манипулятора ВМФ-4П.....	
Программное управление автоматическим манипулятором типа ВМФ-4П.....	
Выбор и обоснование системы управления роботизированного комплекса с автоматическими манипуляторами.....	
Моделирование рабочего действия манипулятора ВМФ- 5 на аналоговых вычислительных машинах.....	
Исследование и создание системы стабилизации и нагрузки автоматического выемочного манипулятора.....	
<b>ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ.....</b>	
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	

## **ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ И СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ. ВВЕДЕНИЕ**

Государственная программа развития образования РК на 2010-2015 годы предусматривает структуру и образовательные программы, профессиональную подготовку кадров технических специальностей высших учебных заведений путем обеспечения современными учебно-методическими пособиями и учебниками, а также демократизацией учебного процесса. Одним из приоритетных направлений принятой Правительством Республики Казахстан концепции горной отрасли до 2020 года являются роботизация и автоматизация производственных процессов, экологическая безопасность и меры по снижению отрицательного воздействия на людей и окружающую среду

Современный технический прогресс на настоящем этапе характеризуется бурным внедрением достижений микроэлектроники и информатики во все отрасли народного хозяйства. Сейчас трудно найти сферы производства, горнодобывающей отрасли, быта, транспорта, связи или другие сферы жизнедеятельности человека, в которых не применялись бы те или иные технические средства совместно со средствами электроники. Одним из явных представителей новой техники свидетельствующих о результатах, достигнутых в области слияния механики и электроники, являются роботы.

Роботы применяются преимущественно как средства автоматизации производства для выполнения тех или иных технологических операций. Дальнейшее совершенствование роботов открывает в перспективе возможности применять их для выполнения сложных операций: сборочных, подводных - при бескабельном управлении, программно-управляемых подвижных - в неблагоприятных условиях окружающей среды, добычи угля или по нахождению радиоактивных и химических веществ, а также инспекции в недоступных местах и спасательных работ в экстремальных условиях, а также в других областях.

В отличие от большинства известных машин, роботы призваны выполнять непосредственно заданные функции человека, т.е. они изначально создаются, исходя из подобию человеку. Например, функции скелета и мышц человека в роботах выполняет исполнительная система. Умственные функции человека в роботах реализует управляющая система, а функции органов чувств человека - информационно-сенсорная система. Из указанных систем особое место занимает исполнительная система (исполнительный механизм) робота, по которой можно судить насколько успешно робот заменяет заданные функции человека.

Большое разнообразие горно-геологических и горнотехнических условий и соответствующих им технологических схем подготовки месторождений и добычи полезных ископаемых требует создания весьма разнообразной горнопроходческой горнодобывающей техники. При этом важной социальной проблемой является обеспечение безопасных и комфортных условий труда рабочих.

Технической основой решения всех этих задач является комплексная механизация и автоматизация основных технологических процессов горного производства. Осуществление поставленной стратегии индустриально-

инновационного развития РК на 2007-2020 годы обеспечивает техническое перевооружение горнодобывающей промышленности на базе создания новых высокопроизводительных горных машин и комплексов, необходимых для концентрации и интенсификации производства, повышения производительности труда и безопасности работ, ликвидации тяжелого физического труда.

В настоящее время уже решается задача создания автоматизированных комплексов и агрегатов, обеспечивающих добычу полезных ископаемых без постоянного присутствия рабочих в очистных и проходческих забоях путем создания робототехнологических горных комплексов, которые обеспечивают исключение человеческих жертв. При этом решение задачи оснащения и технического перевооружения предприятий идет не только по пути увеличения объемов производства машин и средств комплексной механизации и автоматизации, но и по пути качества машин, путем повышения удельной мощности, снижения металлоемкости, повышения их надежности и долговечности, обеспечения комфортности труда и удобства в эксплуатации.

В учебном пособии обобщены исследования, проведенные авторами, а также материалы, опубликованные в отечественной и зарубежной печати по данной тематике, изложена в систематизированном виде создания робототехнологического комплекса селективной выемки угля с адаптивным программным управлением горных автоматических выемочных манипуляторов ВМФ-5 и ВМФ-6.

Авторы искренне признательны коллективам кафедр «Разработка месторождений полезных ископаемых» и «Горные машины и оборудование» Карагандинского государственного технического университета, коллективам кафедр «Робототехника и технических средств автоматизации», «Горные и транспортные машины» Казахского национального технического университета К.И. Сатпаева. за весьма полезные советы и замечания, сделанные при рецензировании рукописи данного учебного пособия.

Материал учебных пособий рассчитан на ученых-исследователей, разработчиков горных роботов, студентов обучающихся по специальностям связанным с механикой, мехатроникой и робототехникой. Авторы, заранее благодарны тем, кто при внедрении учебного пособия в учебные процессы внесет ценные замечания.

## **1 ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**

### **1.1 Определения, классификация и основные понятия**

Становление и развитие робототехники стимулировало появление нового научного направления мехатроники, которое получило окончательное признание после того, как в 1984 г. обществом инженеров-механиков было выпущено 7-томное издание по мехатронике [1]. По определению японских ученых,

мехатроника есть наука объединяющая достижения механики и электроники. Робот является одним из основных объектов изучения этой науке. Из различных определений понятия «робота» наиболее верное и полное на наш взгляд, дано Эйдзи Накано: «Робот - это механическое устройство способное при помощи своих электронных и технических средств (подобных органам чувств и разума человека) выполнять какую-либо работу и имеющее внешнее и функциональное сходство с человеком или некоторыми другими живыми существами» [66].

Наиболее полная классификация всевозможных роботов дана в работах [3,4]. Выделены два класса роботов, моделирующие конечности человека: манипуляционные роботы, выполняющие работу рук человека, и мобильные шагающие роботы, имеющие для передвижения устройства подобные ногам. В общем случае робот состоит из двух органически связанных механической и электронной части. Механическая часть включает исполнительный механизм в виде манипулятора с рабочим органом и устройства передвижения. В качестве элементных баз второй части робота, которая называется управляющей системой, использованы преимущественно различные электронные средства. Управляющая система состоит из вычислительных устройств (ЭВМ), микропроцессоров, цифроаналогового преобразователя, усилителя тока, др. электронных средств; информационно-измерительной системы и системы связи. Предметом исследования в данной работе являются робототехнологический комплекс с адаптивным программным управлением на базе горного автоматического манипулятора типа ВМФ-5,6 исполнительных механизмов роботов, т.е. управляемые многоподвижные механизмы, которые в зависимости от назначения могут быть автоматически управляемых ориентирующих устройств. В состав управляемых телескопических стрелы входят приводные кинематические пары, турели. Относительные движения звеньев, образующих приводные кинематические пары, выполняются с помощью управляемого привода. Если, например, в одноподвижной приводной кинематической паре привод не осуществляет заданные относительные движения звеньев, то приводная кинематическая пара перестает быть одноподвижной кинематической парой, а звенья, образующие кинематическую пару, становятся единым звеном. По этой причине управляемые многоподвижные механизмы, в зависимости от управляющих сигналов на входе привода могут иметь в разные моменты времени различное число подвижных звеньев и кинематических пар.

Конкретизируем также понятие степени свободы и степени подвижности. Применительно к управляемым механизмам число степеней свободы и число степени подвижности в общем случае не совпадает [5]. Действительно, как известно, свободное тело имеет шесть степеней свободы, поэтому рабочий орган манипулятора или любое его звено не может иметь число степеней свободы более шести [7]. В то же время число степеней подвижности манипулятора, в целях обеспечения обхода препятствия или увеличения рабочей зоны и т. д., может быть принято каким угодно большим. В то же время число степеней подвижности манипулятора, исходя из условия обеспечения требуемой длины, может быть любым целым числом, большим единицы. В связи с этим в дальнейшем принято, что числом степеней свободы является число независимых

параметров определяющих положение рассматриваемого звена (тела) относительно инерциальной (условно неподвижной) системы отсчета [7]. В отличие от числа степеней свободы, числом степеней подвижности называется максимальное число независимых возможных перемещений, определяющих положение рабочего органа управляемого многоподвижного механизма, без учета собственных подвижностей рабочего органа.

## **1.2 Социальные, экономические и эксплуатационные требования, предъявляемые к горным технологическим машинам и комплексам**

К создаваемым горным технологическим машинам предъявляются высокие технические и социально-экономические требования. Машина должна:

- заменять тяжелый труд рабочих;
- обеспечивать высокую производительность и эффективность;
- обеспечивать надежность и долговечность в эксплуатации;
- гарантировать полную безопасность, комфортабельность и необходимые гигиенические условия труда.
- соответствовать современному уровню развития техники;
- придавать удобную форму с целью повышения маневренности и улучшения транспортабельности узлов машины.

**Эксплуатационные требования и условия.** Значительная влажность рудничной атмосферы и агрессивность шахтных вод приводят к ускорению коррозии, резко уменьшающей срок службы горных машин. В связи с этим детали горных машин должны изготавливаться из антикоррозийных материалов или подвергаться специальному покрытию горячим цинкованием, лаками, полимерными материалами и др. Большая запыленность рудничной атмосферы, проникающая внутрь машин, резко снижает долговечность трущихся пар (шестерен, подшипников и др.) и заставляет, помимо борьбы с пылеобразованием, надежно защищать элементы горных машин от падения, пыли и грязи.

Высокие абразивность и твердость руды и породы приводят к быстрому износу элементов горных машин, что требует выполнения их из особо прочных и износостойких материалов, заставляет изыскивать специальные схемы работы элементов исполнительных органов и предусматривать возможность быстрой замены деталей, подверженных особо быстрому износу.

Тяжелые, резко изменяющиеся условия работы горных машин с внезапными перегрузками, возникающими от обрушения горной массы, попадания крупных кусков, а иногда и заклинивания исполнительного органа твердыми включениями, приводят к необходимости проектировать детали горных машин с достаточными запасами прочности, а приводы их оборудовать специальными предохранительными муфтами. Рабочее место многих горных машин, особенно предназначенных для очистных и проходческих работ, непрерывно меняется, в связи с чем такие машины должны обладать особенно хорошей маневренностью и оборудоваться специальными устройствами,

облегчающими перемещение их при работе и переводе с одного рабочего места на другое.

При проектировании, выборе и эксплуатации горных машин необходимо исходить из требований безопасности и удобства их обслуживания, облегчения управления, простоты монтажа и демонтажа. Особое внимание должно уделяться изоляции токоведущих частей, заземлению корпусов и защите обслуживающего персонала от движущихся элементов. Это диктуется стесненностью рабочего места, необходимостью изменения положения обслуживающего персонала относительно машин, трудностью использования защитной спецодежды и неудобством работы в ней в условиях горных выработок, т.е. в условиях, при которых возрастает опасность травмирования обслуживающего персонала.

Условия эксплуатации машин под землей, где из-за недостаточной освещенности, запыленности и стесненности рабочего места ремонт практически невозможен, а выдача своей машины на поверхность сильно затруднена, требуют, чтобы она состояла из отдельных быстро и легко заменяемых узлов.

С целью устранения необоснованной многотипности и повышения серийности горных машин в последние годы в горной промышленности вводятся единые общесоюзные стандарты – ГОСТы – на горное оборудование, создающееся на базе типажей и размерных или параметрических рядов. Под термином «типаж» имеется в виду совокупность машин, представляющая экономически целесообразную и минимально необходимую номенклатуру (при максимальной унификации узлов и деталей), полностью обеспечивающую нужды народного хозяйства, в частности, горную промышленность. Размерным или параметрическим рядом машин называют ряд числовых значений одного или нескольких основных параметров, характеризующих главные эксплуатационные или производственные показатели, однозначно определяющие размеры машин, с учетом модульных структур:

$$P = P_1 Q^{n-1} \quad (1.1)$$

где  $P$  – значение интересующего члена в ряде чисел;

$P_1$  – значение первого члена ряда;

$n$  – порядковый номер интересующего члена в ряде;

$Q$  – знаменатель прогрессии, определяющий густоту ряда.

По ГОСТу 80032-76 установлено пять основных рядов предпочтительных чисел (R5, R10, R20, R40 и R80), из которых в горной промышленности применяются только первые три.

Каждый последующий член основного ряда чисел может быть получен уменьшением предыдущего на знаменатель прогрессии ( $a=10$ ), в котором показатели степени корня ( $m$ ) являются соответствующими показателю основания ряда (5, 10, 20, 40 или 80). Если первый член ряда применять равным единице ( $P_1=1$ ), то ряды представятся в виде: то есть 1,00; 1,60; 2,50; 4,00; 6,30; 10,00 и т.д. то есть 1,00; 1,25; 1,60; 2,00; 2,50; 3,15; 4,00 и т.д., то есть 1,00; 1,12; 1,25; 1,40; 1,60; 2,00 и т.д.

При выборе параметрического ряда стараются отдавать предпочтение ряду с большим значением знаменателя прогрессии ( $a$ ), т.е. ряду большей «густоты».

При этом произведение или частное двух предпочтительных чисел является также предпочтительным числом. Помимо основных могут применяться производные ряды, получаемые организованным отбором чисел из основного ряда (каждого второго числа, каждого третьего числа и т.д.) или неорганизованным. Материалами для создания размерных рядов и типажа являются обобщенные данные о потребностях в странах СНГ в горных машинах с учетом технического прогресса и масштабов развития горнорудной промышленности, предусмотренных перспективным планом. Для установления рациональных параметров машин, включаемых в ряд, и оптимальной «густоты» ряда используют метод технико-экономического анализа.

Основными направлениями технического развития горнодобывающей промышленности предусматриваются реконструкция, модернизация и техническое перевооружение предприятий, концентрация производства, совершенствование технологии добычи и переработки угля, руды на основе внедрения новейших достижений науки и техники.

Развитие и внедрение средств комплексной механизации и автоматизации работ в очистных забоях должно происходить по следующим основным направлениям:

- завершение в ближайшее время во всех основных угольных бассейнах страны механизации навалки угля на базе повсеместного и полного перехода к узкозахватной, струговой и фронтальной роботизированной выемке угля;
- увеличение объемов производства, комплексов оборудования и угледобывающих агрегатов, работающих при помощи гидравлики с автоматизированным и дистанционным управлением с центрального пункта с групповым автоматическим управлением, а также к роботизации технологическими процессами выемки угля в очистном забое.

### **1.3 Влияние горнотехнических условий на показатели технологических машин при проведении горных выработок**

Основной объем выработок проводится на угольных шахтах страны, где ежегодно проводится свыше 7 200 тыс. м подготовительных выработок в разных горно-геологических условиях [8,9, 10].

Диапазон применения мощности пластов – от 0,5 до 15 м, углы падения – от 0 до 90°, породы кровли и почва имеют различную крепость  $f$ , площадь поперечного сечения – от 1,5 до 20 м<sup>2</sup> и длина – от 6 до 1000 м.

Различные условия предопределяют многообразие видов выработок и влияют на выбор средств механизации. Для определения оптимальных условий эффективного применения горнопроходческих машин все выработки систематизированы по факторам, определяющим выбор средств и способ их проведения. Весь годовой объем горных выработок разделен на две части:

- горизонтальные от 0 до 5° и наклонные с углом свыше 6°. В зависимости от крепости – выработки, проводимые по породам с  $f$  до 4,4/6 и свыше 6°. Данная

группировка выбрана с учетом конструктивных особенностей горно-геологических машин. Крепость до 4 является крайней границей применения комбайнов ПК-9р, ГПК, «Союз», КСП-32 и др., а также ручных электросверл. Коэффициент крепости  $f=6$  ограничивает область применения проходческого комбайна 4ПП-5 и погрузочной машины ПНБ-4.

По углу наклона выработки делятся на три группы: с углом наклона 6/18, 19/35 и свыше 35°. Угол наклона 6/18° ограничивает область применения машины на гусеничном ходу в сочетании с дополнительными удерживающими устройствами и является крайней границей применения ленточных конвейеров (кроме специальных). Угол 19/35° при проходке сверху вниз ограничивает начало области применения доставки по эмалированным растокам плит и подвески проходческих машин и канату лебедки.

Угол свыше 35° при проходке снизу вверх обуславливает доставку горной массы самотеком и при проходке сверху вниз – применение грейферной погрузки в скипы.

В зависимости от длины выработки – до 150 м и выше. Длина менее 150 м является крайней границей эффективного применения нарезных и проходческих комбайнов.

По размерам поперечных сечений в проходке – до 2; 2,1/5; 5,1/9; 8,1/10; 10,1/12; 12,1/14; 14,1/16 и выше 16 м<sup>2</sup>.

По данным шахт, из 7300 тыс. м 69,5% – горизонтальные, 31,5% – наклонные выработки, 51,3% – проводятся по углю, 42,8% – по смещенным забоям и 5,3% – по породе; 42,4% выработок имеют длину до 150 м, 57,6% – свыше 150 м. Сечение 14,1/16 м<sup>2</sup> имеет 1% и 3,1/8 м<sup>2</sup> – 33% выработки.

Основным направлением технической политики в области горнопроходческих работ является повышение уровня механизации путем количественного и качественного роста парка оборудования. При этом в выработках основного направления, проходимых по углю с присечкой пород  $f$  до 4, рекомендуется максимально использовать проходческие комбайны избирательного действия; при большей крепости – погрузочные машины непрерывного действия и бурильные установки; в нарезных и прочих выработках – скреперные грузчики.

Для горизонтальных и наклонных выработок, проводимых по углю с присечкой породы  $f=6/8$ , применение комплексов на базе комбайнов роторного типа; для горизонтальных и наклонных выработок, проводимых по углю мощностью 1,2-1,8 м, – без подрывки боковых пород.

Механизированная погрузка внедрялась в основном при проведении горизонтальных выработок большой протяженности. Проходка нарезных и прочих выработок, составляющих половину всех выработок, во многих случаях вообще немеханизирована из-за отсутствия оборудования для сечения до 4 м<sup>2</sup> малой протяженности до 50 м и уклоном более 12°.

#### 1.4 Технические средства и потребность

Человек характеризуется как непрерывным ростом своих потребностей, так и использованием орудий производства или технологических машин и оборудования. Рост потребностей обуславливает производство новых технологических машин и оборудования (технических средств).

В процессы удовлетворения общественных потребностей техническими средствами входит выявление следующих этапов: проектирование, конструирование, изготовление и эксплуатация технических средств.

В результате проектирования создается основа для конструирования, но окончательная оценка их работы определяется эффективностью действия технического средства в процессе удовлетворения общественных потребностей. За конструированием следует изготовление, операционной основой которого служит конструкция. Изделие должно иметь свойства, определяемые конструкцией.

Технические средства (технологические машины и оборудование) – машины и помещения – представляют собой искусственные материальные комплексы (движимые и недвижимые), необходимые в жизни. Их создание и использование входят в обязанности инженеров-проектировщиков, конструкторов и производителей. Следует отметить, что эффективность действий инженера как в производственном, так и эксплуатационном процессах зависит от используемых проектов и конструкций.

На рисунок 1.1 представлена модель системы, служащей основой процесса удовлетворения потребностей техническими средствами.



Рисунок 1.1 - Модель системы, служащей основой процесса удовлетворения потребностей

Существенная особенность технических средств – их действия – направлена на удовлетворение потребностей. На рисунок 1.2 выход прямо или косвенно сориентирован на потребности.

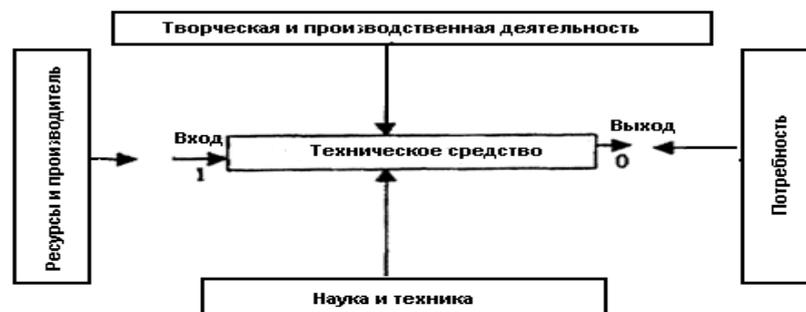


Рисунок 1.2 - Особенности технических средств и их действия на потребности

Вход 1 обеспечивается наличием энергетических и сырьевых ресурсов.

Творческая и производственная деятельность в сочетании с практическими и теоретическими знаниями (техника и наука) – вот те факторы, которые обеспечивают реализацию технического средства в соответствии с потребностями и являются актуальными, а также потенциальными возможностями.

От этого зависят структуры и состояния, которые можно придать будущему техническому средству в процессе проектирования. Кроме того, свойства технических средств зависят от их особенностей (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 - Современное зарубежное оборудование

Закон возрастания энтропии выполняется и применительно ко всевозможным материальным комплексам (движимым и недвижимым). Любой материальный комплекс со временем неизбежно подвергается распаду (например, этапы создания средств очистной выемки угля или этапы создания легковых автомобилей). Рано или поздно машины и помещения выбывают из процесса эксплуатации и ликвидируются. Цикл существования технического средства неизбежно замыкается.

Периодическое замыкание цикла условно показано спиралью на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 - Модель рационального использования технических средств, продукции, материалов

Можно утверждать, что способ рациональной ликвидации технического средства должен быть необходимым, системным и конструкторским критерием еще при его создании. Принятие во внимание этого критерия при оценке процесса оптимизации системы и конструкций может существенно повлиять на решение задач проектирования и конструирования.

## 1.5 Механизация процессов горных работ

Конкретное осуществление технологического процесса неразрывно связано с теми средствами механизации, для которых он предназначен. С развитием технологии горного производства идет постоянное совершенствование и развитие схем механизации основных технологических процессов горных работ.

Технологический процесс добычи полезного ископаемого ( $T_{nd}$ ) включает выемку – отработку выемочного поля, транспортирование (В), транспортировку (Т) и первичную технологическую переработку – обогащение (О).

**Под технологическим процессом** понимается часть производственного процесса, содержащего действия по изменению к последующему определению состояния предмета производства. Предметом производства для горных предприятий являются добываемые полезные ископаемые: руда, фосфорит, калийная соль, апатит, строительные материалы и др.

Законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте, называется **операцией**. Операции являются основными функционально-определенными элементами, на которые делится технологический процесс. Основными функциональными элементами являются:

- выемка ® собственно выемка В, доставка Д, крепление призабойного пространства и управление кровлей К;
- транспортировка ® загрузка З, собственно транспортировка Т, разгрузка Р;
- обогащение ® грохочение Г, отделение крупных кусков пустой породы О, собственно обогащение или сортировка С;
- В.Т.О.У. ® (В.Д.К.У.)з(З.Т.Р.У.)•(Г.О.С.У.) ® (роботизированный комплекс).

Функциональным элементам технологического процесса добычи соответствует своя механизация. Приняв буквенные обозначения, можно составить структурные формулы систем механизации.

Между функциональными машинами, составляющими структуру механизации технологического процесса добычи полезного ископаемого, существует три вида связи: технологическая (-), кинематическая (+) и конструктивная (.).

Пользуясь принципами согласования, сочленения и совмещения структурных элементов с учетом возможного их вырождения, можно получить 24 формально структурные формулы средств и системы механизации, соответствующие процессу выемки (таблица 1.1), транспорта (таблица 1.2) и обогащения (таблица 1.3). Процессы выемки, транспорта и обогащения являются составляющими технологического процесса добычи полезного ископаемого. В таблице 1.4 приводятся структурные формулы технологического процесса добычи полезного ископаемого. Каждая таблица содержит семь групп и четыре вида средств механизации: индивидуальная функциональная машина (первая группа), комплекты функциональных машин (вторая группа), комплексы функциональных машин (третья и четвертая группы), агрегаты функциональных машин (пятая, шестая и седьмая группы).

Восьмая группа – роботизированный комплекс при конструктивной связи элементов управления.

Каждая последующая группа отражает более высокую степень развития средств механизации по сравнению с предыдущей.

С целью придания большей определенности символы элементов в структурных формулах снабжаются индексами и при необходимости указываются количественные значения определяющих параметров функциональных машин.

Например, выемочный комплекс со шнековым выемочным комбайном для мощности пласта 0,8-1,2 м, передвижным скребковым конвейером с шириной рештачного става 0,65 м и гидрофицированной секционной крепью, несущей способность 50 м<sup>2</sup>, можно представить как:

$$V_{II} = V_{0,8-1,2} + D_{КСП}^{0,65} + K_{ГС}^{50}, \quad (1.2)$$

где II – номер структурной формулы в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Структурное строение и классификация средств механизации процесса выемки полезного ископаемого

Принципы построения структурных формул	Согласование элементов						Базовая формула	Сочленение элементов						Совмещение элементов										
	С вырожденным двух элементов			С вырождением одного элемента				С согласованием		Полное	С вырождением		С согласованием		С сочленением		Полное	С вырождением						
Структурные формулы	В	Д	К	В-Д	В-К	Д-К	В-Д-К	В+Д-К	В+К-Д		В-Д+К	В+Д+К	В+Д	В+К	Д+К	В*Д-К		В*К-Д	В-Д*К	В*Д+К	В*К+Д	В+Д*К	В*Д*К	В*Д
№ формула	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Группы средств механизации	I			II			III				IV		V			VI		VII						
Средства механизации выемки угля	Индивид. функцион. машины.			Комплекты функциональн. машин			Выемочные комплексы						Выемочные агрегаты											
Особенности средств механизации выемки угля	Обособленные			Неполные			Полное	В комплексе с функциональными машинами		Полное	Неполные		В комплексе с функциональными машинами		В комплексе с функцион. машин.		Полное	Неполные						

Таблица 1.2 – Структурные формы и классификация средств механизации процесса транспорта полезного ископаемого

Принципы построения структурных формул.	Согласование элементов						Базовая формула	Сочленение элементов						Совмещение элементов										
	С вырожден. двух элементов			С вырождением одного элемента				С согласованием		Полное	С вырождением		С согласованием		С сочленением		Полное	С вырождением						
Структурные формулы	З	Т	Р	З-Т	З-Р	Т-Р	З-Т-Р	З+Т-Р	З+Р-Т		З-Т+Р	З+Т+Р	З+Т	З+Р	Т+Р	З*Т-Р		З*Р-Т	З-Т*Р	З*Т+Р	З*Р+Т	З+Т*Р	З*Т*Р	З*Т
Группы средств механизации	I			II			III				IV		V			VI		VII						
Средства механизации транспорта угля	Индивид. функцион. машины			Комплекты функцион. машин			Транспортные комплексы						Транспортные агрегаты											
Особенности средств механизации транспорта угля	Обособленная			Неполные			Полное	В комплексе с функцион. машинами		Полное	Неполные		В комплексе с функцион. машин		В комплексе с функцион. машин		Полное	Неполные						
№ формула	1	2	3	4	5	6		7	8		9	10	11	12	13	14		15	16	17	18	19	20	21

Например, формула 1.3 в табл. 1.4 при механизации выемки агрегатов со структурной формулой 20 (табл. 1.1), механизации транспорта комплексом с формулой II (табл. 1.2) и механизацией обогащения по формуле 12 (табл. 1.3) имеют вид:

$$ПТД = V_{20} + T_{II} = O_{12} \quad (1.3)$$

где  $ПТД$  – механизация технологического процесса добычи полезных ископаемых.

Таблица 1.3 – Структурное строение и классификация средств механизации процесса обогащения полезного ископаемого

Принципы построения структурных формул	Согласование элементов						Сочленение элементов							Совмещение элементов																	
	С вырождением элементов			С вырождением одного элемента			Согласованием	Полные	С вырождением				Согласованием	Сочленением	Полные	С вырождением															
	Г	О	С	Г-О	Г-С	О-С			Г-О-С	Г+О-С	Г+С-О	Г-О+С				Г+О+С	Г+О	Г+С	О+С	Г*О-С	Г*С-О	Г-С*С	Г*О+С	Г*С+О	Г+О*С	Г*О*С	Г*О	Г*С	О*С		
№ Формул	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24							
Группы средств механизации	I			II			III				IV			V			VI			VII											
Средства механизации ПТПУ	Индивид. функцион. машины			Комплекты функциональных машин			Комплексы первичной технологической переработки угля							Агрегаты первичной технологической переработки угля																	
Особенности средств механизации ПТПУ	Обособленные			Неполные			Полные				В комплекте с функциональными машинами			Полные			Неполные			В комплекте с функциональ. машинами			В комплекте с функционал. машинами			Полные			Неполные		

Таблица 1.4 – Структурное строение и классификация средств механизации процесса добычи полезного ископаемого

Принципы построения структурных формул	Согласование элементов						Сочленение элементов							Совмещение элементов														
	С вырождением элементов			С вырождением одного элемента			Согласованием	Полные	С вырождением				Согласованием	Сочленением	Полные	С вырождением												
	В	Т	О	В-Т	В-О	Т-О			В-Т-О	В+Т-О	В+Т-О	В+Т				Т+О	В+О	В*Т-О	В*О-Т	В-Т*О	В*Т+О	В*О+Т	В+Т*О	В*Т*О	В*О	Т*З	В*О	
№ Формул	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
Группы средств механизации	I			II			III				IV			V			VI			VII								
Средства механизации добычи	Индивид. функцион. машины			Комплекты функциональных машин			Добычные комплексы							Добычные агрегаты														
Особенности средств механизации добычи	Обособленные			Неполные			Полные				В комплекте с функциональными машинами			Неполные			В комплекте с функциональ. машинами			В комплекте с функционал. машинами			Полные			Неполные		

Приведенные структурные формулы существующих и ожидаемых систем механизации являются основными для горных работ с технологическим процессом геологической разведки полезного ископаемого, с открытой и подземной добычей этого ископаемого. Только в каждом конкретном случае за структурными формулами будут стоять свои типы машин и механизмов.

Анализ приведенных формул систем механизации показывает, что в процессе эксплуатации горного оборудования энергомеханической службе горных предприятий приходится иметь дело с самым разнообразным составом машин и механизмов, технологически, кинематически и конструктивно связанных между собой. Это обуславливает разнообразные формы и стратегии технического обслуживания и ремонта систем механизации на горных предприятиях.

## 1.6 Этапы развития ГМ/ЭМО очистных работ угольных шахт

Проведенный научный анализ и исследование развития механизации выемки угля в очистных забоях в странах СНГ и за рубежом свидетельствуют, что этапы механизации выемки угля из очистных забоев можно классифицировать так, как показано на рисунок 1.5.

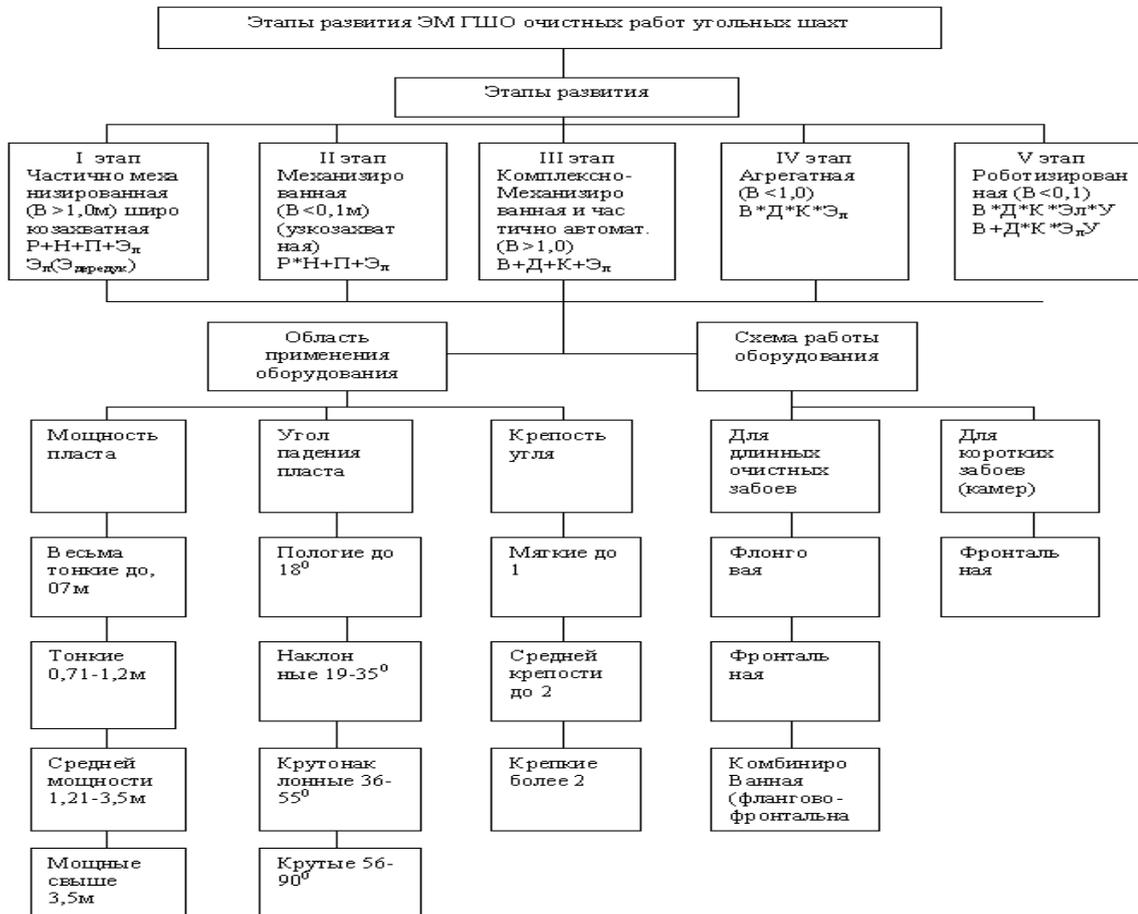


Рисунок 1.5 – Классификационная схема этапов развития выемки угля:  $Э_п$ - электропривод (эл.дв. редуктор-муфта);  $P$ -орган разрушения;  $N$ -орган навалки;  $П$ - орган перемещения;  $B$ -выемочная машина;  $Д$ -доставочная машина;  $К$ -механическая крепь;  $У$ -управление; (-)-технологическая связь;(+)- кинематическая связь; (\*)- конструкторская связь;  $B$ -ширина захвата очистных комбайнов

**1. Частично механизированная выемка угля (I этап)** начала осуществляться в довоенное время. Ее принципиальной особенностью является широкозахватная выемка угля, которая характеризуется: применением врубовых и врубонавалочных машин и угольных комбайнов с шириной захвата свыше 1 м; использованием разборных переносных преимущественно одноцепных скребковых конвейеров; применением индивидуальной крепи (деревянных и металлических стоек и верхняков); осуществлением выемки угля по односторонней схеме работы очистных машин и почвы пласта с холостым перегоном по лаве в исходное для работы положение; работой очистных машин на малых скоростях подачи; наличием ниш по концам лавы; немеханизованными вспомогательными операциями (рисунок 1.6).

В развитии механизации угледобычи этот этап сыграл большую роль, так как широкозахватные комбайны в сочетании со скребковыми конвейерами и индивидуальной металлической крепью позволили обеспечить резкий подъем механической добычи угля подземным способом.

Примером I этапа является выемка угля врубовыми и врубонавалочными машинами «Урал», широкозахватными угольными комбайнами «Кировец», «Донбасс», «Украина», ЛГД-2М, КЦТГ, К-56М и др. с применением разборных переносных скребковых конвейеров и деревянной или металлической крепи. Структурная формула – Р+Н-П [11–17].

**2. Механизованная выемка (II этап)** принципиально отличается от I этапа. Вместо широкозахватной выемки осуществляется узкозахватная, при которой механизуются и интенсифицируются основные производственные процессы в очистных забоях, а выемка угля производится, как правило, по челноковой схеме при увеличенных скоростях подачи очистных комбайнов. (Рисунок 1.7).

*Основные особенности II этапа:* применение узкозахватных угольных комбайнов с шириной захвата от 0,5 до 1,0 м и стругов; применение неразборных скребковых конвейеров с механизированной передвижкой на новую полосу в пределах ширины; крепление забоя металлическими стойками и верхняками, связанными между собой в комплекты; преимущественно челноковая схема работы комбайнов с рамы забойного конвейера; работа комбайнов и стругов на высоких скоростях подачи; высокая степень механизации основных процессов добычи угля (отбойка, навалка и доставка угля) с использованием средств малой механизации вспомогательных процессов; наличие односторонней ниши, связанной с конструкцией комбайна конвейера; использование в машинах дистанционного управления (рисунок 1.7).

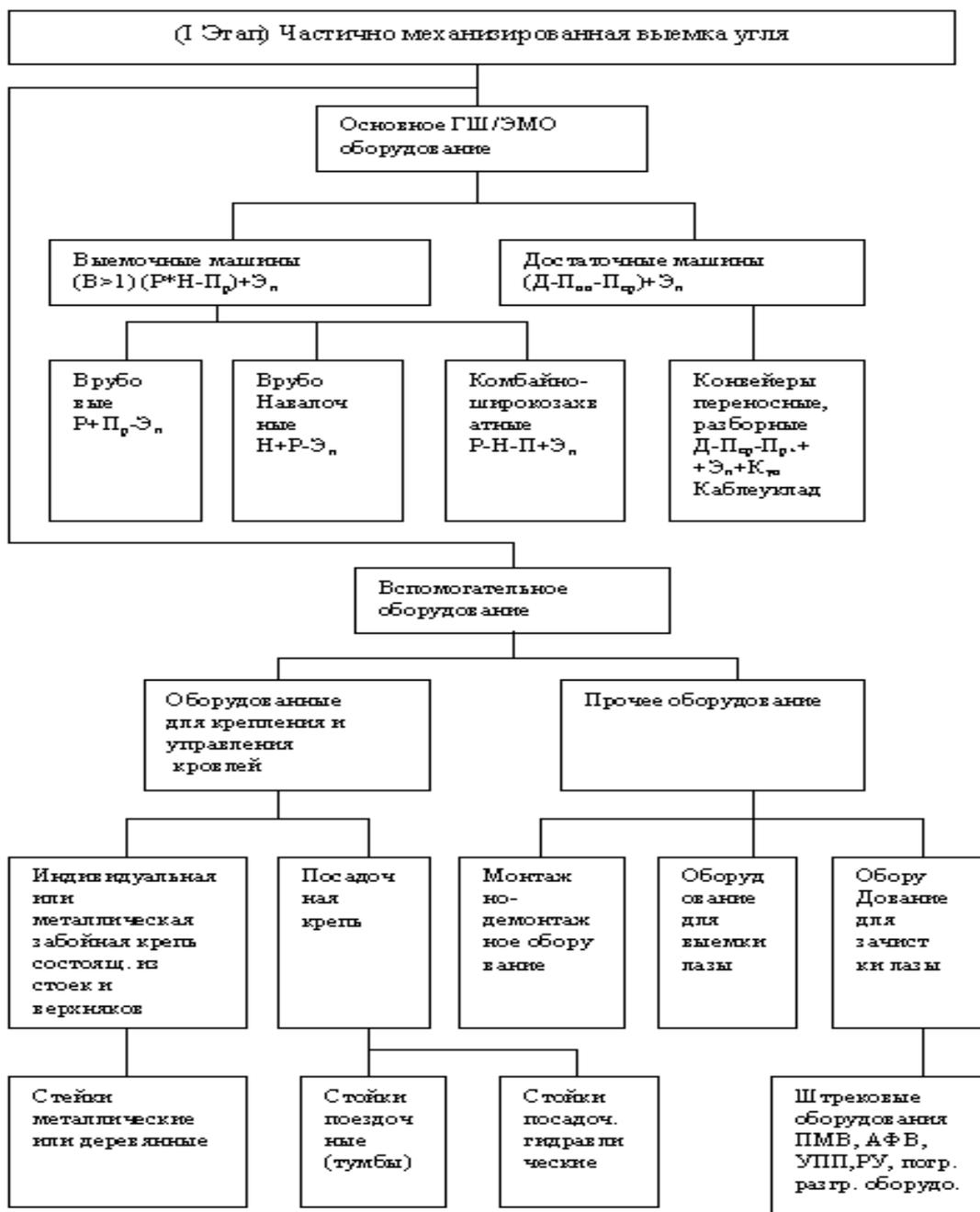


Рисунок 1.6 – Схема I этапа (частично механизированная выемка угля)

Примером II этапа является выемка угля с применением узкозахватных комбайнов МК-67, К-101, 2К-52, БК-52, КШ-ИГ, К-58М, КШ-3М, ГШ-68, РКУ, К-128П и др., а также струговых установок УСТ-2, УСБ-67, КД-80 с, индивидуальной металлической крепи и передвижного неразборного конвейера СП-63М.

На II этапе был осуществлен качественный переход от широкозахватной выемки угля в лавах к более прогрессивной – узкозахватной. Этот этап способствовал созданию и развитию новой техники для подземной угледобычи узкозахватных угольных комбайнов, передвижных скребковых конвейеров,

металлической индивидуальной и самопередвижной гидравлической крепи. Структурная формула имеет вид:  $P * H + П$  [18-20].

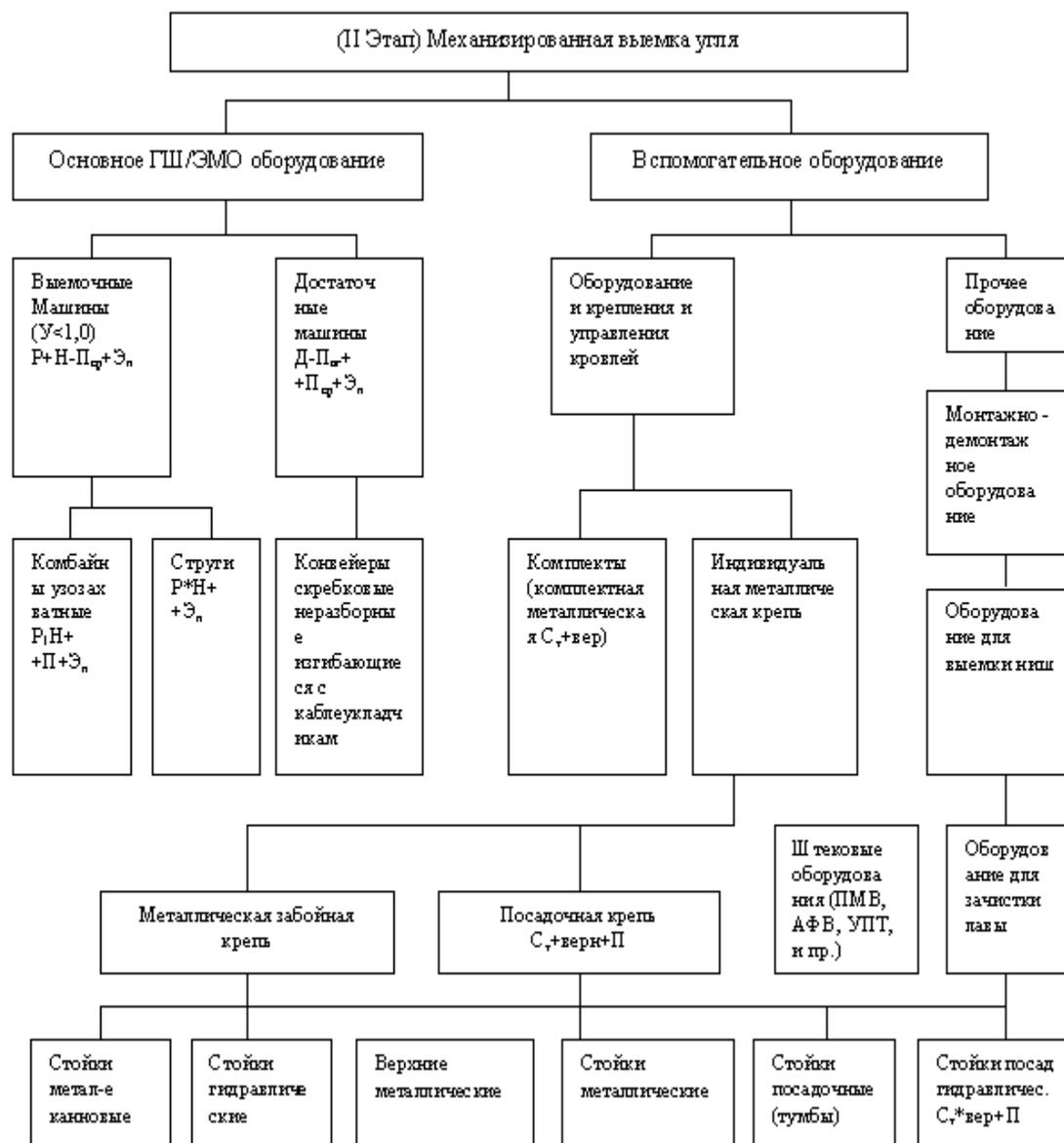


Рисунок 1.7– Схема II этапа (частично механизированная выемка угля)

**3. Комплексно-механизированная и частично автоматизированная выемка угля (III этап)** отличается от II этапа тем, что осуществляется комплексная механизация основных процессов угледобычи с частичной автоматизацией вспомогательных операций (крепление забойного пространства и управление кровлей) (рисунок 1.8).

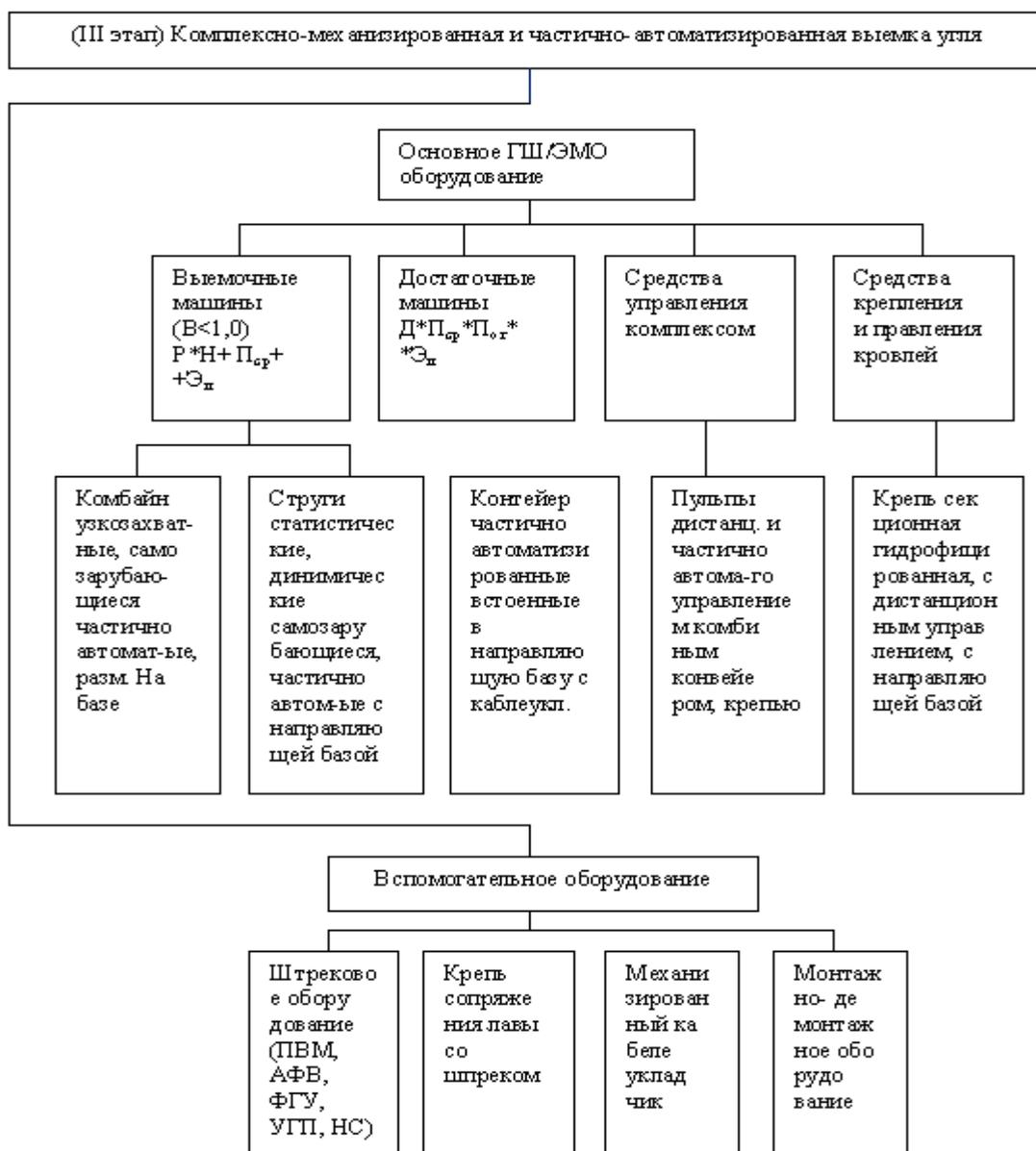


Рисунок 1.8 – Схема III этапа (комплексно-механизированная и частично автоматизированная выемка угля)

Основным оборудованием очистного забоя является, кроме узкозахватного комбайна и передвижного скребкового конвейера, механизированная и самопередвижная гидрофицированная крепь.

*Основные особенности III этапа:* применение комплексов оборудования в очистных забоях, состоящего из узкозахватного комбайна или струга, скребкового конвейера и самопередвижной крепи, взаимно объединенных и увязанных между собой основными параметрами, определяющими эффективность применения комплекса; использование в комплексе самозарубающегося высокоскоростного узкозахватного комбайна или струга с автоматическим регулированием по гипсометрии пласта, работающего с рамы конвейера по челноковой схеме; применение скоростного двух- или трехцепного конвейера, служащего базой комплекса; механизация крепления и управления

кровлей при помощи гидрофицированной передвижной крепи с дистанционным управлением; использование средств дистанционного управления и автоматизации режимов работы комбайнов, стругов, конвейеров, крепей и транспортных средств, расположенных за очистным забоем; полная механизация и частичная автоматизация основных вспомогательных процессов, в результате чего достигается более высокая добыча угля и значительно повышается производительность труда при одновременном снижении себестоимости угля.

Характерными примерами III этапа, которые действуют с 1965 года до настоящего времени, являются серийно выпускаемые очистные комплексы: ИКМ103, 2КМДМ («Донбасс-М»), ИКМ97Д, КМК97М, КД80, ИКМ88 (2КМ87УМН), КМ87УМП, КМ87УМС, КМТ, ИМКМ, МК75 (МК75Б), ОКП, ОКП70, 2КМ81Э, КМ130, ИУКП, 2УКПМ, а также комбайны фирм «Айкхофф», «ДБТ» (Германия), SL-300, SL-500, «Шарф», «Фазос» (Польша), «Глинник», узкозахватные очистные комбайны УДК-200, УДК-300, конвейер шахтный скребковый КСД-28.

Автоматизированные очистные комплексы: 2КМ87УМА, КМ-138А, КМ-140А, КМ-142А, 2КМ-144С, КМ-143, 1МКС, МКД 80С, КД90СО, КД90СН (при сопротивляемости до 300 кН/м).

Очистные комбайны: К-103, КА80, МК-67М, ИКЮИУ, 2К52МУ, ИГШ68, ИГШ68Е, 2ГШ68Б, КШКГУ, ВК, КШЗМ (Рисунок 1.9), 2КШЗ, ИКШЭ, SL-300, SL-500 типов ряда РКУ, «Поиск-2», «Темп-1», КШЗКГ, EDW-450-L (Рисунок 1.10), EDW-460-LH (Рисунок 1.11).

Крепи сопряжения пусковые: КСШ5К, ОКСИ, М81СК, СО75С и др.

Станции насосные: СНУ5 (СНУ5П, СНУ5Р), СНТ32, СНУ9, СН910 и др.

Струговые установки: УСТ2М, СО75, СН75, СН75, СО90, СН96, УСВ2, УС2У, КД-80С и др.

Машины для доставки и транспортирования угля:

- конвейеры скребковые: СПМ46, СПЦИ51, СП48М, СП202, СП202В1, СП87ПМ, СП301, СК38, С53МУ, С50, СР70М, СР60;

- перегружатели: ИКСП2Н, ПТК1, ПТК2У.

Каждый из этих комплексов включает в себя узкозахватный комбайн или струг, гидравлическую крепь и цельнопередвижной или изгибающийся конвейер, имеет структурную формулу:  $B+D+K$  [11-14].

Машины комплекса взаимно увязаны по своим основным параметрам. Наряду с комплексной механизацией процессов добычи угля осуществляется и их частичная автоматизация.

Перспективным планом развития угольной промышленности нашей страны намечено дальнейшее широкое развитие комплексной механизации, характерное для III этапа.

В настоящее время этот этап существует наряду со вторым, являясь более перспективным и обеспечивающим более высокую механизацию и автоматизацию подземной добычи угля.

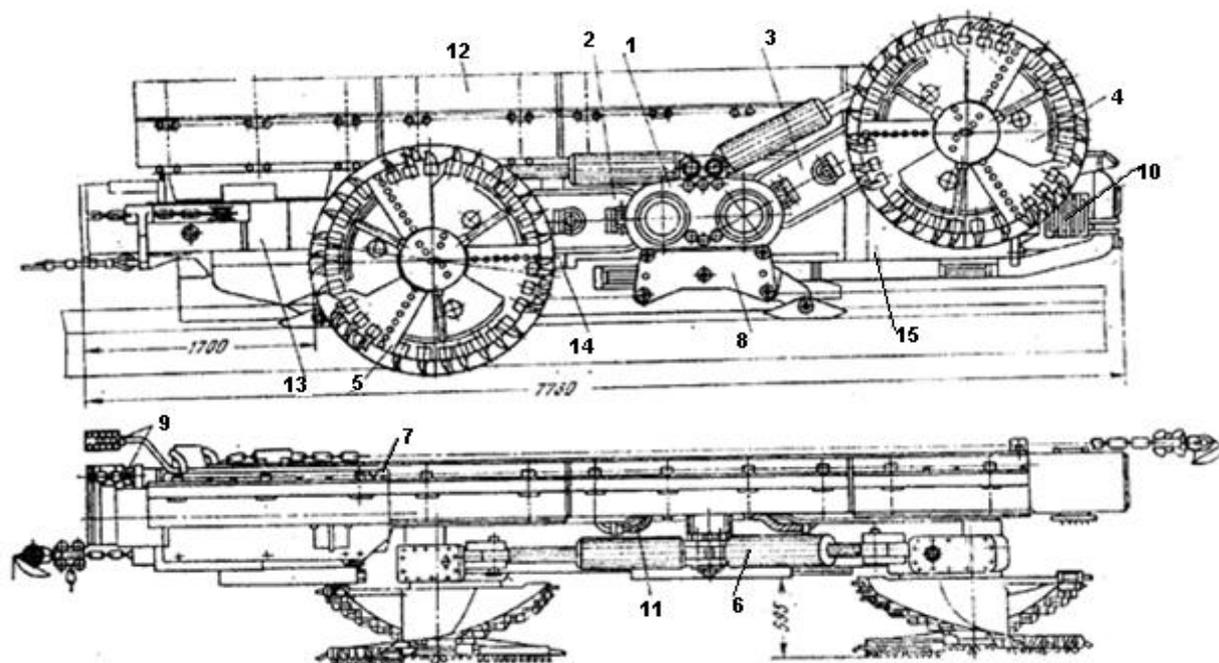


Рисунок 1.9 – Узкозахватный комбайн КШЗМ: 1 – центральный редуктор; 2 – поворотный левый редуктор; 3 – поворотный правый редуктор; 4 – левый шнек; 5 – правый шнек; 6 – гидрооборудование; 7 – гидростойки; 8 – опорно-направляющая пылеотсасывающая установка; 11 – оросительное устройство; 12 – ограждение; 13 – гидромеханическая часть механизма подачи Г405; 14, 15 – электродвигатели

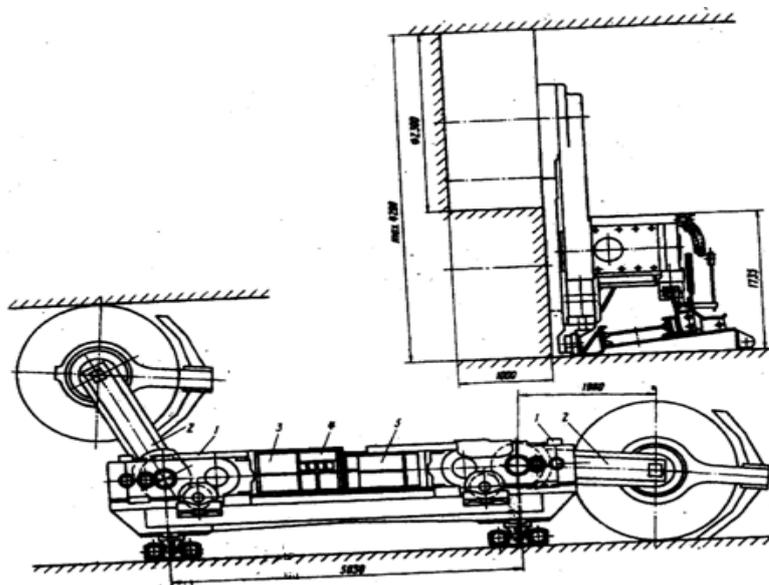


Рисунок 1.10 – Компоновочная схема комбайна EDW-450-L

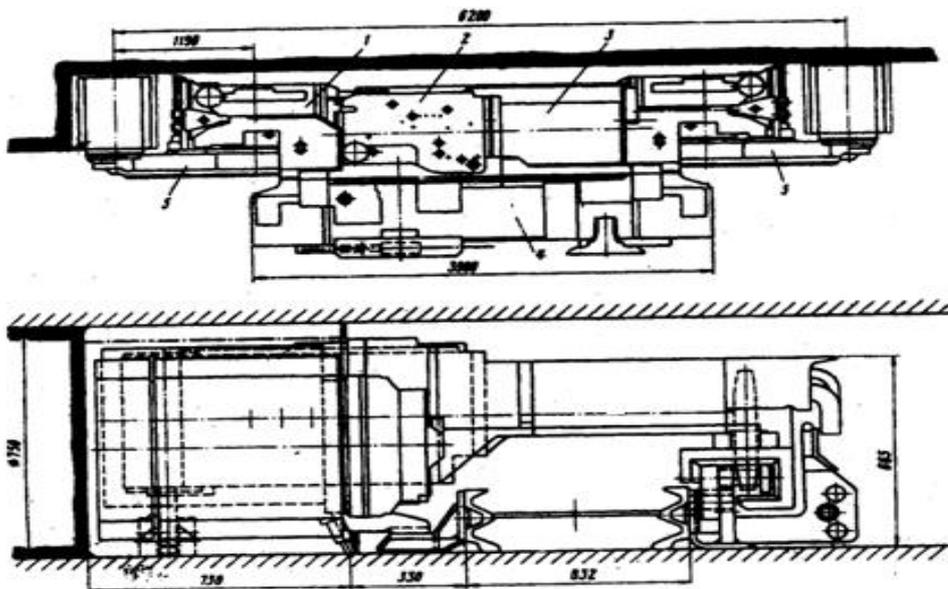


Рисунок 1.11 – Компоновочная схема комбайна EDW-450-LN:

1 – редуктор; 2 – механизм подачи; 3 – электродвигатель; 4 – портал; 5 – поворотный редуктор

**4. Агрегатная выемка угля (IV этап).** Условия эксплуатации характеризуются полной комплексной механизацией и автоматизацией как основных, так и вспомогательных процессов в лаве, начиная с 1975 года.

Принципиальной особенностью IV этапа является осуществление поточной добычи угля без постоянного присутствия людей в лавах.

Это обеспечивается применением специальных агрегатов, в которых выемочная машина (струг, манипулятор), гидравлическая самопередвижная крепь, доставочная машина (база конвейера) и другое оборудование конструктивно (огранически) связаны друг с другом, образуя одно целое; непрерывным движением исполнительного органа агрегата вдоль лавы и гидрофицированной крепи по простиранию пласта без конечных операций (выемки ниш), а также без остановок на вспомогательные операции; безлюдной выемкой угля при полной механизации и автоматизации всех процессов в очистных забоях и дистанционном управлении агрегатом (рисунок 1.12).

Механизированная выемка угля, характерная для IV этапа, осуществляется агрегатами АФК, АЩ, АЩН, АНЩ, АДК, АЗ и АКД2, АК-3, КПК-1М и др. В каждом из них выемочная машина с исполнительным органом стругового типа, выемочный манипулятор, гидравлическая самопередвижная крепь и доставочная машина конструктивно увязаны между собой, так что их работа может производиться только совместно, а параметры и показатели оборудования также взаимосвязаны друг с другом. Структурная формула – В\*Д\*К.



Рисунок 1.12 – IV этап – агрегатная выемка угля

**5. Роботизированная выемка угля (V этап).** В настоящее время создание роботизированных комплексов в угольной промышленности предполагает постепенный переход к применению комплекса технических средств многофункционального управления назначения (микропроцессоры, микроЭВМ). Аппаратура автоматизации очистного оборудования позволит повысить безопасность труда обслуживающего персонала за счет обеспечения управления операциями добычных процессов на расстоянии нахождения обслуживания в безопасном пространстве. В целях ускорения технического перевооружения угольных шахт необходимо создание и внедрение роботизированных угледобывающих комплексов, а также очистных агрегатов для добычи угля без постоянного присутствия людей в очистном забое. Общей целью управления комплексами с использованием микропроцессорных систем является обеспечение максимальной производительности труда при минимальном времени пребывания людей в зоне выемки (рисунок 1.13).

Выемочные манипуляторы обеспечивают автоматизацию технологических процессов выемки угля в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся геологическими нарушениями, неустойчивой кровлей, волнистой гипсометрией пласта, наличием прослоек и включением обслуживающих применение технологий раздельной выемки угля и породы при пологих и наклонных пластах мощностью 2,2-4,5 м.

При этом возникает необходимость в выборе оптимальной организации рабочего процесса разрушения в зависимости от условий эксплуатации выемочных манипуляторов с заданными конструктивными параметрами в целях эффективного их применения.

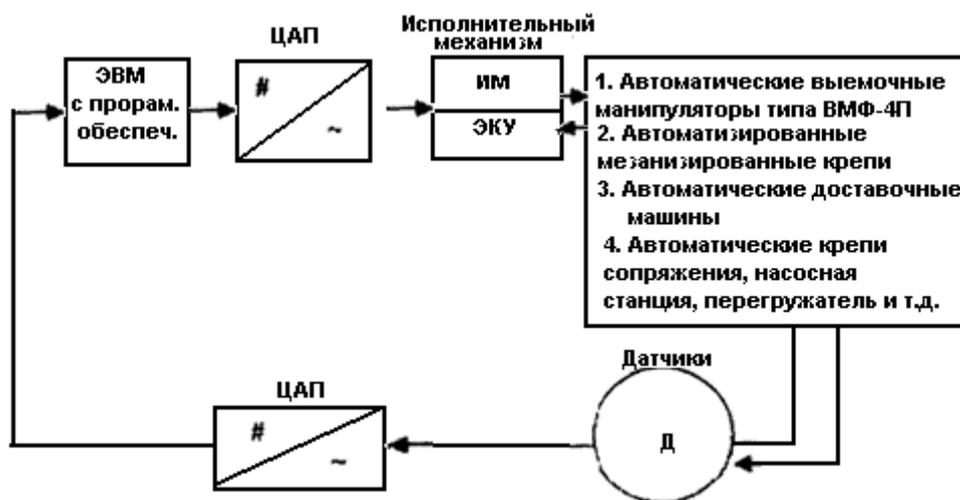
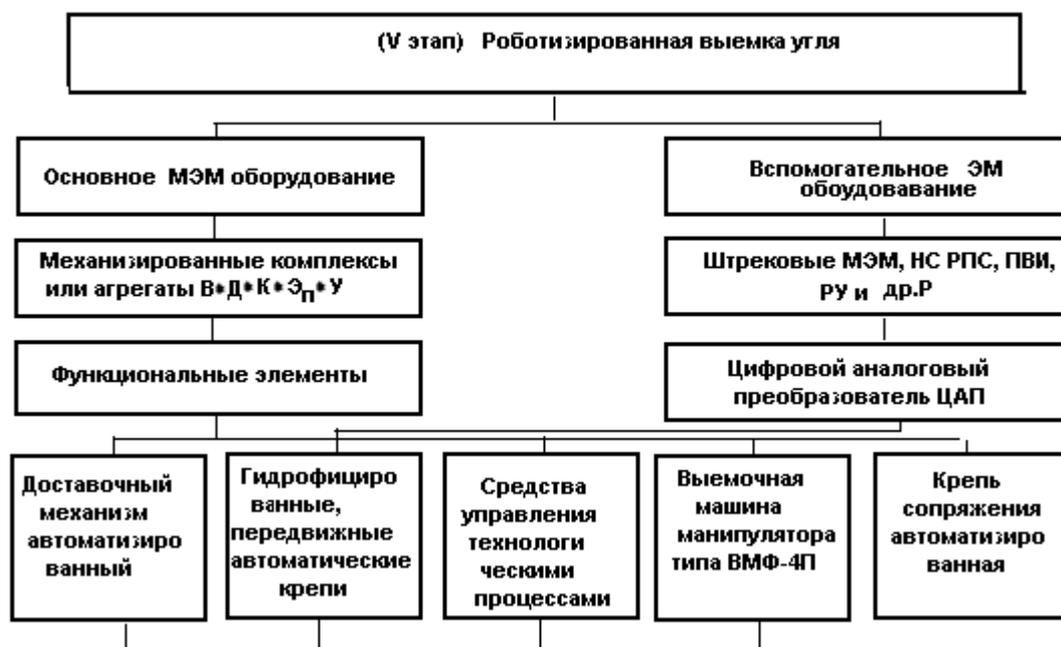


Рисунок 1.13 – V этап – роботизированная выемка угля

Высокая маневренность выемочного манипулятора обеспечивается за счет стреловидного исполнительного органа с учетом установки стрелы под углом к забою и одновременного выполнения двух или трех совместных движений рабочего органа, например, подача по длине лавы, скорость вертикального по мощности пласта и скорость горизонтального по ширине захвата на концах лавы, что достигается устранением конечных операций.

Существует микропроцессорная система управления выемочным комплексом, предназначенная для автоматического и программного управления выемочным манипулятором, механизированной крепью и лавным конвейером при ведении селективной выемки. В состав устройства входят локальные системы управления манипулятором типа ВМФ и механизированными крепями

ОКП-70, М130, КМ-143, «Пиома», «Глинник», «Фазос» и др. Выемочные манипуляторы с тремя степенями подвижности позволяют избирательно обрабатывать угольный массив, на чем и основывается селективная технология выемки. Выдаваемая из лавы порода помещается в выработанное пространство закладываемой лавы.

На основе экспериментальных исследований и литературных источников подготовлены исходные данные на создание флангово-фронтальных технологических поточных процессов при селективной выемке угольных пластов, а также отработке целиком различного назначения и локальных участков пластов. Структурная формула –  $V * D * K * U$  [12,13].

I этап –  $P + H + П$  (комбайн «Кировец 2м»);

II этап –  $P * H + П$  (комбайн КШ-2КГ);

III этап –  $V + D + K$  (комплекс 20КП-70);

IV этап –  $V * D * K$  (агрегат АНЩ, АК-3);

V этап –  $V * D * K * U$  (роботизированный комплекс).

Приведенная характеристика этапов развития механизации очистных работ является принципиальной и имеет определенные структурные формулы, например, V этап –  $V * D * K * U$ .

Все этапы развития характеризуются общими признаками по области применения (мощности пласта, угла падения, крепости угла, устойчивости кровли и почвы и др.) и схемам работы оборудования в очистных забоях.

По вынимаемой мощности угольные пласты разделяются на весьма тонкие – до 0,7 м, тонкие – от 0,71 до 1,2 м; средней мощности – от 1,21 до 3,5 м; мощные – свыше 3,5 м.

По углу падения пласты разделяют на пологие – до  $18^\circ$ , наклонные от  $19$  до  $35^\circ$ , крутонаклонные – от  $36$  до  $55^\circ$  и крутые – от  $56$  до  $90^\circ$ , с углями мягкими (до 1), средней крепости ( $f$  до 2) и крепкими ( $f$  больше 2).

## 1.7 Классификация комбайнов и предъявляемые к ним требования

По классификации проходческие комбайны подразделяются:

– по области применения – для проведения основных и вспомогательных подготовительных выработок;

– по полезным ископаемым – по породе или смешанным забоем;

– по форме сечения проводимых выработок – круглые, арочные, прямоугольные и трапециевидные;

– по способу обработки забоя – избирательного (циклического) действия и бурового (непрерывного) действия;

– по способу разрушения забоя исполнительным органом комбайна – резание с открытой с поверхности забоя (сплошная обработка забоя с поверхностей), образование врубов с последующим разрушением оставшихся целиков;

– по типу исполнительных органов – буровые, корончатые, дискоштанговые, фрезерные, роторные, планетарные, комбинированные;

- по способу погрузки угля или породы – исполнительным органом, ковшами, скребками, нагребаящими лапами, гидравлический;
- по способу передвижки комбайна – гусеничный ход, колесный ход, шагающий, гибким тяговым органом;
- по роду применяемого привода – электрический, пневматический, электрогидравлический, гидравлический.

Исполнительные органы непрерывного действия разрушают забой проводимой выработки по всей его площади, что обеспечивает высокую производительность комбайна. Существенным недостатком таких органов является невозможность раздельной выемки угля и породы по смешанному забою, а также необходимость отодвигания комбайна от забоя при креплении, осмотре и замене инструмента. Таким исполнительным органом оснащены проходческие комбайны ШБМ-2, ПКГ-3,4, «Караганда 7/15», ПК-8, ПК-10, ТОР-72, «Союз-19», КРТ, КС-20, КС-30.

Исполнительные органы избирательного (циклического) действия разрушают забой не по всей его площади. Они доступны для осмотра и замены инструмента, а также позволяют производить раздельную выемку угля и породы и выбрать любую форму сечения выработок (комбайны ПК-3М, ПК-3р, ПК-9р, ЧПУ (ПК-7), 4ПП-3; Проходческий комбайн F-6; ПК-1, 2, 3 и др.). Но производительность ниже, чем у исполнительного органа непрерывного действия.

Достоинства проходческих комбайнов: широкая область применения; высокая производительность проведения выработок; проведение выработок необходимого по площади сечения и формы; возможность раздельной выемки угля и породы; простота конструкции; надежность в эксплуатации; удобный доступ к основным узлам; простая и быстрая замена режущего инструмента; наличие пылеподавляющих средств; уменьшение измельчения горной массы; обеспечение напорного усилия на забой с меньшим реактивным моментом на исполнительном органе; обеспечение заданного направления и его контроль при проведении выработок; безопасное и удобное управление комбайном; нетрудоемкая и несложная доставка, монтаж и демонтаж; обеспечение возможности осуществления крепления забоя вслед за проходом исполнительного органа; взрывобезопасное исполнение электрооборудования; обеспечение средств транспортирования угля и породы, работающих в комплексе с комбайном. Производительность этих средств несколько выше максимальной производительности проходческого комбайна (рисунок 1.14).

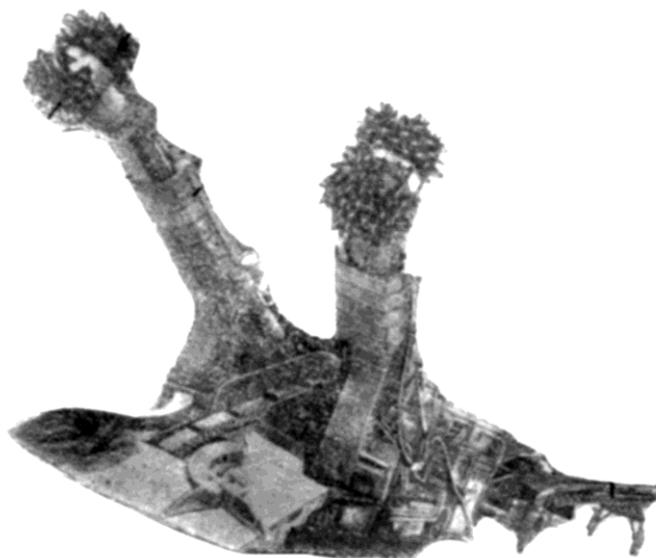


Рисунок 1.14 – Проходческий комбайн F-6

Основные функциональные элементы и расчет устойчивости проходческих комбайнов. Проходческий комбайн состоит из следующих основных узлов: исполнительного органа, погрузочного устройства, транспортных средств, ходовой части, электро- и гидрооборудования, пылеподавляющих средств и средств управления [21-26].

Исполнительные органы предназначены для разрушения горного массива и подразделяются на две основные группы – бурового и избирательного действия. В свою очередь, исполнительные органы бурового действия бывают роторными (однопланшайбовыми, сооснопланшайбовыми) и параллельно-осевыми.

Исполнительные органы избирательного действия подразделяются на перемещающиеся в одной плоскости – корончатые и комбинированные, и в двух плоскостях (однофрезерные) – лучевые, кольцевые, дисковые и комбинированные.

Основное отличие буровых исполнительных органов от избирательных заключается в том, что буровые органы одновременно обрабатывают весь забой, а избирательные – только его часть. Сечение выработки определяется амплитудой качания и размерами исполнительного органа.

Погрузочные устройства предназначены для уборки из забоя горной массы, разрушенной исполнительным органом. Конструкция погрузочного устройства зависит от типа применяемого исполнительного органа комбайна и может выполняться как отдельными механизмами, так и совмещенным с исполнительным органом или перегрузочным конвейером комбайна. В порядке классификации различают погрузочные устройства с нагребными лапами, скребковые, бортовые, ковшовые и шнеково-бермовые.

Ходовое оборудование проходческих комбайнов обычно выполняется гусеничным и шагающим.

**Применяемые проходческие комбайны и оборудование.** В угольной промышленности в странах СНГ применяются три типа комбайнов: ПК-9р,

«Союз», КСП-32 для  $f < 4$ . Внедряется КСП-32 для замены ГПК; комбайны 4ПП-2 предназначены для работы с присечкой  $f > 6$ . Средняя скорость в 4ПП – 182 м/месяц, ПК-90 – 178,1 м; ГК – 170,1 м, ГПКС-9Р – 171,5 м, средняя производительность – 0,33 м/чел. в смену.

Максимальная скорость составила 2000 м/месяц.

Основные недостатки ГПК-2, ГПКС И ГПК-4 – невозможность применения с углом падения более  $6-10^\circ$ , ограничение на крепость  $f = 3-4$  и ограничение по высоте – не менее 1,2-1,5 м, что требует подрывки породы, отсутствия эффективных средств пылеподавления:

- из погрузочных машин нашли применение ковшовые машины с катящейся рукоятью ПМЛ-5, ЭЛМ-1, ППН-4 и др., многоступенчатые машины ППМ-6 для разработки пород  $f > 6$ , машины с нагребающими лампами ПНБ-2, 2ПНБ-4, являющиеся перспективными для применения ввиду их высокой производительности и возможности работы на безрельсовых путях;

- из оборудования для бурения шпуров в угольной промышленности наибольшее применение получили ручные электросверла и резе – пневмосверла. В перспективе – ограничить область их применения крепостью  $f < 4$ , но только в случаях невозможности применения комбайнов.

Колонковые сверла вытесняются КБМ, БКГЭ и БУЭ – бурильными установками электровращательного типа для  $f = 8/10$  или вращательно-ударного типа (БУ, БУР) для  $f = 12-14$ .

Указанные бурильные установки имеют колесно-рельсовый ход, механические манипуляторы и автоподатчики. Модернизация их ведется по пути увеличения глубины бурения до 4 м и выше.

В дальнейшем ведутся работы по переходу на применение буропогрузочных машин типа ПНБ-2, 2ПНБ-4 с навесным несъемным оборудованием НБ-3 и НБ-1э с углом до  $10^\circ$ .

Перфораторное бурение в угольной промышленности применяется в незначительном масштабе в шахтном строительстве и при работе с крепкими породами.

Рациональной технологической совместимостью обладают бурильные установки с погрузочными ковшовыми машинами на колесном ходу, однако они не могут применяться в наклонных и горизонтальных выработках, оборудованных конвейерным транспортом, так как они плохо работают в сочетании с перегружателями или скребковыми конвейерами. В последнее время ведутся работы по созданию ковшовых погрузочных машин с боковой разгрузкой, что обеспечит эффективную работу их с конвейерным при забойном транспорте.

**Структурный состав средств механизации проходческих работ.** Проводить горные выработки и строить подземные сооружения можно в однородных крепких и неоднородных породах и полезных ископаемых. Исключение составляет проведение выработок околоствольного двора и большого поперечного сечения – железнодорожных и гидротехнических тоннелей.

Для проведения выработок применяют различные горнопроходческие машины и комплексы, механизмирующие основные проходческие процессы: бурение, зарядание и взрывание шпуров разрушение полезного ископаемого и породы в пределах забоя и возведение крепи [21].

Структурный состав средств механизации, применяемых при проведении горных выработок, следующий:

- средства механизации основных проходческих операций: машины и механизмы для бурения и зарядки шпуров и скважин; погрузочные машины; машины и механизмы для временного и постоянного крепления горных выработок; проходческие комбайны; комплексы для проведения горизонтальных и наклонных выработок; щитовые проходческие комплексы и комплексы оборудования для сооружения тоннелей;

- средства механизации вспомогательных проходческих операции: путеукладчики, машины для сооружения водоотливной канавки, прокладки труб и кабелей, машины для дренажных работ и т.д.;

- средства механизации крепления капитальных горных выработок при строительстве горных стволов, растворомешалки, экскаваторы, скреперы, а также для вспомогательных работ при строительстве горных предприятия (киричная укладки, штукатурирование и малярные работы).

Для ускоренных темпов ведения горнопроходческих работ необходимо осуществить комплексную механизацию всех процессов, в том числе и вспомогательных. Причем решать эту задачу нужно путем взаимной увязки процессов между собой с помощью комплексов оборудования.

Конструкции горнопроходческих машин и комплексов должны соответствовать следующим основным требованиям: по габаритам удовлетворять требованиям правил безопасности; иметь, как правило, дистанционное и автоматизированное управление; обеспечивать заданное направление проведения выработки; обеспечивать пылеподавление; шум и вибрацию в пределах санитарных норм [22].

Горно-геологические факторы влияния на выбор расчета проходческих и бурильных машин:

- для проходческих бурильных машин: пространственная и временная изменчивость физико-механических свойств горного массива, определяющих его сопротивляемость разрушению рабочим инструментом; эта изменчивость определяется геологическими факторами и, прежде всего термодинамическими и геохимическими условиями среды, кроме того, на изменчивость физико-механических свойств горных пород оказывает влияние группа факторов, связанных с технологией ведения горных работ; влияние изменчивости физико-механических свойств горного массива на нагруженность привода носит случайный характер;

- циклический (прерывистый) характер процесса резания горных пород режущим инструментом исполнительного органа ПК; циклический характер в зависимости от сил сопротивления разрушению от пути, проходимого резцом, придает системе ПК разрушаемый массив нелинейного характера; совокупность нелинейного элемента (горного массива) и колебательной системы (ПК с его

исполнительными механизмами) образует замкнутую динамическую систему; в которой устанавливаются автоколебания; колебания, возникающие в результате взаимодействия исполнительного органа ПК с горным массивом, носят смешанный детерминированно-случайный характер;

- для бурильных машин и установок: периодические возмущения, действующие в системе, обусловлены различного рода конструктивными особенностями исполнения рабочего органа и периодическим характером его действия (вращение) вследствие неравномерного характера вращения исполнительного органа изменения нагрузок, вызванного этими возмущениями, носит также смешанный детерминированно-случайный характер; и, наконец, периодическое возмущение, обусловленное нарушением нормальной работы зубчатых передач.

- динамические нагрузки привода исполнительного органа, синтезирующиеся при взаимодействии ПК и бурильных агрегатов (колебательной электромеханической системы) с горным массивом (средой, имеющей стохастическую пространственную вариацию физико-механических свойств), в общем случае представляют собой композицию

## **1.8 Исполнительные органы горных технологических машин**

**1. Разрушение угля исполнительными органами – многофакторный случайный процесс.** Работа выемочных и проходческих машин осуществляется в условиях различных стохастических в пространстве свойств разрушаемых пластов и во времени режущей способности инструментов, который носит динамический характер.

Управление выемочным и проходческим методами осуществляется изменением параметров режимов работы, для чего необходимо знать закономерности, связывающие эти меняющиеся параметры с внешними факторами, с изменением сопротивляемости резанию и структуры среды. Как отмечалось, процесс разрушения является сочетанием отделения полезного ископаемого (угля, сланца, кремния, калийной соли и др.) от массива и удаления его из зоны резания. Одни и те же параметры исполнительного органа по-разному влияют на эти процессы. Поэтому задачей выбора параметров исполнительных органов является по постановке оптимизационной задачи. Параметры режима работы выемочных и проходческих отделенным обзорам должны быть согласованы с режимами других операций по разрушению полезного ископаемого угля. В этой связи могут рассматриваться оптимальные режимы постоянной и переменной производительности, при которых должны обеспечиваться наилучшее использование массы (веса) и мощности машины, заданная стоимость, наименьшее пылеобразование.

Таким образом, расчет параметров и выбор режима работы исполнительного органа горных машины не могут быть осуществлены за счет однозначного решения. Необходимо рассмотреть полную систему взаимосвязей и выбрать алгоритм решения, который бы обеспечил с использованием персональных компьютеров получение оптимальных показателей. С этой целью

была предложена схема описания процесса разрушения, согласно которой вся совокупность факторов (параметров) разделена на (рисунок 1.15):

– входные-совокупность показателей ( $[X]=x_1, x_2, \dots, x_m$ ), характеризующих угольный или калийный пласт как объект разрушения. Значения параметров этой группы, обычно находящихся в определенном диапазоне ( $x_{i\min} < x_i < x_{i\max}$ ), в случае необходимости могут быть представлены статистическими характеристиками;

– выходные ( $[V]=v_1, v_2, \dots, v_m$ ), характеризующие результаты процессов разрушения (производительность, сортность, энергоемкость, удельный расход инструмента, уровень пылеобразования и т.д.). При расчете параметров процесса разрушения показатели этой группы ( $v_{i\min} < v_i < v_{i\max}$ ) выступают в качестве целевых функций или технологических и экономических ограничений;

– управляющие – совокупность показателей ( $[Z]=Z_1, Z_2, \dots, Z_b$ ), характеризующих технические возможности выемочной машины. Управляющие параметры ( $Z_{i\min} < Z_i < Z_{i\max}$ ) в свою очередь могут быть разделены на:



Рисунок 1.15 – Принципиальная схема процесса разрушения

– регулирующие параметры (мощность привода, показатели прочности, характеристики устойчивости), рассчитываемые при конструировании и не изменяемые в процессы работы. При выборе режима работы действующие машины выступают как технические ограничения ( $Z_i \leq Z_{i33d}$  или  $Z_i \geq Z_{i33d}$ );

- регулирующие воздействия (скорости подачи и резания, число резцов в линии резания, ширина захвата и т.д.), которые могут изменяться в процессе работы, или подготовка к ней. Задача оптимального поиска заключается в

нахождении законов изменения регулирующих воздействий, обеспечивающих получение лучших выходных параметров;

- неуправляемые (случайные) возмущающие. Процесс разрушения всегда сопровождается возмущающими воздействиями, имеющими случайный характер. Даже при оценке входных параметров вероятностными характеристиками и законами не исключено возникновение возмущения, лежащего за пределами принятого статистического распределения и приводящего к аварийной ситуации. В связи с этим возникают важные задачи по разработке вероятностных моделей, совокупно учитывающих действие детерминированных и случайных возмущающих параметров.

Предложенную схему можно использовать при проектировании исполнительного органа ГМ для решения ряда групп задач:

- зависимость параметров выходной группы от входных параметров  $[V]=j_1 [c]$  при  $[Z= \cos nt]$ . Для выемочной машины данного типа (т.е. с известными управляющими параметрами  $Z_{i33a}$ ) определяются значения параметров выходной группы  $[V_i]$  при различных значениях входных параметров  $[c_i]$ . Наиболее важной из задач этой группы является определение возможной производительности выемочной машины в конкретных условиях эксплуатации;

- зависимость параметров выходной группы от управляющих параметров  $[V]=j_2 [Z]$  при  $[c= \cos nt]$ . Такие задачи возникают при оценке возможной производительности (сортности, энергоемкости и т.д.) вариантов проектируемых машин в конкретных условиях по разрушаемости;

- зависимость управляющих параметров от входных  $[V]=j_3 [c]$  при  $[V= \cos nt]$ , что позволяет при проектировании отыскать наиболее вероятное значение управляющих параметров для различных сочетаний входных параметров, например, значений крутящих моментов и потребляемой мощности на углях различной сопротивляемости резанию;

- зависимость параметров выходной группы от современного действия входных и управляющих параметров  $[V]=j_n [c], [Z]$ . Зависимость этой группы позволяет в общем случае найти оптимальное решение: для любого  $c_i$  из области  $c_{imin} - c_i max$  найти  $Z_i$  из области  $Z_{imin} - Z_i max$ , при которых  $v_i=v_{onm}$ .

Таким образом, предположенная многофакторная схема позволяет отдельно и в совокупности анализировать все связи, присущие процессу разрушения, рассчитывать нагрузки, производить выбор оптимальных параметров режима работы выемочных машин.

**2. Классификация исполнительных органов.** Исполнительный орган горной очистной машины предназначен для выполнения главной производственной операции при добыче угля-отбойки – отделения угля от массива пласта. Ряд исполнительных органов (например, шнековые, буровые), кроме этого, производят погрузку угля на транспортное средство. В соответствии с назначением исполнительного органа горные машины классифицируются и делятся на три группы: классификация добычных машин (рисунок 1.15),

классификация для проходческих машин (рисунок 1.16), классификация бурильных машин (рисунок 1.17).

К исполнительным органам горных машин предъявляется ряд основных и дополнительных требований, которые определяются назначением и условиями работы.

К основным требованиям относятся:

а) высокая производительность исполнительного органа; б) малая удельная энергоемкость процесса разрушения; в) высокий коэффициент полезного действия; г) простота конструкции; д) уменьшенные размеры для машин подземной добычи; е) высокая стоимость рабочего инструмента; ж) высокая надежность и долговечность; и) возможность автоматизации режима работы.

Исполнительные органы добычных и проходческих машин должны также отвечать дополнительным требованиям: а) выполнять функции отбойки угля от массива пласта и погрузки угля на транспортное средство; б) работать при малом пылеобразовании; г) давать высокую сортность добываемого угля; е) регулироваться по гипсометрии почвы и кровли пласта; ж) самозарубаться; з) работать как по односторонней, так и по двусторонней схеме.

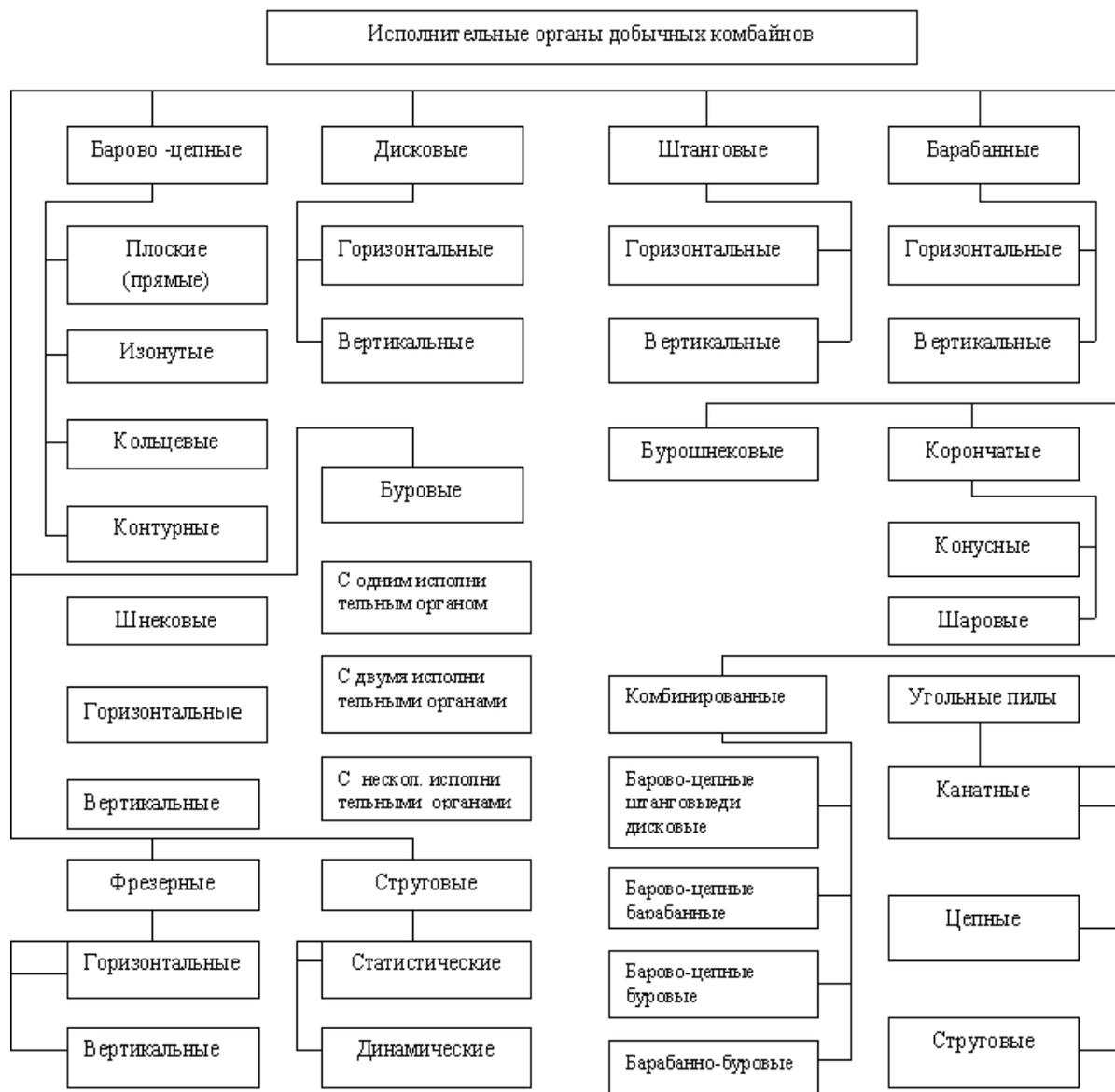


Рисунок 1.15 – Классификационная схема исполнительных органов добычных комбайнов

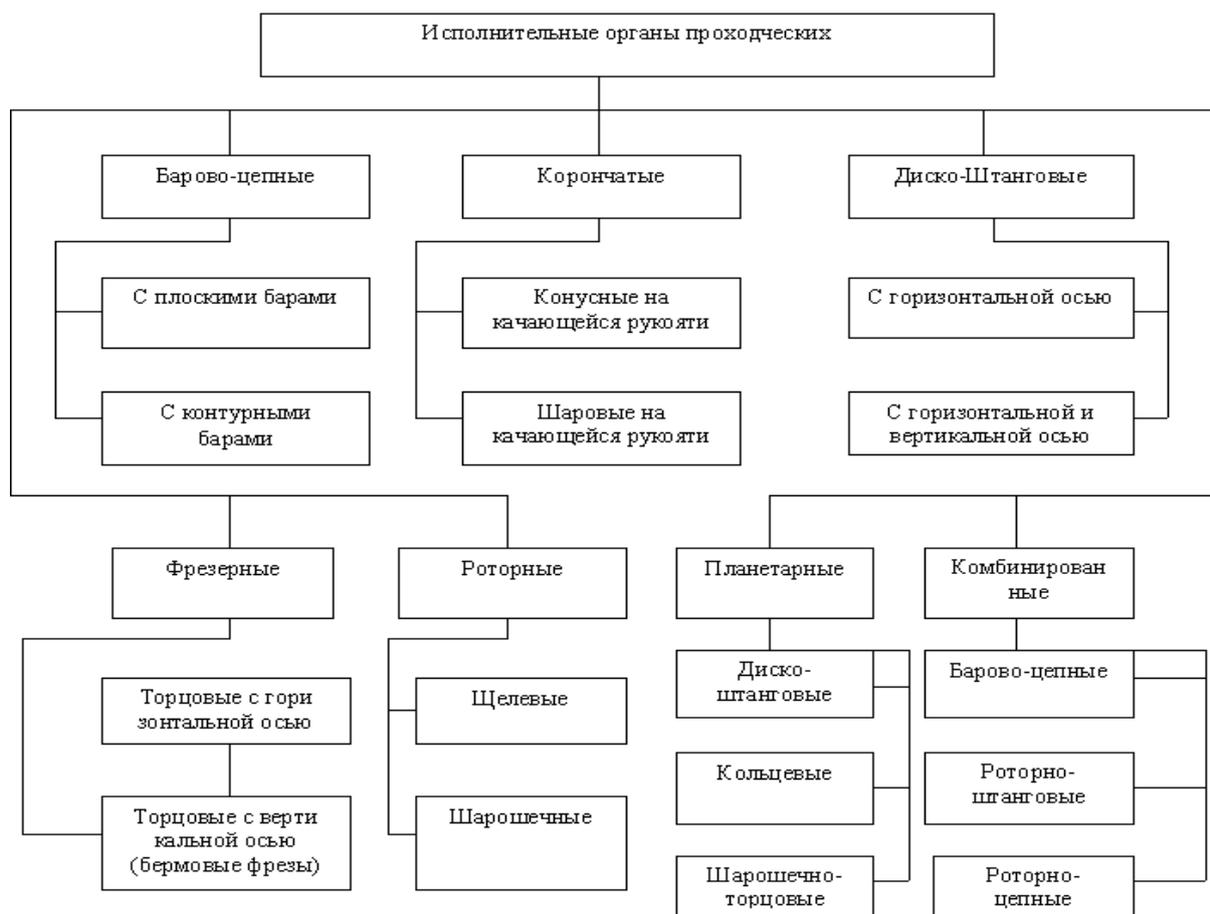


Рисунок 1.16 – Классификационная схема исполнительных органов проходческих комбайнов

**3. Конструктивные схемы исполнительных органов.** Ширина захвата для широкозахватных машин принимается 1,6, 1,8 и 2,0 м. Для узкозахватных очистных комбайнов ширина захвата должна соответствовать требованиям ГОСТа 11986-73, который предусматривает следующие ее величины: 0,5, 0,63, 0,8 и 1,0 м. Для узкозахватных комбайнов, работающих на пластах с углом падения 35-90°, допускается ширина захвата 0,45 и 0,9 м. Вылет радиального резца для шнекового и барабанного исполнительных органов должен быть не менее 80 мм, а бурового – не менее 65 мм (рисунок 1.18 а, б, в, г, д).

**Назначение и требования к передаточным механизмам органов разрушения и погрузки**

В горных машинах наибольшее распространение для передачи механической энергии от двигателя к исполнительному органу получили зубчатые механические передачи. Передаточные механизмы современных горных машин должны:

- иметь высокий КПД;
- обеспечивать передачу движения как к исполнительному органу, так и к вспомогательному;



Рисунок 1.17 – Классификационная схема исполнительных органов бурильных машин

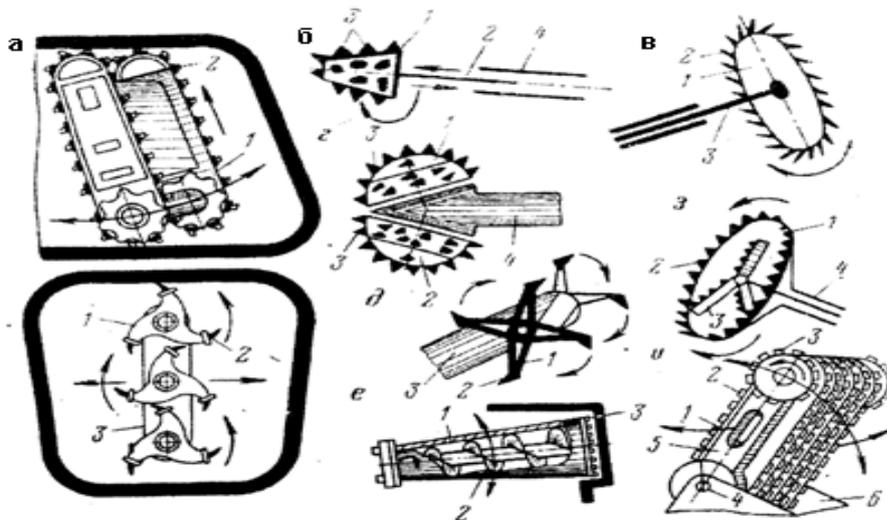


Рисунок 1.18, а – Схема исполнительных органов избирательного действия: а) параллельной по вертикалю качающейся баровой цепные органы, цепью-1; зубками-2; б) трех луговые органы вращающиеся и качающиеся по горизонтальной плоскости, лучи-1 и зубками-2; в) стреловидные органы: 1- резцовая коронка, 2-штоки, резцы-3, 4-цилиндры; г) стреловые двухсферные органы: 1,2- сферообразные органы, с резцами-3, стрела телескопическая; ж) дисковые с телескопической стрелой 3, диск с зубками 1,2; з) стреловидные органы,1- окружными зубками 1, резцами-2, с центральными трех лучевыми зубками-3; д) двух лучевыми с четырьмя лучами 1 с зубками, со стрелой 3; е) с кольцевыми зубками со стрелой 1 и шнеком внутри стрелы; г) качающиеся барами в вертикальной и горизонтальной плоскости

– иметь высокую механическую прочность, а также требуемую долговечность, надежность и обладать необходимой ремонтпригодностью узлов и деталей;

– обеспечивать необходимый ресурс.

В редукторах исполнительных органов применяют цилиндрические, конические и реже – планетарные передачи. Червячные и цепные передачи не применяются как из-за их низкого КПД, так и из-за повышенного износа.

В странах СНГ и за рубежом создаются комбайны с безредукторным приводом исполнительного органа по схеме «электродвигатель – гидронасос – гидродвигатель – исполнительный орган».

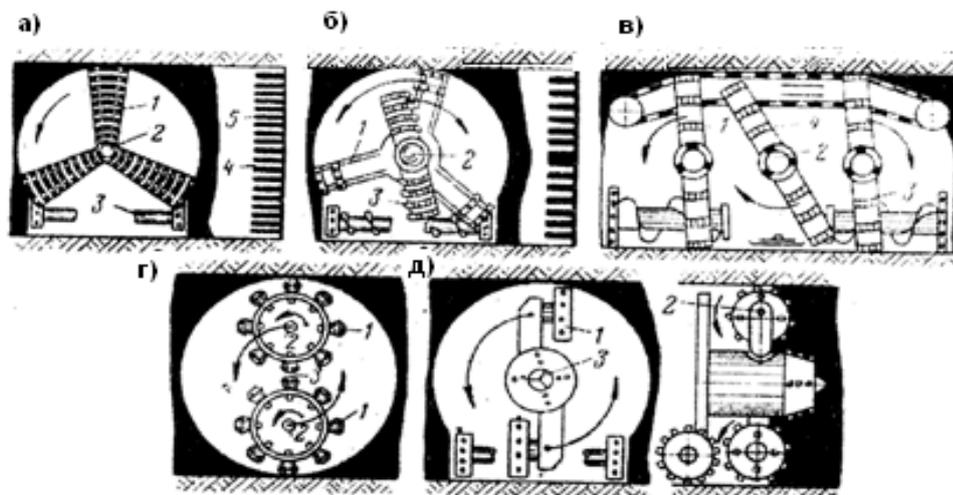


Рисунок 1.18, б – Схемы исполнительных органов комбайнов бурового действия: а) планшайбные трех лучевые исполнительные органы непрерывного действия-1-планшайба, 2-центральный зубурник, 3- фрезные погрузочные органы; б) однопланшайбные и трехлучевые: 1-планшайба, 2- одноосные лучи, 3- фрезные погрузочные органы; в) тремя планшайбами и кольцевой барой: 1- планшайба, 2- зубурники, 3- фрезные погрузочные органы; г) плоского планетарного органа- 1- водило укрепленные на главном валу через сателлиты сцепленные с солнечным колесом; д) исполнительные органы комбинированного типа: 1- парных рабочих дисков, 2- перпендикулярно к забою парных рабочих дисков, 3- центральное планетарно расположенное рабочих дисков

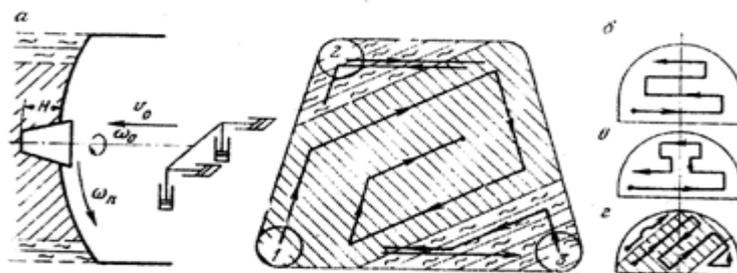


Рисунок 1.18, в – Схема обработки забоя комбайнами типа ПК9

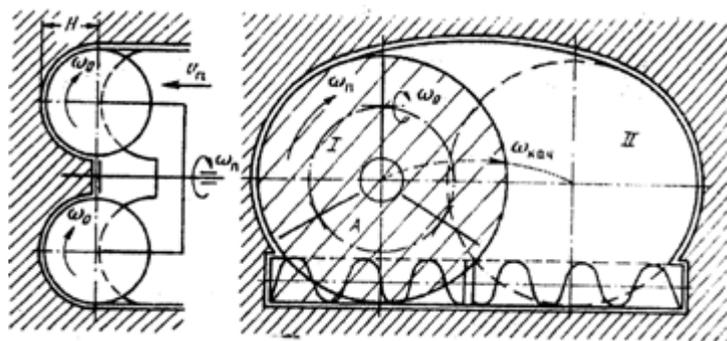


Рисунок 1.18, г – Схема обработки забоя комбайном «Караганда 7/15»

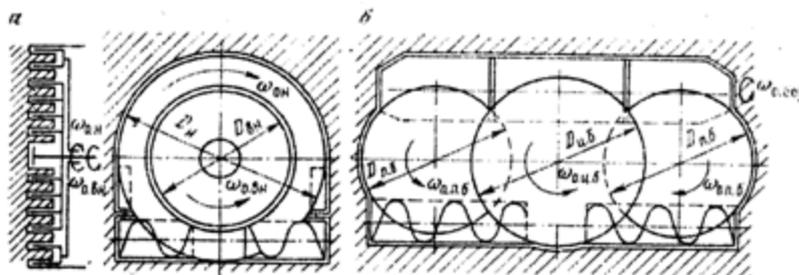


Рисунок 1.18, д – Схема обработки забоя комбайнами ПК8 (а) и ПК10 (б)

Принятые в горной машине тип и параметры исполнительного органа обуславливают выбор кинематической схемы привода, определяют относительное положение осей двигателя и выходного вала редуктора, требуемое и передаточное число и другие элементы.

Например, кинематическая схема редуктора исполнительного органа мощного самозарубающего комбайна ГШ-68 имеет индивидуальный привод двухшнековых органов – Ш1 и Ш2, осуществлена от двух электродвигателей Д1 и Д2 мощностью 110 кВт каждый.

В редукторах исполнительных органов для уменьшения износа зубчатых колес и подшипников получили распространение два способа смазки: с погружением зубчатых передач в масляную ванну и подающего масло к наиболее нагруженным зубчатым передачам [20-26].

## 1.9 Кинематический расчет редукторов

При расчете редуктора исполнительного органа выемочной или проходческой машины исходными являются следующие данные [27-32]:

- тип, основные параметры и назначение машины;
- характеристика двигателя исполнительного органа: его часовая и длительная мощность, максимальный крутящий момент, скорость вращения;
- тип исполнительного органа, основные параметры;
- кинематическая схема машины;
- расчетный погрузочный режим.

Основными параметрами, определяющими техническую характеристику комбайнов, являются: производительность (т/мин.); вынимаемая мощность пласта, ширина захвата (м) и скорость резания исполнительного органа. Кинематическая схема машины оказывает большое влияние на компоновку и конструкцию её узлов и деталей, а также на их взаимное расположение. Кинематическим расчетом редуктора исполнительного органа определяется общее передаточное число, равное:

$$i_0 = \frac{n_g}{n_b} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \dots i_i \quad (1.4)$$

где  $n_g$  - скорость вращения вала двигателя, об./мин.;

$n_b$  - скорость вращения выходного вала ведущей звезды, об./мин.

$i_1, i_2, i_3, \dots, i_i$  – передаточные числа отдельных зубчатых пар между валом двигателя и выходным валом.

$$n_b = \frac{60 \cdot v_p}{\pi \cdot D}, \text{ об./мин.}, \quad (1.5)$$

где  $v_p$  – скорость резания, м/с;

а – с последовательным включением дросселя; б – с параллельным включением дросселя; в – с регулируемым насосом  $D$  - диаметр исполнительного органа, м.

При диаметре шнека по резцам его окружная скорость резания составит:

$$v_p = \frac{\pi \cdot D_{ш} \cdot n_{ш}}{60}, \text{ м/сек.},$$

где  $n_{ш}$  - скорость вращения шнека

$$n_{ш} = \frac{n_g}{i_0}$$

**Расчет передаточных механизмов исполнительных органов на прочность и долговечность. Расчет на статистическую прочность.** Для предотвращения поломок и недопустимых перемещений или пластических деформаций детали редукторов очистных машин (валы, зубчатые колеса, цепи и др.) рассчитываются на статистическую прочность по максимальным нагрузкам [10].

Расчет на статистическую прочность выполняется по коэффициенту, запаса прочности  $n$ , равному отношению разрушающего напряжения (предела прочности материала  $\delta_b$ ) к максимальному действующему напряжению  $\delta_{\max}$ , т.е.

$$n = \frac{\delta_b}{\delta_{\max}}$$

Если несущая способность деталей определяется исходя из ограничения перемещений или недопущения остаточных или пластических деформаций, то коэффициент запаса прочности  $n_T$  определяется как отношение предела текучести  $\delta_T$  к максимальному действующему напряжению  $\delta_{\max}$ , т.е.

$$n_T = \frac{\delta_T}{\delta_{\max}} \quad (1.6)$$

**Расчет на усталостную прочность.** Под воздействием повторно-переменных нагрузок детали машины вследствие усталости металла разрушаются при меньших нагрузках по сравнению с тем случаем, когда действуют постоянные нагрузки. При этом в металле возникают трещины, которые приводят к разрушению детали.

Сопrotивляемость металла усталостному разрушению оценивается его выносливостью, определяющейся способностью металла противостоять усталости. Характеристику усталости получают по данным специальных испытаний на усталость гладких или надрезанных образцов по ГОСТу 2860-85.

**Расчет на прочность при установившихся режимах переменных напряжений.** Для оценки усталостной прочности деталей редукторов горных машин при установившихся режимах переменных напряжений (с постоянной амплитудой) определяют запас прочности  $n$  по переменным напряжениям (нормальным  $\delta$  или касательным  $\tau$ ) из формул:

$$n_\delta = \frac{\delta_{RD}}{\delta_\alpha},$$

$$n_\tau = \frac{\delta_{RD}}{\tau_\alpha}$$

где  $\delta_{RD}$  – предел выносливости детали, определяется по результатам натуральных испытаний на усталостную прочность

$\delta_\alpha, \tau_\alpha$  – с постоянной амплитудой

- общий запас прочности

$$n = \frac{n_\delta^1 - n_\tau^2}{\sqrt{n_\delta^2 + n_\tau^2}} \quad (1.7)$$

**Расчет на прочность при нестационарных переменных напряжениях.** Оценка усталостной прочности и долговечности деталей горных машин при нестационарных режимах действия переменных напряжений (с меняющимися по величине и знаку амплитудами) основана на гипотезе о линейном суммировании повреждений. Согласно этой гипотезе, усталостное повреждение детали прямо пропорционально числу циклов действующих напряжений, а их сумма составляет полное повреждение, т.е.

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} = \alpha \quad (1.8)$$

где  $n_i$  – общее число циклов действия напряжения;

$N_i$  – число циклов до разрушения деталей при действии напряжения;  
 $\alpha$  – коэффициент суммы повреждения, в первом приближении  $\alpha=1$ .

**Предохранительное устройство.** Повышение скорости резания у исполнительных органов машин, возрастание мощности их приводных двигателей, скорости подачи, а также увеличение маховых масс в системе привода определяют в ряде случаев целесообразность предохранения двигателя от перезагрузок деталей и узлов машины и всего редуктора режущей части специальными устройствами в виде предохранительных муфт или муфт предельного момента. Примером предохранительной муфты может служить фрикционная муфта в приводе машины «Кировец-2». В струговых установках и скребковых конвейерах применяется электропривод с турбомуфтой предохранительного типа. Такая муфта предохраняет тяговую цепь от порывов при перегрузках, детали редуктора – от поломок – от поломок, а электродвигатель – от опрокидывания.

### **1.10 Проходческие комбайны с корончатым исполнительным органом**

Корончатые исполнительные органы имеют различные типы коронок, которые разрушают уголь с поверхности забоя или путем прорезания глубоких кольцевых щелей с последующим разрушением межщелевых целиков. Можно выделить пять основных групп корончатых исполнительных органов [33,34]:

- коронки, работающие при продольной подаче и разрушающие уголь с поверхности забоя;
- коронки, работающие при продольной подаче с разрушением угля: ПК-3, ПК-10, КСП-32;
- коронки с осью, перпендикулярной забою, работающие при поперечной подаче;
- коронки с осью, параллельной забою, работающие при поперечной подаче; («Карагандинец-3У»);
- коронки, работающие при дуговой подаче.

Первая группа коронок получила наибольшее распространение в комбайнах УКТ-I, КЦТ, зарубежных комбайнах «Миджет», «Кофмон», а также в проходческих комбайнах П110, П110-01, в погрузочных машинах МПП, КПА-150, при  $+12^{\circ}$  наклона, с сечением  $10-32 \text{ м}^2$ , арочной трапециевидной формы.

Вторая группа исполнительных органов дает хорошую серийность: комбайны ШБМ, ПК-8, ПК-10, «Дгиной», «Гудмен», буровые машины типа СБМ, ЛБС, МБС.

Процесс отделения угля или породы от массива заключается в том, что в угле прорезаются глубокие концентрические щели, целики между ними отбиваются скалывателями.

Третья группа, четвертая группа имеют также ряд преимуществ.

Пятая группа – вспомогательный орган корончатый, работающий по другой подаче.

**Регулируемые исполнительные органы.** Если угловая скорость рабочих дисков  $\omega_o$  связана с угловой скоростью водилы  $\omega_b$  связана  $\omega_o = i\omega_b$ , где  $i = const$ , то такие исполнительные органы называют простыми или нерегулируемыми. Однорежимные и многорежимные, если изменять  $i$  при помощи коробки передачи, то образуется в забое несколько сеток траектории инструмента, т.е. осуществляется несколько режимов взаимодействия инструмента с забоем.

По направлению вращения водилы относительно дисков. Если водило и рабочие диски вращаются в одну сторону, т.е.  $\frac{\omega_o}{\omega_b} = 1,0$ , то резцы двигаются по эпициклоидам, и исполнительные органы называются суммирующими.

Если водило и рабочие диски вращаются в разных направлениях, т.е.  $\frac{\omega_o}{\omega_b} = i \leq 0$ , то резцы двигаются по эпициклоидам, и.о. вылетающие (Рисунок 176).

Петли циклоидальных траекторий обращены к центру забоя, кривизна траектории наибольшая в точке, ближайшая - к центру забоя. У высчитывающих и.о. петли траектории обращены от центра к периферии забоя.

По отношению  $\lambda = \frac{R}{i}$ , радиуса водило  $R$  к радиусу рабочего диска  $i$ . Если  $\lambda > 1$  траектория одного инструмента не покрывает весь забой, то и необходимо применять многодисковые планетарные и.о.

Скорость движения инструмента сферического планетарного и.о.

$$v_{cp} = r\omega_b \sqrt{\lambda^2 + (\cos \gamma + i)^2 + 2\lambda(\cos \varphi + i)x \cos i\varphi + \sin^2 \gamma \sin^2 i\varphi} \quad (1.9)$$

где  $\varphi = \omega_b t$  - угол поворота текущей, подкоренное выражение П-планетарных функций.

- наибольшее и среднее значение скорости:

$$V_{наиб}^{cp} = [2\omega_b(1 + \cos \gamma \pm \lambda)], V_{cp}^{cop} = [2\omega_b(1 + \cos \gamma)],$$

- плоского планетарного и.о.:

$$V^{nn} = 2\omega_b \Pi^{1/2} = 2\omega_b \sqrt{\lambda^2 + (1+i)^2 + 2\lambda(1+i)\cos i\varphi}$$

$$V_{наиб}^{nl} = [2\omega_b(i+1 \pm \lambda)], V_{cp}^{nl} = [2\omega_b(1+i)];$$

- кольцевого исполнительного органа:

$$V^k = 2\omega_b \sqrt{\lambda^2 + i^2 + 2\lambda i \cos i\varphi + \sin^2 i\varphi}$$

$$V_{наиб}^k = [2\omega_b(i \pm \lambda)], V_{cp}^k = [2\omega_b i]$$

Длина пути проходческого инструмента исполнительного органа определяет его износ, для вычитающего исполнительного органа путь меньше, чем сумма режущего, и кольцевые исполнительные органы имеют непостоянный контакт инструмента с забоем.

Достоинства планетарных исполнительных органов:

- разрушение забоя небольшим количеством инструмента;
- передача на инструмент большой мощности;

- невысокая энергоемкость процесса разрушения;
- небольшие напорные усилия (усилия подачи);
- отсутствует опрокидывающий момент;
- возможность выбора рационального режима.

Недостатки:

- сложная конструкция;
- большой путь резцов за один оборот рабочего органа в плоских исполнительных органах;
- сложность кинематических расчетов и выбор траектории.

### **1.11 Автоматизация проходческих комбайнов**

Невозможность точно управлять проходческим комбайном приводит к переборам по сечению до 10% и преждевременному износу его узлов, вызывающему простой на ремонт 40-50% положенного числа проходческих комбайнов.

Работы проводятся по управлению работой режущего органа, автоматизации регулирования нагрузки привода режущего органа, контролю положения комбайна в заданном направлении.

Контроль копира с конечными выключателями, гидравлическими ограничителями (УПК-2, «Карагандинец» 3) не дал положительных результатов. Для комбайнов, работающих по жесткой программе, управление сможет осуществляться с программирующими валами, контурами, дисками и шаблонами. Для программ с большим количеством информации могут применяться перфораторы, перфоленты и др., но они требуют также лентопритяжного механизма.

Прогрессивные схемы программноносителей выполнены на принципе магнитной записи, испытаны на ПК-5р.

Скорость продвижения комбайна при ручном управлении - 1,7 м/ч, при дистанционном 1,87 м/ч, в режиме программированного управления - 2,49 м/ч.

Одним из основных требований, предъявляемых и горным выработкам, является требование прохождения их в определенном направлении. Это сводится к двум видам задания: движение по определенному направлению в пространстве и движение по проводнику, под которым ломается почва или кровля пласта. Решение этих задач:

- разработка способа возведения инструмента на забой для обеспечения устойчивости машины, компенсации внешних воздействий и совершенствования конструкции машины;
- разработка удовлетворительных средств контроля за движением машины.

Реактивный момент при работе комбайном не может быть комплектирован, гидроскопы недостаточно эффективны не учитывают смещения по параллельному курсу.

Прибор АСУ для контроля в вертикальной плоскости на базе уровня. Работает на ПК-8. (рисунок 1.27а,б,в,г,д)

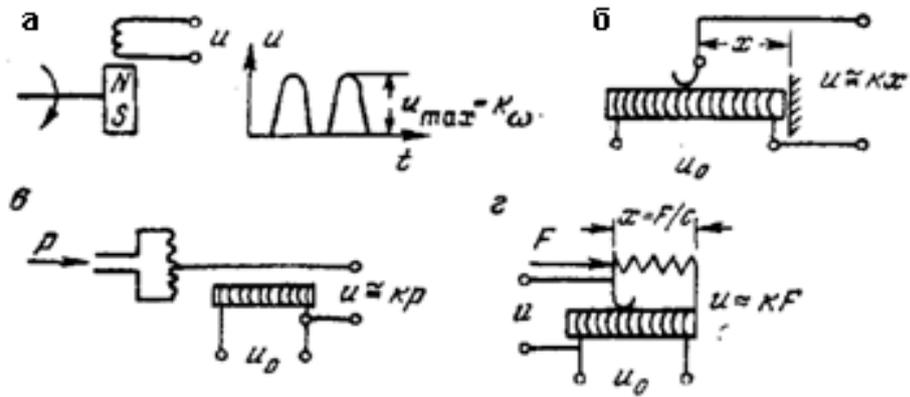


Рисунок 1.19, а – Схемы датчиков САУ: а – тахогенератор, датчик угловой скорости; б – перемещение потенциметрическое; в – давление потенциметрический; в – усилие потенциметрическое

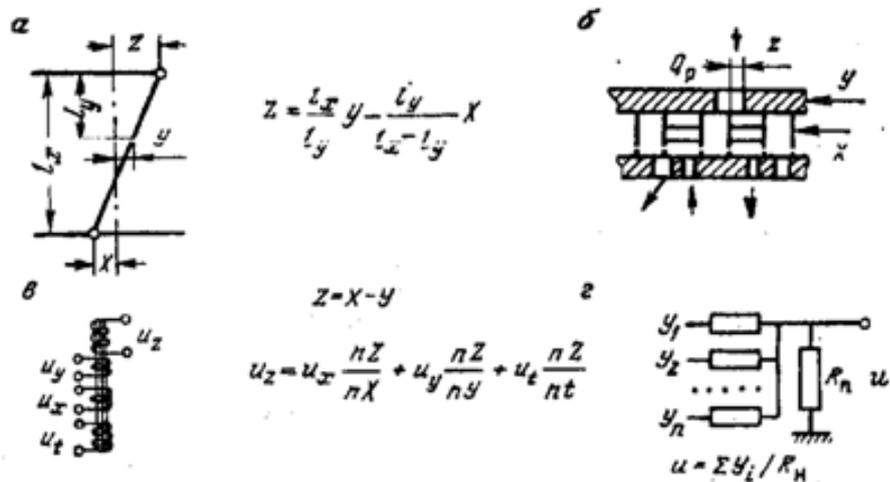


Рисунок 1.19,б – Схемы устройств для суммирования сигналов: а – механический рычажный; б - золотниковый пневматический или гидравлический; в – электрический на трансформаторах; г – электрический на резисторах

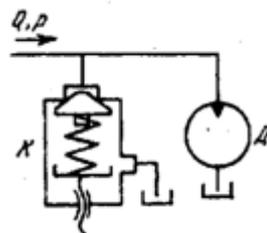


Рисунок 1.19, в – Схема защитного устройства с предохранительным клапаном: Д – двигатель; К – предохранительный клапан

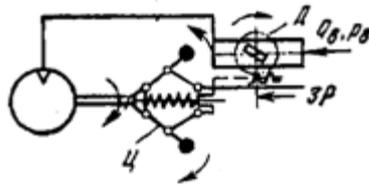


Рисунок 1.19, г – Регулятор угловой скорости пневмодвигателя:  
Ц – центробежный регулятор; ЗР – зубчатая рейка; Д – дроссель

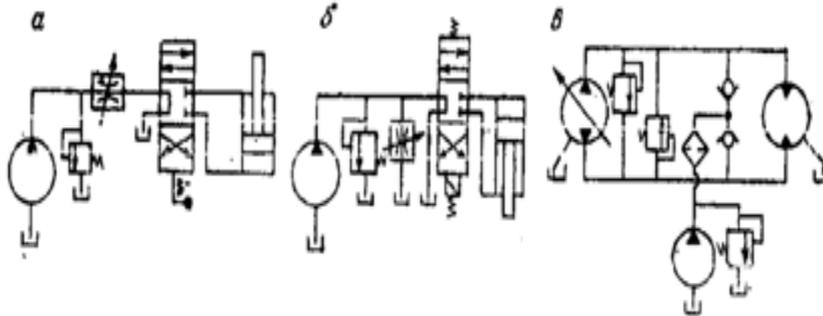


Рисунок 1.19, д – Схемы управления скоростью гидродвигателя

Прибор РДК и др. не получили распространения. Для контроля рекомендуется использовать луч Лазера.

## 1.12 Технологические требования и характеристики деталей горных и строительных технологических машин

Каждая машина состоит из деталей общего и специального назначения. К деталям общего назначения относятся: винты, гайки, валы, муфты, подшипники и т.д., т.е. детали, применяемые во всех машинах. Детали специального назначения используются только в некоторых машинах. Например, технологические, для горных машин – это шнек комбайна, коронка буровой машины; для строительных машин – крюк, корпус ковша экскаватора. Курс «Детали технологических машин» изучает детали и узлы общего назначения. Основные положения его являются основой для расчета специальных деталей и узлов горных и строительных машин [4, 5, 19].

Эффективная работа любой машины в процессе ее эксплуатации в значительной степени определяется прочностью, надежностью, долговечностью, износостойкостью и жесткостью конструкции, а также виброустойчивостью, ударной стойкостью ее деталей. Показатели эффективности работы зависят от характера приложения нагрузки, размеров и формы детали, материала и условий эксплуатации машины.

Нагрузки, действующие на детали, можно разделить на три группы: нормальные, случайные и аварийные. Нормальными нагрузками называют такие, величина и характер действия которых соответствуют паспортным условиям работы механизмов. Они являются исходными для расчета деталей на долговечность. Случайные нагрузки представляют собой наименее выгодные сочетания одновременно действующих на деталь нагрузок, которые возможны во

время работы при исправных механизмах, правильном управлении и эксплуатации машины и которые вызывают максимальное напряжение в детали. Расчет детали на прочность исходит из этих нагрузок.

К аварийным нагрузкам относятся нагрузки, которые могут возникнуть в случае неисправной работы механизмов или нарушения правил управления и эксплуатации. По этим нагрузкам рассчитываются предохранительные устройства.

С точки зрения изменения напряжения во время нагрузки можно разделить на постоянные и переменные. Переменные напряжения характеризуются временем их изменения – циклом  $T$  – и могут быть симметричными, асимметричными знакопостоянными, знакопеременными или пульсирующими.

Постоянное по времени напряжение характеризуется максимальным значением  $G_{\max}$ . Переменное по времени напряжение характеризуется:

$G_{\max}$  – максимальным напряжением;

$G_{\min}$  – минимальным напряжением;

$G_{\text{ср}}$  – средним напряжением;

– амплитудным напряжением;

– характеристикой цикла.

Полученные фактические напряжения в расчетном сечении детали необходимо сравнить с допустимыми. Необходимо, чтобы соблюдалось основное условие прочности.

$$G \leq [G] \quad \tau \leq [\tau]$$

$$|G| = \frac{G_{\text{пред}}}{n} \quad \text{или} \quad |\tau| = \frac{\tau_{\text{пред}}}{n} \quad (1.10)$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности;

$G_{\text{пред}}$   $\tau_{\text{пред}}$  – предельные нормальные и касательные напряжения;

$[G]$ ,  $[\tau]$  – допустимые нормальные и касательные напряжения.

Запас прочности назначают на основе:

- коэффициента  $n_1$ , учитывающего однородность физико-механических свойств материала (стали  $n_1 = 1,2/1,5$ ; чугуна  $n_2 = 1,2/1,5$ );

- коэффициента  $n_2$ , учитывающего достоверность определения расчетных нагрузок и напряжений ( $n_2 = 1,0/1,5$ );

- коэффициента  $n_3$ , учитывающего специфические условия работы; выбирается в зависимости от степени ответственности детали. Для узлов, нарушение работы которых не приводит к крупным материальным затратам,  $n_3 = 1,05/1,15$ , в противном случае  $n_3 = 1,15/1,5$ .

Коэффициент запаса прочности  $n = n_1 n_2 n_3$ .

Для машин, работа с которыми опасна для жизни, запас прочности регламентирован нормами гостехнадзора.

1. Жесткость детали характеризуется величиной ее упругой деформации под влиянием действующих на нее нагрузок. Чтобы обеспечить необходимую жесткость детали, размеры и материал ее выбирают такими, чтобы величина деформации превосходила допустимую, иначе работа машины нарушается. Например, при недостаточной жесткости вала, т.е. при изгибе, может нарушиться работа зубчатого зацепления.

Различают собственную жесткость деталей, когда деформируется весь объем материала (например, изгиб вала), и контрактную жесткость, когда деформируются поверхностные слои материала (например, смятие поверхностей зубьев зубчатых колес в местах их контакта).

2. Потеря устойчивости характеризуется необратимой деформацией детали (конструкции, например, фермы). Если детали теряют первоначальную форму, что делает их неработоспособными, то говорят, что они потеряли устойчивость.

3. Виброустойчивость должна обеспечить сохранение работоспособности деталей вследствие усталостных напряжений. При проектировании машин, на которых устанавливают вибраторы, особое внимание уделяют расчету деталей на виброустойчивость. Одновременно подбирают условия, при которых предотвращается возможность появления вибрации в тех деталях, где вибрации не требуется.

4. Износостойкость характеризуется свойством материала оказывать сопротивление изнашиванию. Изнашивание – это процесс постепенного изменения размеров деталей по поверхности, происходящего при трении.

Износ – результат изнашивания в виде изменения размеров деталей и свойств ее поверхности.

Основными видами изнашивания являются:

Механическое – абразивное изнашивание, изнашивание в результате пластических деформаций, изнашивание при хрупком разрушении поверхности.

Молекулярно-механическое – охват поверхности двух сопряженных деталей и перенос металла с одной детали на другую.

Коррозийно-механическое – результат воздействия агрессивной среды на поверхность деталей.

Молекулярно-тепловое – результат трения между деталями, а также воздействие тепловых процессов, происходящих в отдельных узлах машин.

Износ уменьшает прочность и жесткость, долговечность и надежность детали, может увеличить динамические нагрузки вследствие увеличения зазоров в деталях.

Износ уменьшается при смазке трущихся поверхностей, уменьшении давления между ними, предохранении деталей от попадания на трущиеся поверхности абразивных частиц и агрессивных сред.

Соблюдение изложенных требований к прочности, износостойкости, жесткости обеспечивает получение детали требуемой надежности.

Надежность – свойство детали выполнять возложенные на нее функции, сохраняя заданные эксплуатационные показатели в течение требуемого срока

службы или наработки, измеряемой объемом выполненной работы. Надежность обуславливается безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью.

Безотказность – свойство детали непрерывно сохранять свои эксплуатационные показатели в течение требуемого времени или наработки без вынужденных перерывов (отказов).

Ремонтпригодность – свойство детали, заключающееся в приспособленности ее к предупреждению, обнаружению, устранению неисправностей (отказов) путем технического обслуживания и ремонта.

Основные показатели надежности – вероятность безотказной работы и ресурс, то есть время или объем работы, в течение которых деталь способна выполнять заданные функция без ремонта.

Легкие сплавы состоят в основном из алюминия или магния с добавкой кремния, марганца, меди, цинка. Менее прочные применяются для крышек, кожухов, корпусов механизированных инструментов и т.д. Более прочные, имеющие предел текучести 25-35 кгс/мм<sup>2</sup>, используются для металлоконструкций, требующих возможно малого веса и не очень нагруженных (например, кузов самосвала), реже – для ответственных металлоконструкций, требующих уменьшения веса (например, стрел кранов). Их недостаток заключается в плохой свариваемости и низком модуле упругости, что делает целесообразнее изготовление таких конструкций из легированных сталей.

Пластические массы разделяются на следующие группы:

- слоистые – текстолит, гетинакс, асботекстолит, древесно-слоистые пластики и стеклотекстолит; они представляют собой слоистые материалы с различными наполнителями;

- композиционные – текстолит из крошки и волокнита;

- термопластические материалы – органическое стекло (плексиглас, винипласт, фторопласт, полиамидные смолы).

Пластические массы применяются для изготовления вкладышей подшипников, зубчатых колес, сепараторов, подшипников качения, ремней, крепежных деталей, рукояток, различной арматуры и др.

Пластмассы имеют малый удельный вес, антикоррозийный, стойкие в агрессивных средах, однако имеют существенные недостатки – старение, низкая теплостойкость и теплопроводность.

Фрикционные материалы применяются для увеличения сил трения между ведущими и ведомыми элементами муфт и тормозов, а также плавного включения ведомых элементов. Основными требованиями к ним являются высокий и стабильный коэффициент трения о сталь и чугун (0,3-0,4 – сухое; 0,16-0,2 – в масле) при различных скоростях скольжения, удельных давлениях (5-20 кгс/см<sup>2</sup>) и температуре нагрева (до 200 °С), малый износ контактирующих поверхностей, хорошая теплопроводность и малая чувствительность к попаданию масла и влаги.

Значительная часть фрикционных материалов изготавливается на основе асбеста. Связующими материалами служат каучук, синтетические смолы, порошкообразные наполнители. Колодки часто изготавливаются из асбестокартона

или асбестовой ткани на синтетических смолах с заполнителями из асбестовой муки и каолина. Применяются также пластмассы и металлокерамика.

## **2 ПЕРЕДАТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

### **2.1 Привод исполнительных органов выемочных, проходческих и буровых технологических машин**

К силовому оборудованию технологических горных машин относятся двигатели, аппаратура управления и регулирования.

Для привода горных машин применяется электрическая, пневматическая и гидравлическая энергия. Род энергии определяет и соответствующее силовое оборудование горных машин. Правилами безопасности ПБ установлены основные положения применения и эксплуатации силового оборудования на угольных шахтах.

**Требования, предъявляемые к силовому оборудованию.** К силовому оборудованию горной машины, независимо от рода энергии, предъявляются следующие основные требования:

- взрывопожарная безопасность;
- безопасность для обслуживающего персонала;
- надежная и устойчивая работа в специфической влажной и пыльной атмосфере шахт, так как угольная пыль взрывоопасна;
- высокая механическая прочность;
- высокая нагрузочная способность и большие пусковые моменты;
- возможно меньшие габариты и вес.

**Электрические оборудования.** Взрывобезопасность силового электрооборудования горных машин обеспечивается за счет размещения их в специальных взрывозащитных оболочках, выполненных в соответствии с ПБ.

Основные требования, предъявляемые к электродвигателям:

- взрывобезопасность исполнения;
- большие значения развиваемой мощности, пускового и максимального моментов при ограниченных размерах корпуса (особенно по высоте);
- надежность и долговечность работы.

Взрывобезопасность электродвигателя обеспечивается такой его конструкцией, при которой взрыв, возникнув внутри корпуса (вследствие образования искры или других причин), не сможет распространиться в наружную среду.

Требование большой мощности обусловлено необходимостью высокой производительности комбайна. В зависимости от типа комбайна и условий его применения суммарная номинальная мощность электропривода вновь проектируемых очистных комбайнов для пологих и пологонаклонных пластов с

углом падения до  $35^\circ$ , согласно ГОСТу 11986-83, должна составлять 110-350 кВт.

Большая величина максимального момента определяется необходимостью устойчивой работы комбайна на всех нагрузках, возникающих при заданном режиме работы. Величина начального пускового момента определяется сопротивлением при пуске комбайна (сопротивлением резанию угля, заштыбовкой, зажимом рабочего органа, трением резцов об уголь, трением деталей механической части привода и двигателя, а также комбайна по почве).

Требование надежности и долговечности двигателя определяется необходимостью высокопроизводительной работы комбайна без вынужденных простоев.

**Технические характеристики электродвигателей.** В странах СНГ для выемочных машин применяют асинхронные трехфазные электродвигатели переменного тока напряжением 380 или 660 В с синхронной скоростью вращения 1500 об./мин. Двигатели выпускаются с корпусом высотой 310,350,400 и 500 мм.

При работе узкозахватных комбайнов челнокового действия с гидрофицированной крепью и изгибающимся конвейером продолжительность включения двигателя составляет 50-60% (при широкозахватной – 20-30%) [20].

По условиям охлаждения двигателя изготавливаются следующих типов (в соответствии с ГОСТом 183-86): ЭКВ с водяным охлаждением; ЭДКО с наружным обдувом; ЭДК необходимые. Здесь Э и ЭД обозначают электродвигатель; К – комбайн, В – водяное охлаждение, О – обдуваемый. Цифры после букв и марок электродвигателей означают высоту двигателя (дм), цифры после первого тире – мощность двигателя (кВт), после второго тире – порядковый номер модификации. ЭКВ5-160-2: электродвигатель комбайновый водяного охлаждения с высотой корпуса 500 мм, мощностью 160 кВт, второй модификации.

Двигатели МАД-191, ЭДК и ЭДКО выпускаются для номинальных длительного и часового режимов работы и соответственно длительной и часовой мощностей. Двигатели ЭКВ выпускаются для номинального длительного режима и длительной мощности.

Длительной мощностью двигателя называется мощность, при которой в процессе работы двигателя в течение неограниченного времени и в условиях неизменной температуры охлаждающей среды все его части достигают установившейся допустимой температуры.

*Часовой мощностью* двигателя называют мощность, при которой все части двигателя достигают допустимую температуру после работы двигателя в течение часа и в условиях неизменной температуры охлаждающей среды.

*Номинальной мощностью* называется мощность, указанная на заводской табличке электродвигателя. Помимо мощности, важнейшей характеристикой двигателя является зависимость момента от скорости вращения  $M=f(n)$ , которая называется механической характеристикой двигателя.

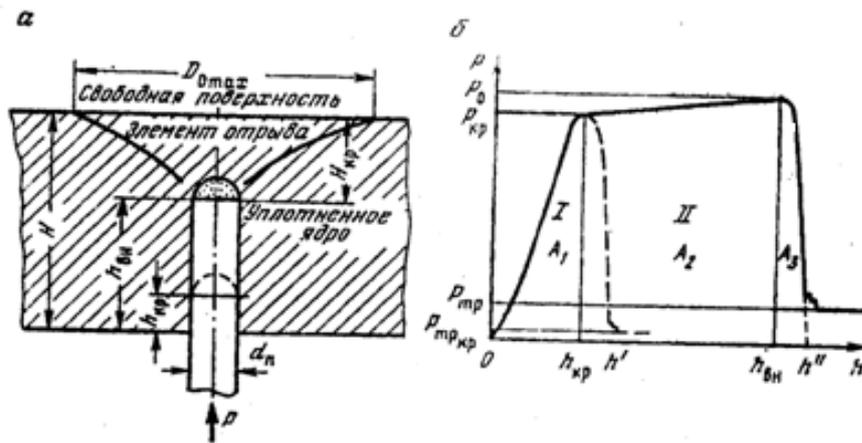


Рисунок 2.1, а – Исследование физико-механических свойств горных пород методом отрыва; б – диаграмма зависимости усилия внедрения  $P$  от глубины внедрения пуансона  $h$

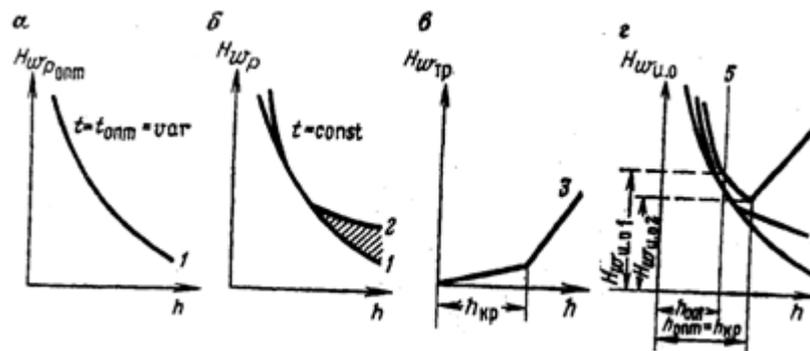


Рисунок 2.2, б – Зависимости удельных энергозатрат от глубины резания при различных ограничениях

Кривая 1 (рисунок 2.1, б) при изменении нагрузки от номинального  $M_{НОМ}$  до максимального  $M_{max}$  скорости вращения  $n$  ротора меняется незначительно. Эта часть механической характеристики носит название устойчивой работы двигателя, т.к. двигатель может преодолевать увеличение нагрузки вплоть до величины, соответствующей максимальному моменту. Если имеет место дальнейшее увеличение нагрузки, двигатель переходит в зону неустойчивой работы. В этой зоне (от  $M_{max}$  до  $M_{НОМ}$ ) имеет место быстрое снижение скорости вращения ротора, вплоть до остановки или опрокидывания двигателя.

При увеличении пускового тока, связанном со снижением напряжения в сети, увеличиваются потери напряжения и снижаются значения пускового  $M_{n0}$  и максимального  $M_{maxD}$  моментов двигателя. Это видно из сравнения кривых 2 и 3. Для указанной выше шахтной сети напряжением 660 В целесообразно применение двигателей мощностью не более 160 кВт. Для эффективного использования двигателей мощностью выше 160 кВт необходимо применение

более высокого напряжения – 1140 В, которое в последнее время начинают применять на шахтах [35].

## 2.2 Приводы рабочих органов

Привод рабочих органов, ходовой части и других узлов машин осуществляется с помощью силовых передач, которые не только передают движение, но и изменяют скорость, а иногда характер и направление движения [23].

Передачи бывают механические, гидравлические, электрические и смешанные.

**Механические передачи** разделяются на передачи трения (ременные и фрикционные) и передачи зацеплением (зубчатые и цепные).

В каждой передаче элемент, который передает мощность, называется ведущим, а элемент, которому передается эта мощность, – ведомым. Чаще всего число оборотов ведущего элемента и ведомого элемента различно. Отношение этих чисел оборотов называется передаточным числом:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.1)$$

Передачи могут быть понижающие, когда  $i > 1$ ;  $n_1 > n_2$  и повышающие, если  $i < 1$ ;  $n_1 < n_2$ . Понижающие передачи имеют наибольшее применение, так как число оборотов привода чаще бывает больше числа оборотов исполнительного органа.

Для ряда расчетов приходится определять мощность:

$$N = \frac{PV}{75}, \text{ л.с.}, \quad N = \frac{PV}{102}, \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

где  $P$  – действующая сила, кгс;

$V$  – скорость, м/с.

При вращательном движении, где  $R$  – радиус колеса или шкива, м;

$n$  – число оборотов в минуту.

Подставив значение в формулу мощности, имеем:

$$N = \frac{P2\pi nR}{75 \cdot 60}, \text{ л.с.}, \quad N = \frac{M_n}{974}, \text{ кВт}.$$

Так как  $RP=M$ , то имеем:

$$M = 974 \frac{N}{n} \text{ кгм}. \quad (2.3)$$

При передаче мощности от ведущего вала к ведомому имеются потери на трение, нагрев, аэродинамические и другие потери. Поэтому на ведомом валу мощность всегда меньше. Величина потерь мощности характеризуется КПД передачи и определяется как отношение величин мощности на ведомом валу  $N_2$  к мощности на ведущем валу  $N_1$ :

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.4)$$

Величина момента на ведомом валу может быть определена по величине момента на ведущем валу  $M_1$ , передаточному числу и КПД:

$$M_2 = M_1 i \eta$$

**Фрикционные передачи.** Передачи, у которых движение от одного элемента к другому определяется силами трения, называются фрикционными.

Наиболее простая конструкция передачи, когда вращение от одного вала к другому передается под действием сил трения между дисками, надетыми на эти валы.

Величина силы трения  $P$  зависит от усилия  $Q$ , с которым один диск прижимается к другому, и от коэффициента трения:

$$P = QM \quad (2.5)$$

В рассматриваемых передачах всегда имеет место проскальзывание дисков, поэтому величина передаточного числа непостоянна. Она подсчитывается по формуле:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1(1-\varepsilon)}. \quad (2.6)$$

Величина  $\varepsilon$ , характеризующая относительное скольжение, зависит от материала фрикционных дисков и составляет 0,002-0,03.

Фрикционными передачами можно передавать вращение между пересекающимися осями. В этом случае усилие, с которым конические катки прижимаются один к другому, создается под действием усилий, направленных вдоль осей катков.

Передаточные числа у фрикционных передач не превышают 10, чаще всего они составляют 5-7.

Фрикционные передачи применяются в случаях, когда передаточное число должно быть переменным, а также для передачи средних и малых мощностей (приборы).

Достоинствами таких передач являются простота конструкции и смягчение динамических нагрузок, возможность плавного изменения передаточного числа (вариаторы). К недостаткам следует отнести проскальзывание дисков, в результате чего не обеспечивается заданное передаточное число. В горностроительных машинах фрикционные передачи применяются во вспомогательных механизмах.

Одними из разновидностей фрикционных передач являются ременные передачи. Они применяются для передачи вращения от одного вала к другому, находящемуся на значительном расстоянии. Они состоят из двух шкивов, на которые надет бесконечный ремень (плоский, трапецеидальный – клиновидный, реже круглый).

Материал ремней может быть кожаный, хлопчатобумажный, прорезиненный (наиболее распространенные) и полиамидный. Последние имеют прочность в пять раз больше, чем прорезиненные, и в 8-10 раз больше, чем кожаные.

Вращение ведущего шкива передается на ведомый в результате сил трения, возникающих между шкивом и ремнем, последний движется в направлении вращения этого шкива. Величина силы трения между шкивом и ремнем, т.е. величина тягового усилия, определяется как разность между силами  $S_1$  и  $S_2$ , действующими в сбегающей и набегающей ветвях ремня:

$$P = S_1 - S_2. \quad (2.7)$$

**Ременную передачу** можно рассматривать как гибкую нить, огибающую цилиндр. Для определения натяжения такой нити Эйлер вывел зависимость:

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{\mu\alpha},$$

где  $S_1, S_2$  – силы, приложенные к концам нити;

$\mu$  – коэффициент трения между нитью и поверхностью цилиндра –  $\mu = 0,2-0,3$ ;

$\alpha$  – угол обхвата цилиндра нитью.

В ременных передачах угол  $\alpha$  есть угол между радиусами, проведенными через точки касания ветвей ремня с окружностью шкива.

Из анализа формулы следует, что отношение зависит в значительной степени от  $\mu$  и  $\alpha$ .

Большое значение имеет правильное и надежное соединение концов ремня. Плоские кожаные и прорезиненные ремни склеивают специальными клеями. Концы ремня можно скреплять заклепками, скобами. При склеивании прочность стыков составляет 80-85% прочности целевого ремня, а при скреплении концов – всего 25-30%.

Все большее применение получают клиновые ремни. Эти ремни позволяют передавать вращение при малом расстоянии между осями шкивов.

Для плоских ремней оптимальное расстояние между осями шкивов:

$$A = 2(D_1 + D_2), \quad (2.8)$$

где  $D_1$  – диаметр ведущего шкива;

$D_2$  – диаметр ведомого шкива.

Для клиноразмерных передач величина  $A$  выбирается в зависимости от диаметра большого шкива и передаточного числа.

Существуют и другие конструкции цепей: втулочные, пластинчато-зубчатые, фасонно-звеньевые крючковые, фасонно-звеньевые, втулочно-штыревые.

Конструкция звездочек цепных передач во многом подобна конструкции зубчатых колес.

Делительная окружность звездочки проходит через центры шарниров цепей. Диаметр этой окружности равен:

$$D_o = \frac{t}{\sin \frac{\pi}{2}}$$

Профили зубьев звездочек роликовых и втулочных цепей могут быть выпуклыми, прямолинейными и вогнутыми. Зуб любого профиля должен обеспечивать свободный вход шарниров из зацепления. Для нормальной работы передачи необходимо, чтобы не было значительного провисания цепи под действием собственной тяжести. Величина натяжения  $S_2$  выбирается в зависимости от веса 1 м длины цепи  $q$ , расстояние между осями звездочек и прогиба ведомой ветви  $f$ :

$$S_2 = \frac{qA^2}{8f}. \quad (2.9)$$

Величина зависит от угла наклона к горизонту оси, соединяющей обе звездочки; при горизонтальном расположении оси равен  $0,02A$ .

При работе в цепи возникает полезная нагрузка, равная окружному усилию  $P$  на звездочке. Общее натяжение ведущей ветви цепи:

$$S_1 = S_2 + P.$$

При работе цепной передачи цепь вытягивается, изнашиваются шарниры и зубья звездочек. Если цепь удлиняется больше чем на 2,5%, то она начинает соскакивать со звездочки. При скоростях цепи более 6 м/сек. допускается удлинение цепи меньше чем на 2,5%, поэтому в передачах имеется натяжное устройство.

Допустимая полезная нагрузка может быть определена из условия, чтобы контактные напряжения в шарнирах не превышали допустимых:

$$P = \frac{|P|_o F}{k\partial}$$

Оптимальные величины в зависимости от передаточного числа  $i$  и диаметра большого шкива:

$$A_{\min} = 0,55(D_1 + D_2) + H, \quad (2.10)$$

где  $H$  – высота сечения ремня.

Плоскоременные передачи допускают передаточное число от 10, клиноременные – до 15.

Передаваемые мощности при плоскоременных передачах могут достигать 2000 кВт, а при клиноременных – 1200 кВт. Скорость ремня может достигать 30 м/с. – при прорезиненных, 45 м/с. – при кожаных.

Коэффициент трения между ремнем и шкивом у клиновых ремней значительно больше, чем у плоских.

Достоинствами ременной передачи являются простота конструкции и передача движения на сравнительно большие расстояния; эта передача смягчает толчки, ограничивает возникновение значительных перегрузок, так как при перегрузках ремень начинает проскальзывать.

К недостаткам передачи надо отнести большие габариты и невозможность получения точного передаточного числа из-за проскальзывания ремня.

При эксплуатации ременных передач необходимо следить, чтобы масло не попадало на внутреннюю часть ремней и на поверхность шкива, так как резко снижается коэффициент трения, а следовательно, и величина тягового усилия  $P$ .

Работоспособность ременных передач определяется тяговой способностью или силами сцепления ремня со шкивом. Если эти силы недостаточны, то ремень начинает буксовать.

В последнее время появились зубчато-ременные передачи, получающие распространение с внедрением новых искусственных материалов, армированных стальными тросами или с полиамидным кордом. Эта передача компактнее обычной, работает бесшумно, без скольжения, допуская скорость до 80 м/с, и передает мощность до 800 кВт.

В строительных машинах ременные передачи для привода дробилок применяются не часто, очень редко – с клиновыми ремнями для других машин, чаще – для вспомогательных механизмов.

**Цепные передачи.** Для передачи вращения между двумя параллельными вилами при большом расстоянии между ними (до 8 м) применяются передачи, состоящие из двух цепных звездочек и бесконечной цепи.

Передаточное число в таких пределах равно:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{D_2}{D_1}. \quad (2.11)$$

Обычно  $i \leq 15$ , а в тихоходных передачах может достигать 15.

Скорость цепи доходит до 15 м/с, а в быстроходных передачах – до 25-30 м/с. Передаваемые мощности достигают 2500 кВт, наиболее эффективны они до 100 кВт.

В цепных передачах применяются так называемые приводные, в основном втулочно-роликовые однорядные и многорядные цепи.

Шаг этих цепей колеблется от 8 до 120 мм, или кратный, по международному стандарту, 25,4 мм. Каждое звено такой цепи имеет ось, на которую напрессовываются пластины, образуя наружное звено. На эту же ось надевается по скользящей посадке втулка, на которую напрессовывается пластина, образуя внутреннее звено. На втулки насажены ролики, которые входят в зацепление со звездочками.

Для тихоходных передач, испытывающих значительные динамические нагрузки, применяют однорядные цепи с изогнутыми пластинами. Втулочно-роликовые цепи бывают также многорядными, что позволяет увеличить передаваемую нагрузку и мощность, где  $[P]$  – допустимое давление в шарнирах, для втулочно-роликовых цепей – от 3,5 до 1,4 кгс/мм<sup>2</sup>; для зубчатых цепей – от 2 до 0,7 кгс/мм<sup>2</sup>;  $F$  – операция опорной поверхности шарнира, мм<sup>2</sup>;  $k_{\Sigma}$  – коэффициент, характеризующий условия эксплуатации передачи; он зависит от динамичности действия нагрузки, от длины цепи, наклона передачи, характера смазки, режима работы передачи;  $k_{\Sigma}$  изменяется от 1,2 до 3,0.

В зависимости от необходимого передаточного числа число зубьев малой звездочки назначается равным 32-12.

Передаваемая мощность (для однорядной цепи):

$$N = \frac{PV}{102}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

Если передаваемая мощность в 2-4 раза меньше необходимой, можно соответственно увеличить рядность цепи. При небольшом расхождении следует изменить шаг. При эксплуатации цепей необходимо смазывать шарниры и зубья звездочек, если цепи не работают в масляных ваннах.

К достоинствам цепных передач относятся: применимость в широком диапазоне межцентровых расстояний, малые габариты и вес, простота замены и высокий КПД.

К недостаткам – возможность внезапного обрыва, удлинение вследствие износа и необходимость натяжных устройств, неравномерность скорости, особенно при малом числе зубьев звездочки.

В строительных машинах цепи широко применяются для привода от двигателя (обычно многорядные) и приводов отдельных механизмов

(однорядные). Для эффективности применения цепи требуют качественного изготовления.

Применение круглозвенных цепей в качестве тяговых органов в системах подачи очистных комбайнов является причиной травматизма обслуживающего персонала, повреждения элементов конвейера и крепи, сбрасывания угля с конвейера, усложнения процесса самозарубки. Сложно удержать комбайн от сползания при обрыве цепи. Переменная величина коэффициента жесткости цепи затрудняет стабилизацию действующих сил, а периодическая ее деформация, связанная с аккумулярованием и разрядкой упругой энергии, приводит к резкому изменению скорости подачи комбайна.

Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования системы подачи комбайнов. Одним из современных направлений в решении этого вопроса является переход на бесцепные механизмы подачи, обеспечивающие устойчивую кинематическую связь между комбайном и направляющей балкой.

В настоящее время известны траковые, шагающие, фрикционные и цевочные бесцепные системы подачи.

Экспериментальные образцы траковых, шагающих и фрикционных систем перемещения очистных комбайнов были разработаны и испытаны в России (траковая система конструкции ИГД им. А. А. Скочинского; шагающая подача комбайна КШ1КХ, разработанная Мосбассгипрогормашем; фрикционная подача струга конструкции МГИ и др.).

Траковые системы подачи наибольшее распространение получили в Великобритании (подача Рэкатрэк холидж фирмы «Питкрафт»).

В конструкции подачи комбайна используется специальная цепь, замкнутая в вертикальной плоскости, которая входит в зацепление с направляющей рейкой, укрепленной на завальном борту конвейера.

Шагающая система подачи основана на использовании двух гидроцилиндров шагания, шарнирно укрепленных на комбайне с забойной или завальной стороны.

Штоки гидродомкратов имеют специальные устройства для захвата направляющей балки, размещаемой на полке конвейера.

Домкраты, поочередно сцепляясь с направляющей балкой, обеспечивают подачу комбайна.

Шагающая подача используется в ряде конструкций зарубежных очистных комбайнов. Например, во Франции, в научно-исследовательском центре угольной промышленности Сершар, разработана шагающая система подачи «Майн пинсант». В Великобритании созданы системы подачи «Рэм препалшн холидж», «Гандэм рэмтрэк». Усилия перемещения, развиваемые этими подачами, составляют 150-250 кН.

Известен ряд конструкций бесцепных систем подач фрикционного типа, основанных на передвижении комбайна вдоль лавы с помощью гладких приводных роликов, прижатых с помощью гидродомкратов или специальных рычажных автоматических систем к неподвижной направляющей. В

Великобритании фирмой «Бекорит Лтд» разработана фрикционная система подачи.

Одним из перспективных направлений создания бесцепных подач в настоящее время является разработка систем с цевочными зацеплениями. В горных очистных машинах широко используются бесцепные подачи. (рисунок 3.1-3.2)

В области бесцепных систем подачи работы ведутся в нескольких направлениях. В Подмосковном угольном бассейне институтом ПНИУИ разработана бесцепная система подачи выемочных комбайнов КШЗМ на базе гидравлической подающей части комбайна 1ГШ68. Перемещение по лаве осуществляется с помощью зубчатого колеса, установленного на механизме подачи и обкатывающегося на неподвижной зубчатой рейке, закрепленной на борту забойного конвейера. Максимальное тяговое усилие – 350 кН, скорость подачи – 0-0,15 м/с.

В Гипроуглемаше разработана бесцепная система подачи БСП1 для комбайнов 2К52МБ, работающих в комплексе КМ87Д.

В зависимости от варианта исполнения в конструкции комбайна может использоваться одинарная или сдвоенная (тандем) конструкция системы «гидромотор – редуктор – приводная звезда». При сдвоенной системе повышается усилие подачи.

БСП1 обеспечивает максимальное тяговое усилие 160 кН и максимальную скорость подачи 0,114 м/с при установке гидронасоса НП120. При сдвоенной подающей головке максимальное тяговое усилие составляет 250 кН и скорость подачи – 0,057 м/с.

Бесцепная система подачи БСП1 (рисунок 3.1 а) выемочного комбайна 1, перемещающегося по забойному конвейеру 2, имеет механизм подачи со звездой 3, установленной на приводном валу его редуктора, направляющую 4, состоящую из отдельных шарнирно соединенных между собой трубчатых секций с цевками. Направляющая 4 установлена с завальной стороны вдоль забойного конвейера 2. Один конец направляющей прикреплен к натяжному устройству 5, выполненному в виде гидроцилиндра, установленного на приводной головке 6 конвейера. Другой конец направляющей через концевик 7 крепится к концевой головке конвейера 8. Натяжное устройство 5 служит для создания определенной величины предварительного натяжения направляющей. Для обеспечения постоянного и надежного зацепления приводной звезды 3 с направляющей 4 в конструкции комбайна предусмотрены захваты 9, имеющие профиль, соответствующий профилю направляющей.

На рисунок 3.1 а показано сечение забойного конвейера с цевочной направляющей. Цевки секций направляющей выполнены в виде пальцев 2 с полусферическими концами. Пальцы 2 свободно вставлены в отверстия и имеют возможность проворачиваться в момент зацепления с приводной звездой, что уменьшает их совместный износ. Крепление пальцев в трубчатой направляющей осуществляется специальными фиксаторами (на рисунке не показаны). Соединение секций направляющей 1 производится на их стыках, с помощью опор 3. Последние имеют Т-образную форму и свободно входят в паз,

образуемый полками 4 и 5, жестко связанными с завальным бортом конвейера 5. Полки 4 и 5 удерживают опору 3 с направляющей 1 от подъема над конвейером и поперечного смещения и обеспечивают возможность ее продольного перемещения относительно конвейера, что исключает возникновение дополнительных усилий, которые могут образоваться в процессе передвижки конвейера на забой.

Принципиальная гидрокинематическая схема БСП1 показана на рисунке 2.1 б. Гидравлическая часть системы выполнена на базе зависимости от варианта исполнения, запитывается от насосов регулируемой производительности НП120 или НП200. Крутящий момент от гидромотора с помощью муфты 4 передается на солнечное колесо 1 однорядного планетарного прямозубого редуктора с передаточным числом 5,25. Сателлиты 2 находятся в зацеплении с солнечным колесом и венцом 3. Движение от солнечного колеса передается на сателлиты 2 и водило II, связанное с валом III эвольвентно-сферической ведущей звезды 5, перемещающейся по трубчатой направляющей 6.

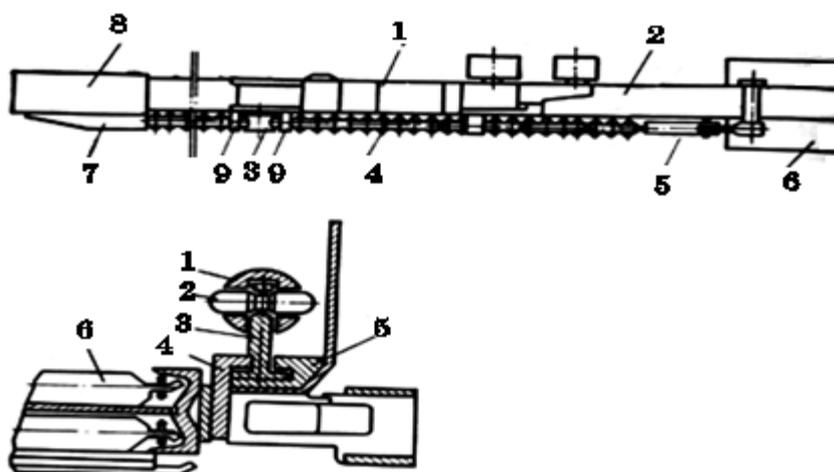


Рисунок 2.1, а – Схема бесцепного органа перемещения БСП 1: 1 – комбайн; 2 – конвейер; 3 – цевочная трубчатая направляющая; 4 – концевая каретка; 5 – домкрат натяжения; 6 – ведущая звездочка; 7 – концевик; 8 – концевая головка конвейера; 9 – захваты б - сечение забойного конвейера с цевочной направляющей бесцепной подачи БСП 1

Вал III связан с конической полумуфтой 7, предназначенной совместно с полумуфтой 8 для торможения звезды 5. Работа муфты заключается в следующем. Полумуфта 8 подпирается гидроцилиндрами 9, запитываемыми от подпиточного насоса гидросистемы механизма. При включении комбайнового двигателя полумуфта 8 за счет давления в штоковых полостях гидроцилиндров 9 находится в разомкнутом состоянии с полумуфтой 7. При выключенном двигателе комбайна рабочая жидкость из штоковых полостей выходит на слив и толкатели 10 под действием упругих сил тарельчатых пружин вводят полумуфту 8 в зацепление с полумуфтой 7, которая связана с корпусом 11 редуктора подающей части. Таким образом, стопорение происходит путем передачи момента с выходного вала III звезды 5 на корпуса редуктора.

В конструкции БСП1 предусмотрен ловитель, который необходим при работе комбайна на больших углах падения пласта. Работа ловителя заключается в удержании комбайна при остановках и сползании за счет срабатывания собачки 12, которая упирается в опоры на стыках направляющей 6. Кронштейн 13 собачки находится между штоком гидроцилиндра 14 и стаканом 15, подпираемым тарельчатыми пружинами. Собачка 12 развернута и не касается опор, установленных на стыках направляющих. При остановке комбайна напорная магистраль соединяется со сливом, давление в полости цилиндра падает и тарельчатые пружины 15 перемещают кронштейн 13 с собачкой 12 в положение стопорения.

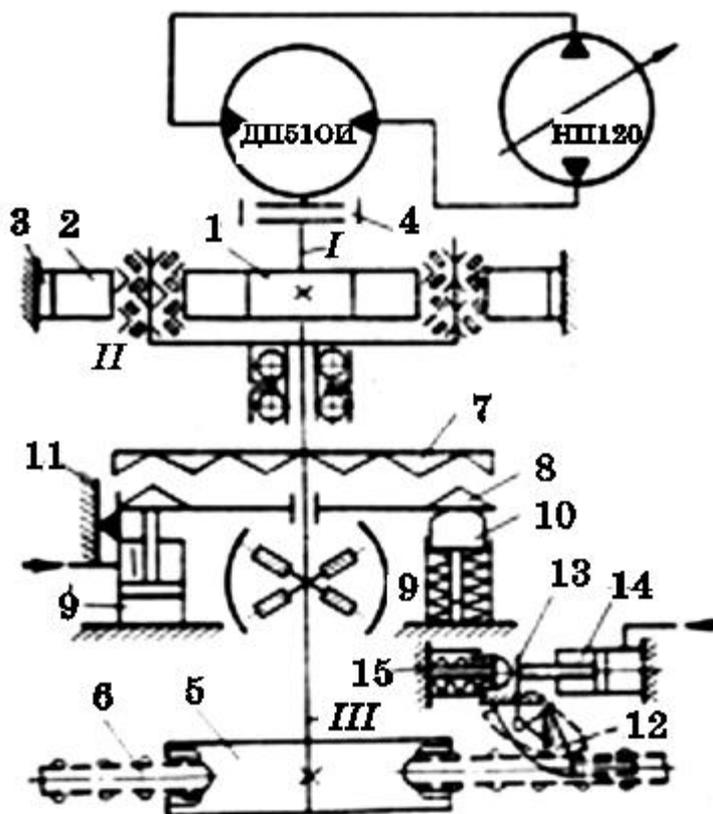


Рисунок 2.1 б – Принципиальная гидрокинематическая схема бесцепной системы подачи БСП1

В целом, несмотря на положительные стороны бесцепных подач, о которых говорилось выше, практика показывает, что с переходом на них возможно некоторое ухудшение динамической характеристики подачи из-за повышения жесткости тягового звена на порядок по сравнению с цепными тяговыми органами.

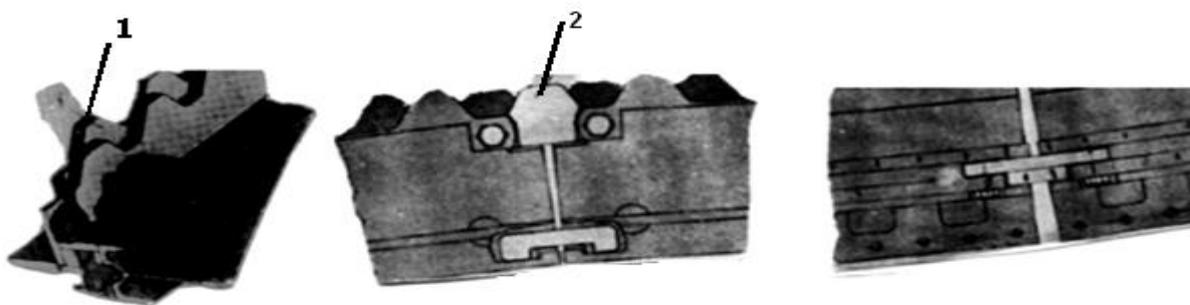


Рисунок 2.2 – Система бесцепной подачи фирмы «Дрессер»:  
1 – двойные рейки; 2 – компенсирующее звено-зуб

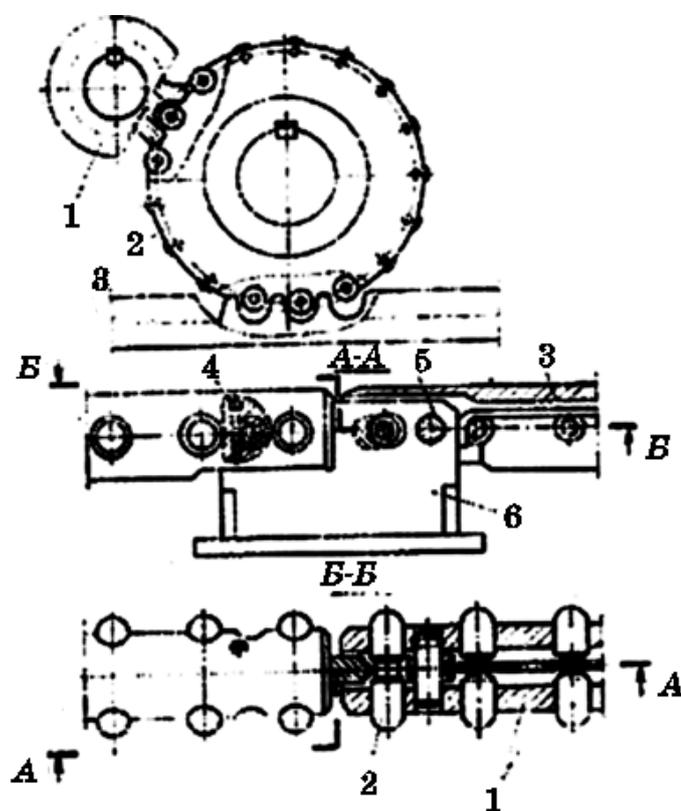


Рисунок 2.3 – Элементы бесцепных зацеплений: а – зубчатое зацепление с беличьим колесом (для комбайна К128П); 1 – ведущая звездочка; 2 – беличье колесо; 3 – зубчатая направляющая; б – соединение секций цевочной направляющей с биорой; 1 – труба; 2 – палец-цевка; 3 – ограничительная чека; 4 – штырь; 5 – ось; 6 – опора

### 2.3 Зубчатые передачи и редукторы технологических машин

Наибольшее применение в машиностроении имеют зубчатые передачи. Меньшее колесо обычно является ведущим и называется шестерней, большее ведомое – колесо.

Передача может происходить между параллельными, перекрещивающимися и пересекающимися осями. В первом случае применяются цилиндрические зубчатые колеса, во втором и третьем – чаще конические, реже винтовые и червячные [19].

Достоинствами зубчатых передач являются малые габариты, высокий КПД (до 0,96-0,98), большая надежность и долговечность, постоянство передаточных чисел и применимость в широком диапазоне мощностей – до 4 тыс. кВт, скоростей – до 150 м/сек. (обычно до 12-15 м/сек.) и передаточных чисел – до 20, чаще для цилиндрических прямозубых колес – до 10, для конических передач – до 5, для червячных – до 80.

К недостаткам зубчатых передач следует отнести необходимость точности при изготовлении и шум при скоростях выше 15-17 м/сек.

Боковые профили зубьев обычно бывают очерчены по эвольвенте.

Это позволяет обкатывать одно колесо относительно другого без скольжения, при этом достигается постоянство передаточных чисел.

Основными элементами, характеризующими зубчатое зацепление, являются:

- величина, называемая модулем зацепления;
- шаг зубьев  $t$ , равный расстоянию между одноименными профилями (двумя правыми или двумя левыми) двух смежных зубьев, измеренному по делительной окружности;
- число зубьев  $z$ ;
- высота головки зуба  $h'$  и высота ножки зуба  $h''$ , нормальная высота головки принята  $h' = m$ ; высота ножки  $h'' = 1,25m$ ;
- высота зуба для нормального зацепления  $h = 2,25m$ ;
- диаметр делительной окружности  $d = mz$ ;
- диаметр окружности выступов  $D_1$  (наружный диаметр зубчатого колеса):

$$D_e = d + 2h' = mz + 2m = m(z + 2) \quad (2.13)$$

- диаметр окружности впадин:

$$D_f = d - 2h'' = mz - 2,5m = m(z - 2,5)$$

- ширина рабочей части колеса  $B$  для прямозубых колес принимается равной 6-10  $m$ ;

- полюс зацепления  $P$  – постоянная точка, в которой общая нормаль к соприкасающимся профилям зубьев в точке их касания пересекается с линией, соединяющей центры зубчатых колес;

- линия зацепления – прямая, представляющая собой геометрическое место точек касания профилей двух соприкасающихся зубьев; она является касательной к основным окружностям.

- угол зацепления  $\alpha$  – угол между линией зацепления и перпендикуляром к линии центров колес.

Величины указанных параметров даны для цилиндрических прямозубых колес с некорригированным зубом.

Чтобы в одних и тех же габаритах и при одном модуле получить более прочный зуб, используется корригирование. Имеется несколько способов корригирования.

Один из способов заключается в том, что при одном и том же модуле зуб нарезается меньшей высоты и большей ширины у основания. Это достигается в результате смещения зуборезного инструмента по направлению от центра зубчатого колеса.

Корригирование бывает необходимо в тех случаях, когда по конструктивным соображениям одно из зубчатых колес должно иметь очень малое число зубьев.

Если делать зубчатое колесо с малым числом зубьев обычным способом, то при числе зубьев меньше определенного предела (например, при  $z=12$ ) зуб получается подрезным у основания и, следовательно, ослабленным.

Передаточное число  $i$  в зубчатых колесах:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_k}{z_{ш}}, \quad (2.14)$$

где  $n_1$  – число оборотов шестерни;

$n_2$  – число зубьев колеса;

$z_{ш}$  – число зубьев шестерни.

Косозубые зубчатые колеса обеспечивают более плавную работу, позволяют иметь диаметр шестерни меньший, чем при прямозубом зацеплении.

При косозубых колесах в зацеплении находится одновременно большое количество зубьев, чем при прямозубых, что позволяет передавать большие мощности при одинаковых габаритах передачи. Недостатком этого вида зацепления является возникновение осевого усилия, что усложняет конструкцию опор.

Шевронные зубья имеют преимущество – осевые усилия, возникающие в каждом ряду косых зубьев, взаимно уничтожаются.

У конических зубчатых колес зубья находятся на образующей конуса. Это усложняет изготовление и монтаж колес. Однако они получили широкое применение, так как позволяют передавать вращение между взаимно перпендикулярными осями.

Эти зубчатые колеса делают с прямыми, косыми и круговыми зубьями. Колеса с прямыми зубьями применяют при окружных скоростях не более 3 м/сек. При более высоких скоростях применяют колеса с косыми зубьями, а при скоростях выше 5 м/сек. – с круговыми зубьями.

Шаг зубьев у конических колес переменный и уменьшается к вершине конуса.

Расчет передаточных чисел ведется по средним диаметрам конусов.

Передаточное число конической зубчатой передачи:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}.$$

**Расчет зубчатых колес.** На работу зубчатых колес влияют размеры колес, точность изготовления и монтажа, жесткость валов, режимы работы и другие факторы.

Зуб можно рассматривать как консольную балку, которая изгибается под действием силы, передаваемой зубом одного колеса зубу другого колеса.

Сила  $Q$  направлена по линии зацепления. Принято считать для большей надежности, что момент передается только одной парой зубьев. Тогда величину  $Q$  можно определить из уравнения:

$$Q = \frac{2M}{d_c} = \frac{2M}{d \cos \alpha}, \quad (2.15)$$

где  $d_c$  – диаметр основной окружности.

При расчете принимают положение, когда сила  $Q$  приложена к вершине зуба. Для удобства расчета эту силу переносят вдоль линии ее действия до точки пересечения с осью зуба.

Раскладывая эту силу на две составляющие, получим силу  $P$ , изгибающую зуб, равную  $Q \cos \alpha$  (она же является и окружной силой), и силу, сжимающую зуб, равную  $Q \sin \alpha$ .

Нормальное растягивающее напряжение, возникающее в основании зуба, определяется по следующей зависимости:

$$G_H = \frac{Ql \cos \alpha}{W} - \frac{Q \sin \alpha}{F},$$

где  $W$  – момент сопротивления на изгиб опасного сечения.

Подставляя в формулу значения  $W$  и умножая числитель и знаменатель на модуль  $m$ , получим:

$$Q = \frac{P}{\cos \alpha} = \frac{2M}{d \cos \alpha},$$

где  $B$  – рабочая ширина зуба;

$b$  – толщина зуба в опасном сечении;

$l$  – плечо изгибающей силы;

$F = Bl$  – площадь опасного сечения.

Выражение, находящееся в скобках, обозначим  $Y$ , где  $Y$  характеризует форму зуба и называется коэффициентом формы зуба.

$$G_H = \frac{P}{mB \cos \alpha} \left( \frac{6m\ell \cos \alpha}{b^2} - \frac{m \sin \alpha}{b} \right). \quad (2.16)$$

Следовательно,

$$G_H = \frac{P}{mB_y} \leq |G|. \quad (2.17)$$

Коэффициент формы зуба зависит от числа зубьев и от коэффициента смещения инструмента при корригировании; значение его выбирается по таблицам.

Для передач со скоростью более 10 м/сек. нельзя ограничиваться расчетом на изгиб. Прочность зубчатых колес зависит от точности изготовления и сборки, жесткости валов, режимов работы и т.д. В месте соприкосновения зуба одного колеса с зубом другого колеса возникают контактные напряжения, которые могут привести к интенсивному износу и выкрашиванию зубьев.

Величина контактных напряжений зависит от профиля зуба, от удельных нагрузок на 1 см длины контакта между зубьями и от модуля упругости материала колес.

Наибольшие контактные напряжения возникают в полюсе зацепления, где, как правило, начинается выкрашивание зуба.

Величину контактных напряжений принято определять по формуле Герца, полученной им для определения напряжений при сжатии двух цилиндров:

$$G_k = 0,41B \sqrt{\frac{qE}{P_{np}}}, \quad (2.18)$$

где  $q$  – удельная нагрузка, т.е. нагрузка на 1 см ширины колеса;  
 $E$  – приведенный модуль упругости материала:

$$E = \frac{2E_u E_k}{E_u + E_k}, \quad (2.19)$$

где  $E_u, E_k$  – модули упругости материала шестерни и колеса.

Если эти материалы одинаковы, то:

$$E = E_u = E_k.$$

$$\rho_{np} = \frac{P_k \rho_u}{\rho_k + \rho_u}, \quad (2.20)$$

где  $\rho_{np}$  – приведенный радиус кривизны;

$r_w, r_k$  – радиусы кривизны профилей зубьев шестерни и колеса (знак плюс – для наружного зацепления, минус – для внутреннего) для рейки:

$$\rho_k = \infty \text{ и } \rho_{np} = \rho.$$

Для удобства практических расчетов формулу Герца преобразуют так, что выражают входящие в нее величины через параметры зубчатой передачи: мощность  $N$ , число оборотов  $n$ , межосевое расстояние  $A$ , передаточное число  $i$ .

Обычно при расчете зубчатых передач задаются отношением ширины колеса  $B$  к межосевому расстоянию  $A$ : и определяют межосевое расстояние:

$$\frac{B}{A} = \psi, A = (i \pm 1) \sqrt[3]{\left(\frac{340000}{G_k}\right)^2 \frac{1}{\psi n_k}}, \quad (2.21)$$

где  $k$  – коэффициент концентрации напряжений.

Знак плюс – для наружного, минус – для внутреннего зацепления.

Боковые поверхности зубьев обычно выполняются с эвольвентным профилем. Однако для передач большей мощности применение зубчатых колес с эвольвентным профилем имеет ряд недостатков: высокие контактные напряжения в связи с малым радиусом кривизны профилей, большая чувствительность к перекосам, значительные потери на трение

В странах СНГ применяется принципиально новая система зацепления для косозубой или шевронной пары, изобретенная М.Л. Новиковым.

В этом зацеплении эвольвентный профиль заменен дугами окружностей, и поверхности зубьев выполняются круговинтовыми. Профиль зуба шестерни делается выпуклым, а колеса – вогнутыми. Линия зацепления расположена не в плоскости вращения, а параллельно оси колес. Зацепление происходит не по прямой линии, а по площади контакта. Контакт зубьев перемещается не по профилю, а вдоль зуба с постоянной скоростью с углом давления. Это и позволяет очерчивать профиль дугами окружности. Поэтому несущая способность при равных габаритах с эвольвентным зацеплением повышается в 2-3 раза. Недостатками являются значительная сложность изготовления инструментов для фрезерования зубьев и высокая чувствительность зацепления к изменению межцентрового расстояния.

**Червячные передачи.** Эти передачи представляют собой винт (червяк) обычно с трапециевидной резьбой, находящейся с зубчатым колесом. Для увеличения контакта наружная поверхность червячного колеса делается вогнутой (рисунок 3.4).

В этих передачах за каждый оборот червяка колеса поворачиваются на один зуб при однозаходной резьбе, на два зуба – при двухзаходной резьбе и т.д. С помощью таких передач можно получить передаточное число больше 20 (обычно 50-60).

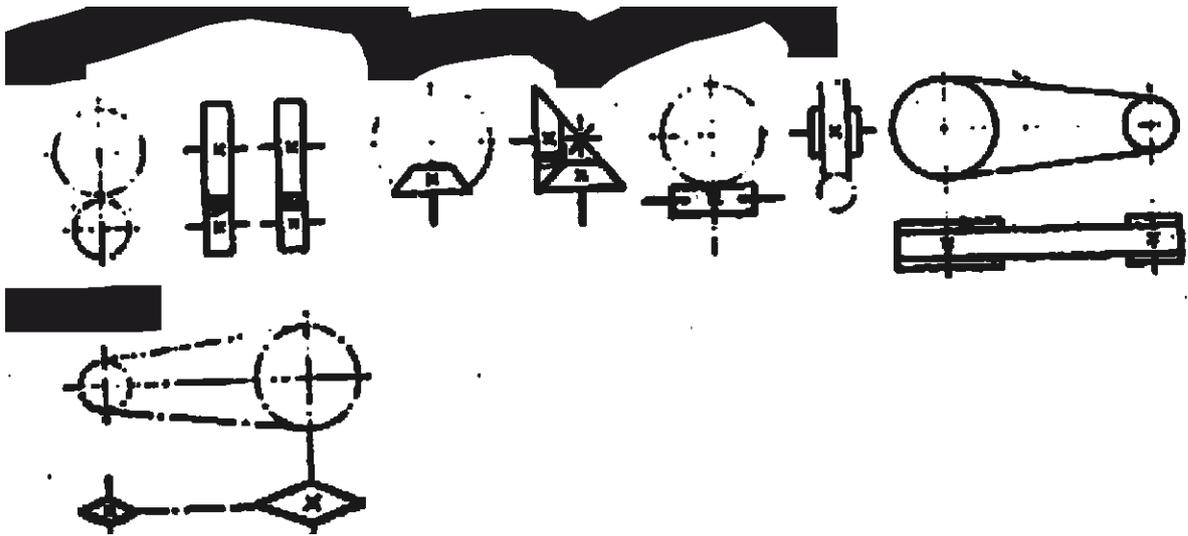


Рисунок 3.4 - Схемы передач: а – зубчатая цилиндрическая; б – зубчатая коническая; в – червячная; г – ременная; д – цепная

Передаточное число передачи:

$$i = \frac{z_k}{z_n} = \frac{n_n}{n_k},$$

где  $z_n$  – число заходов червяка;

$z_k$  – число зубьев колеса;

$n_k$  – число оборотов колеса;

$n_n$  – число оборотов червяка.

Червячными передачами можно передавать мощность до 500 кВт. Окружные скорости могут достигать 15 м/с. КПД составляет 0,7-0,9.

Червячные передачи обычно отличаются свойством самоторможения. Это свойство используется в грузоподъемных устройствах. Если бы привод барабана, с помощью которого поднимается груз, имел, например, зубчатую передачу, то пришлось бы устанавливать тормозное устройство, чтобы груз не опускался. При наличии самотормозящейся червячной передачи обратного движения быть не может. Основными параметрами, характеризующими червячную передачу, являются:

- шаг  $t$ ;
- модуль  $m$ ;
- диаметр делительной окружности колеса  $d_{dk}$ :

$$d_{dk} = Z_k m; \tag{2.22}$$

- диаметр делительной окружности червяка:

$$d_{\partial 4} = \frac{mz_4}{\operatorname{tg}\beta},$$

где  $z_4$  – число заходов червяка;

$b$  – угол подъема винта;

- расстояние между осью колеса и осью червяка:

$$A = \frac{m}{2} \left( \frac{z_4}{\operatorname{tg}\beta} + Z_k \right); \quad (2.23)$$

- диаметр окружности выступов колеса  $D_{1k}$ :

$$D_{ek} = d_{\partial k} + Zm; \quad (2.24)$$

- диаметр окружности выступов червяка  $D_{e\psi}$ :

$$D_{e\psi} = d_{\partial \psi} + Zm; \quad (2.25)$$

- диаметр окружности впадин колеса  $D_{1k}$ :

$$D_{ik} = d_{\partial \psi} - 2,4m; \quad (2.26)$$

- диаметр окружности впадин червяка:

$$D_{i\psi} = d_{\partial \psi} - 2,4m. \quad (2.27)$$

Окружное усилие на колеса. Оно равно осевому усилию на червяке  $P_n$ , равно осевому усилию на колеса  $P_k$ . Радиальное усилие, раздвигающее червяк и колеса:

$$R = P_k \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.28)$$

где  $\alpha$  – угол зацепления.

В червячных передачах рассчитывается зуб колеса на изгиб и контактную прочность, так как он слабее зуба червяка.

Расчет червячных колес ведется аналогично расчету зубчатых колес.

Несущая способность червячной передачи может быть повышена при тех же габаритах в 1,5-3 раза путем нарезки витков червяка на глобоидной поверхности. Однако эти передачи требуют более точного изготовления.

В строительных машинах червячные передачи применяются обычно как самотормозящиеся для привода редко работающих механизмов.

## 2.4 Резьбовые соединения

Резьбовые соединения осуществляются болтами, винтами, шпильками и гайками.

Основными элементами таких соединений являются профиль резьбы (прямоугольный, треугольный, трапециевидный); диаметр наружный  $d$ , средний  $d_0$  и внутренний  $d_1$ ; шаг  $s$ ; угол профиля  $\alpha$ ; высота профиля резьбы  $t$ ; угол подъема  $\beta$ ; число заходов  $n$ .

В зависимости от направления вращения контура, образующего резьбу, различают правую и левую. Если резьба образована одной винтовой ниткой, то ее называют однозаходной. Может быть также многозаходная резьба, образованная двумя, тремя и больше винтовыми нитками. Для крепежных целей обычно применяется однозаходная резьба с треугольным профилем.

Для определения сил, действующих в винтовой паре, резьбу разворачивают по среднему диаметру  $d_0$  в наклонную плоскость, а гайку изображают в виде ползуна  $A$ .

По величинам  $d_0$  и  $s$  может быть определен угол подъема резьбы  $\beta$ . Движущая окружная сила  $T$ , необходимая для перемещения ползуна  $A$  при действии на него осевой силы  $P$ , может быть определена из рассмотрения сил:

$$T = Ptg(\beta + \gamma), \quad (2.29)$$

где  $\gamma$  – угол трения между ползуном и наклонной плоскостью.

Величина угла  $\gamma$  неодинакова для резьбы различного профиля. У треугольного профиля она больше, чем у прямоугольного, так как трение в резьбе с прямоугольным профилем меньше, чем с треугольным.

Винтовые пары применяются не только для крепежных целей, но и в механизмах для подъема грузов (домкратах) для преодоления усилий. В этом случае очень важно, чтобы поднимаемый груз при остановке механизма, когда перестает действовать движущая окружная сила  $T$ , не опускался, т.е. чтобы винтовая пара обладала свойством самоторможения. Это означает, что ползун  $A$  не должен сползать по наклонной плоскости под действием силы  $P$ , если снято действие силы  $T$ . Самоторможение достигается при условии, когда угол подъема меньше угла трения.

Болты и винты имеют на одном конце резьбу для ввертывания в резьбовое отверстие одной из деталей, а на другом конце – головку; болты – шестигранную или квадратную под ключ, а винты – полукруглую, цилиндрическую или потайную с пазом под отвертку.

Болты и винты стандартизованы по диаметру, длине  $l$ , длине нарезанной части  $l_0$ , размеру под ключ  $s$  и высоте головки  $h$ .

Винты применяются в соединениях, где действуют усилия меньше, чем в болтах.

Шпильки не имеют головок, резьба нарезается на обоих концах. Один конец шпильки ввертывается в резьбовое отверстие, а на другой навертывается

гайка. Шпильки применяют там, где по конструктивным соображениям нельзя установить болты, а также при соединении деталей из алюминия и легких сплавов, когда при установке винтов, требующих частого завинчивания и вывинчивания, резьба быстро разрушается.

Гайки бывают различных конструкций. Обычно применяют шестигранные гайки, реже – квадратные и круглые. Чтобы круглые гайки можно было завертывать, в них делают пазы для отверстия.

Для предохранения резьбовых соединений от развинчивания применяют различные устройства. Так, при установке двух гаек, верхняя из которых называется контргайкой, увеличивается сила трения между болтом и гайкой, что препятствует отвертыванию последней.

В других случаях под гайку устанавливают пружинную шайбу, что сохраняет силы трения между резьбой и гайкой. При использовании круглых гаек применяют стопорные винты. Делают также специальные гайки с прорезью под шплинт – прорезные и корончатые. Детали резьбовых соединений рассчитывают, исходя из следующих условий нагружения:

- болты работают только на растяжение (например, рымболт редуктора).

Нормальные напряжения растяжения  $G$  в таких случаях можно определить по формуле:

$$G = \frac{P}{F} = \frac{4P}{\pi d_1^2} \leq |G|_p, \quad (2.30)$$

где  $P$  – сила, действующая вдоль болта;

$F$  – площадь сечения болта по внутреннему диаметру резьбы;

$d_1$  – внутренний диаметр резьбы.

Из выражения может быть определена величина:

$$d_1 > \sqrt{\frac{4P}{\pi |G_p|}} \quad (2.31)$$

- болты работают на растяжение и кручение в тех случаях, когда они установлены с начальной затяжкой. В этих болтах, помимо растягивающих сил, действует крутящий момент, так как во время завертывания гайки возникают силы трения в резьбе.

Величина этого момента зависит от осевой силы  $P$ , угла подъема винтовой нитки  $\beta$ , угла трения  $Y$ ,  $tg Y = f$ , где  $f$  – коэффициент трения в резьбовом соединении.

$$M_T = P \frac{d_o}{2} tg(\beta + Y), \quad (2.32)$$

где  $d_o$  – средний диаметр резьбы.

С учетом влияния крутящего момента приведенное эквивалентное номинальное напряжение  $G_{np} = 1,3 G$ .

В таких соединениях болты в отверстия устанавливаются с зазором. Сила  $P$ , с которой должен быть затянут болт, должна быть такой, чтобы на поверхности контакта соединяемых деталей сила трения была равна или больше поперечной нагрузки  $T$ , т.е.

$$Pfi \geq T,$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$i$  – число плоскостей, по которым действуют силы трения.

- болты работают на срез и смятие. В этих соединениях болт ставится в отверстие без зазора. Напряжения среза и смятия в болте вызываются действием поперечной силы  $T$ . Эти напряжения могут быть определены по формулам:

$$\tau_{cp} = \frac{4T}{\pi D^2 zi} \leq |\tau_{cp}|,$$

$$G_{cm} = \frac{T}{zd\delta} \leq |G_{cm}|, \quad (2.33)$$

где  $i$  – число плоскостей одного болта;

$z$  – число болтов;

$d$  – меньшая из толщин соединяемых деталей.

**Выбор резьбовых соединений.** Резьба рассчитывается на срез и смятие. Величина напряжения среза в резьбе определяется зависимостью:

$$\tau_1 = \frac{P}{\pi d_1 k H m} \leq |\tau_{cp}|, \quad (2.34)$$

где  $H$  – высота гайки;

$k$  – коэффициент, характеризующий резьбу (он равен 0,5-0,75, в зависимости от профиля резьбы);

$m$  – коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки витков резьбы (он зависит от шага резьбы и наружного диаметра резьбы; при можно принять).

Напряжение смятия в резьбе определяется выражением:

$$G_{cm} = \frac{4P}{\pi(d^2 - d_1^2) m z}, \quad (2.35)$$

где  $z$  – число витков по высоте гайки  $\left( z = \frac{H}{B} \right)$ .

**Клиновые, клеммовые, шпоночные и шлицевые соединения.** Все эти соединения являются разъемными. В клиновом соединении детали соединяются при помощи клина, забиваемого в отверстия этих деталей. Угол  $\alpha$  делается таким, чтобы под действием сил, перпендикулярных оси клина, клин не выжимался из отверстия, т.е. клин должен отвечать условию самоторможения  $\alpha \leq 2\rho$ ,  $\rho$  - угол трения.

Этому условию отвечают клинья, у которых  $\operatorname{tg} \alpha$  меньше  $\frac{1}{30}$ . Клинья бывают односторонние и двухсторонние. В строительных машинах обычно применяются односторонние клинья. Это вид соединения прост по конструкции и позволяет быстро собирать соединения. Клинья рассчитываются на изгиб и смятие:  $G_4 = \frac{3 PD}{4 bh^2} \leq |G_n|$ ,  $G_{CM} = \frac{P}{b(D \cdot d)} \leq |G|_{CM}$ . Кроме этого проверяется прочность стержня и втулки на растяжение и срез.

В клеммовом соединении детали соединяются при помощи клеммы, представляющей собой цилиндр с прорезью или состоящей из двух отдельных частей. Их применяют для закрепления на валах и осях различных деталей, например, рычагов противовесов, ручек поворотов осей и т.д., которые удерживаются на валу силой трения  $Nf$  между поверхностью отверстия клеммы и поверхностью вала, создаваемой в результате затяжки силой  $P$ . Эти соединения могут применяться только при передаче небольших нагрузок. Достоинством клеммовых соединений является простота конструкции и возможность перестановки деталей и регулировки их взаимного расположения.

Расчет на прочность: первый случай – посадка выполнена с большим зазором:  $Nfd$  и  $M$  – крутящий момент,  $2Nf$  и  $B$  – осевое напряжение; второй случай – форма сопрягаемых деталей, цилиндрический зазор равен нулю:  $2,5 Qfd$  и  $M$  и  $5 Qf$  и  $S$ .

В шпоночном соединении усилие, передаваемое от одной детали к другой, воспринимается боковыми поверхностями шпонки. Эти усилия стремятся смять и срезать шпонку. Для расчета шпонок на смятие принимается, что напряжения распределены по всей длине и высоте шпонки равномерно, что равнодействующая сил, действующих на шпонку, приложена на плече, равном и что шпонка выступает под поверхностью вала на  $0,5 h$ . Следовательно, по передаваемому моменту  $M$  могут быть определены величины  $t_{cp}$  и  $G_{CM}$ :

$$G_{CM} = \frac{4M}{hl_p d} \leq |G_{CM}|,$$

$$\tau_{cp} = \frac{4M}{bl_p d} \leq |\tau|. \quad (2.36)$$

При передаче больших крутящих моментов на валах устанавливают две или три шпонки. Типы шпонок: клиновые, призматические, сегментные и цилиндрические.

Шлицевое соединение является как бы многошпоночным соединением. В детали, помещаемой на валу, протягиваются пазы (канавки), соответствующие выступам (шлицам) на валу. Шлицы выполняются с прямолинейным профилем, с эвольвентным и треугольным. Эти соединения бывают неподвижными и подвижными, когда деталь может перемещаться вдоль оси вала.

В шлицевых соединениях боковые поверхности шлицев рассчитывают на смятие. Принимается, что усилие  $P$  от передаваемого крутящего момента  $M_{кр}$  приложено на диаметре  $d_{cp}$ :

$$P = \frac{2M_{кр}}{d_{cp}}. \quad (2.37)$$

Так как  $d_{cp} = \frac{D+d}{2}$ ,  $P = \frac{4M_{кр}}{D+d}$ ,

следовательно:

$$G_{см} = \frac{2P}{(D-d)\ell Z_k} = \frac{8M_{кр}}{(D^2 - d^2)\ell Z_k} \leq |G_{см}|, \quad (2.38)$$

где  $l$  – длина шлица;

$z$  – число шлицев;

$k=0,75$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между шлицами.

## 2.5 Подвижные соединения элементов передач горных технологических машин

**Валы и оси.** Вращающиеся детали машин устанавливаются на осях или валах. Валы всегда вращаются вместе с деталями или остаются неподвижны, момента не передают и только поддерживают детали. Поэтому оси нагружены только изгибающими усилиями, а валы, кроме них, – и крутящими моментами.

Валы бывают гладкие, ступенчатые, коленчатые. Когда диаметр червяка или шестерни близок к диаметру вала, их изготавливают как одно целое, например, вал с червяком, вал с зубчатой шестерней.

Валы и вращающиеся оси устанавливаются опорами (цапфами) в подшипниках. Цапфы, воспринимающие осевую нагрузку, называют пятнами.

При расчете валы и оси рассматриваются как балки на шарнирных опорах и рассчитывают на прочность. Определяют величины изгибающих и крутящих моментов в опасных сечениях. Если нагрузки действуют в разных плоскостях, то их обычно раскладывают на две взаимноперпендикулярные плоскости. Для определения результирующего момента изгибающие моменты во взаимноперпендикулярных плоскостях геометрически складывают по формуле:

$$M_u = \sqrt{M_2^2 + M_b^2}, \quad (2.39)$$

где  $M_2$  – момент от сил, действующих в горизонтальной плоскости;

$M_b$  – момент от сил, действующих в вертикальной плоскости.

Величина крутящего момента  $M$  определяется по формуле:

$$M = 974 \frac{N}{n}.$$

Приведенный момент для расчетных сечений обычно определяют так:

$$M_{np} = \sqrt{M_k^2 + M_u^2}.$$

Диаметр валов, работающих на изгиб и кручение, находят по формуле:

$$\alpha \approx \sqrt[3]{\frac{10\sqrt{M_u^2 + M_k^2}}{|G|}}. \quad (2.40)$$

Диаметр осей, работающих только на изгиб (т.е. когда  $M_k=0$ ), определяется выражением:

$$\alpha \approx \sqrt[3]{\frac{10M_u}{|G|}}, \quad (2.41)$$

где  $G^T$  – предел текучести;

$G_k$  – запас прочности.

Валы и оси проверяют также на жесткость. Эмпирически установлено, что величина максимальных прогибов не должна быть больше 0,0003 от расстояния между опорами, а в местах установки зубчатых колес – не больше 0,03 от модуля зацепления. Угол закручивания не должен превышать определенных величин. Его выбирают в зависимости от длины вала и условий работы. Для валов строительных машин этот угол составляет на 1 м длины валы от 15 до 30. При расчете на выносливость валов и осей учитывается характер изменения напряжений, усталостные характеристики материалов, влияние концентрации напряжения, качество изготовления и т.д. Обычно расчет при этом сводится к тому, что определяется запас прочности в зависимости от указанных параметров.

Для передачи движения между деталями, расположенными так, что жесткую связь нельзя осуществить (например, для привода вибраторов, механизированных инструментов и других механизмов), применяют гибкие валы.

Эти валы делают из нескольких слоев проволоки, плотно намотанных на сердечник, причем каждый слой имеет противоположное направление навивки. Направление навивки наружного слоя противоположно тому, которое должен

иметь вал при работе, чтобы проволока не раскручивалась, а также, чтобы при вращении вала внутренние слои вала уплотнялись. Броня, покрывающая гибкий вал, вместе с ним не вращается. Она обеспечивает заданное направление, защищает вал от повреждений, удерживает на нем консистентную смазку и предохраняет рабочих от захвата валов.

**Подшипники.** Валы и детали, вращающиеся вокруг них, поддерживаются на подшипниках. Различают подшипники скольжения и качения.

**Подшипники скольжения.** В зависимости от величины и направления нагрузок, возникающих на валах, поддерживаемых подшипниками, различают подшипники радиальные, которые могут воспринимать нагрузки, направленные радиально, и упорные подшипники, которые могут воспринимать усилия как направленные вдоль оси.

Поверхность цапфы в радиальных подшипниках скользит относительно его внутренней поверхности. Уменьшение сил трения между трущимися поверхностями создается слоем смазки. При работе цапфа занимает в подшипнике эксцентричное положение, и поэтому смазка между поверхностями подшипника и цапфы принимает форму клина. Цапфа, вращаясь, увлекает смазку в узкий зазор, где создается масляная подушка, поддерживающая цапфу. Слой масла, разделяющий цапфу и подшипник, создается также, если в зазор подается масло при помощи масляного насоса и гидродинамическое давление по окружности подшипника.

Подшипники скольжения состоят из корпуса, вкладыша и устройства для смазки. Корпус подшипника может быть цельным с впрессованным цилиндрическим вкладышем; разъемным – с вкладышем, состоящим из двух половин. Цельные корпуса применяют для валов небольших диаметров. Разъемные корпуса облегчают монтаж валов, позволяют производить регулировку диаметра.

Вкладыши обычно делают биметаллическими. На чугунную, стальную, а в ответственных конструкциях бронзовую основу наносится антифрикционный материал: баббит, свинцовистая бронза и т.д.

Ненаплавлиющиеся антифрикционные материалы (антифрикционные чугуны, текстолит, прессованная древесина) применяются для изготовления из них сплошных вкладышей, которые находят применение в индивидуальном и мелкосерийном производстве наряду с биметаллическими вкладышами.

Нанесение мягких антифрикционных материалов, главным образом баббита, осуществляется заливкой. Толщина слоя заливки составляет от 0,5 до 1,5 мм, в зависимости от диаметра вкладыша. При уменьшении толщины слоя заливки увеличивается усталостная прочность баббитового слоя, поэтому всегда надо стремиться к уменьшению этой толщины.

Важным размером в подшипнике является длина, которую обычно выбирают в пределах 0,5-0,9 диаметра цапфы.

Подшипники скольжения рассчитывают на допускаемое удельное давление. Величина этого давления должна быть меньше допускаемых величин, которые зависят от скорости скольжения материала вкладыша или заливки и ее толщины:

$$P = \frac{P}{d\ell} \leq |P|. \quad (2.42)$$

Например, для подшипников с заливкой из оловянных баббитов  $|P|=20$  кгс/см<sup>2</sup>, а для бронзовых с малой скоростью скольжения  $|P|=100$  кгс/см<sup>2</sup>.

При работе температура подшипника не должна превышать 60°C. Подшипники скольжения ответственного назначения следует рассчитывать на жидкостное трение, которое основано на том, что масляный слой между цапфой и вкладышем воспринимает всю нагрузку.

Подшипники скольжения устанавливаются для валов большего веса, когда требуется разборка подшипников, либо когда последний работает в агрессивных средах или при большом загрязнении.

**Подшипник качения** состоит из наружного и внутреннего колец с дорожками качения. Между кольцами в дорожках качения устанавливаются шарики или ролики, которые катятся по дорожкам. Чтобы ролики или шарики находились на одинаковом расстоянии один от другого, в подшипниках предусмотрены сепараторы, представляющие собой штампованные кольца с отверстиями для роликов или шариков.

Широко используются роликовые подшипники (при малых диаметрах роликов они называются игольчатыми).

Подшипники качения можно разделить на три типа: радиальные – воспринимающие радиальные нагрузки и допускающие небольшие осевые нагрузки; радиально-упорные – воспринимающие как радиальные, так и осевые нагрузки, но величина последних не должна превышать 0,7 от разности между допустимой и действующей радиальными нагрузками; упорные – воспринимающие только осевые нагрузки.

Шариковые подшипники применяют в передачах с малыми и средними нагрузками. Роликовые подшипники устанавливают в передачах с большими нагрузками, которые могут быть почти в 2 раза больше, чем у шариковых. Однако они хуже работают при больших числах оборотов. Максимально допустимое число оборотов для них почти в 2 раза меньше, чем для шариковых подшипников.

Подшипники выбирают по нагрузкам, действующим на них. Нагрузки могут быть постоянными, переменными, с ударами, толчками, с разным соотношением величин осевых и радиальных нагрузок и т.д. Условия нагружения могут быть также различными: может вращаться внутреннее или наружное кольцо. Поэтому подшипники подбирают не только по величине нагрузки (статических сил), но по условной нагрузке, которая учитывает указанные параметры. Величина условной нагрузки определяется по формуле, полученной по экспериментальным данным:

$$Q = (RK_k + mA)_k, \quad (2.43)$$

где  $R$  – радиальная нагрузка;

$A$  – осевая нагрузка;

$K_k$  – коэффициент, который вводится только при вращении наружного кольца (он равен 1,1 – для сферических подшипников и 1,35 – для всех остальных);

$k$  – коэффициент, учитывающий условия работы подшипника:

$$k = k_D k_t,$$

где  $k_D$  – коэффициент динамичности нагрузки;

$k_t$  – коэффициент, вводимый при повышенной рабочей температуре подшипника ( $t > 100$  l). Значения его приводятся ниже:

$t = 125$ °C	150 °C	200 °C	250 °C
$k_t = 1,05$	1,1	1,25	1,4

Подшипники рассчитаны на долговечность, в зависимости от действующей условной нагрузки.

Экспериментально установлено, что между долговечностью и нагрузкой существует зависимость:

$$c = Q(nh)^{0,3}, \quad (2.44)$$

где  $n$  – число оборотов в минуту;

$h$  – число часов работы;

$c$  – коэффициент работоспособности подшипника.

Зная условия работы и действующее усилие, задаются необходимым числом часов работы  $h$ , определяют величину  $C$  и по ней подбирают подшипник, пользуясь справочником.

Для эксплуатации подшипников важно правильно их установить, правильно смазывать и предохранять от загрязнения. Подшипники должны быть установлены без перекосов, чтобы температурные деформации валов не вызывали дополнительных нагрузок на подшипники, один из подшипников должен свободно перемещаться в осевом направлении.

Радиально-упорные подшипники устанавливаются так, чтобы можно было производить осевую регулировку, что осуществляется обычно перемещением одного конца относительно другого.

Смазка подшипника может быть консистентной или жидкой. Для консистентной смазки в корпусах подшипников предусматривается свободное пространство. При работе на консистентной смазке температура не должна превышать 100 °C. Жидкую смазку используют там, где КПД должен быть значительным. Допускаемая температура в этом случае может достигать 120 и

150°. Чтобы подшипники не загрязнялись и масло не вытекало из корпусов, устанавливают манжеты.

В подшипниках качения по сравнению с подшипниками скольжения сила трения в 5-10 раз меньше.

**Муфты.** Соединения валов, являющихся продолжением один другого и расположенных под углом, при передаче крутящего момента между валом и сидящими на нем деталями осуществляется муфтами (рисунок 3.5)

Они разделяются на муфты постоянного действия (неуправляемые) и муфты сцепные (управляемые).

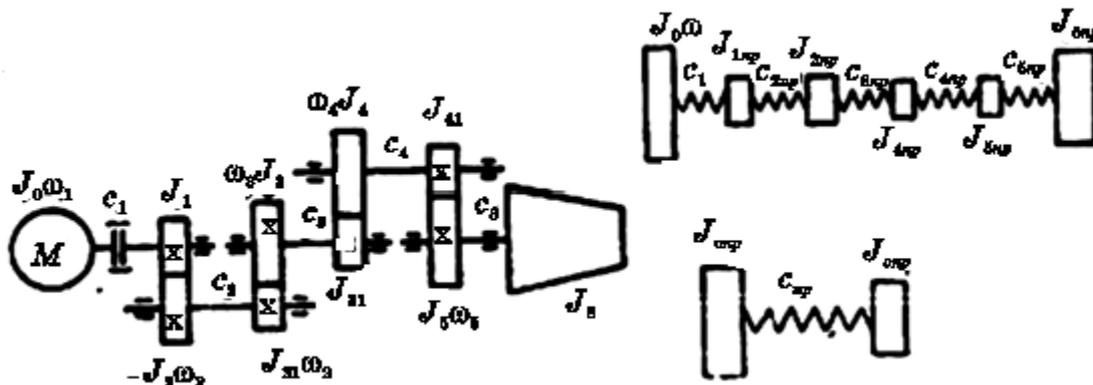


Рисунок 3.5 - Расчетные схемы привода исполнительного органа:

а – кинематическая; б – динамическая; в – упрощенная динамическая;  $\omega$  – угловая скорость;  $c$  – жесткость связи;  $I$  – момент инерции

Муфты, жестко соединяющие валы, различают следующих видов.

Втулочные муфты просты по конструкции, малы по габаритам. Недостатком их является то, что для соединения валов последние необходимо раздвигать. Муфты применяют для диаметров валов не более 120 мм.

Фланцевые муфты обычно состоят из двух полумуфт и бывают двух типов. В одном типе муфт болты устанавливают без зазора, при этом болты работают на срез, и на каждый из них действует сила:

$$P = \frac{2M_k}{zd}, \quad (2.45)$$

где  $z$  – число болтов;

$d$  – диаметр окружности, по которой расположены болты.

Если болты устанавливают с зазором, то крутящий момент передается под действием момента трения  $M_T$ , создаваемого затяжкой болтов:

$$M_T = \frac{zP_{зам}fd_{cp}}{2} \geq M_k, \quad (2.46)$$

откуда:

$$P_{зам} \geq \frac{2M}{d_{cp} z f}, \quad (2.47)$$

где  $P_{зам}$  – усилие, с которым затягивается каждый болт;

$d_{cp}$  – средний диаметр фланцев муфты;

$f$  – коэффициент трения, равный 0,15-0,2.

Муфты, соединяющие валы с взаимным смещением или перекосом, возникающим в результате неточности изготовления, монтажа или деформации во времени работы, называются компенсирующими (рисунок 3.6).

Наиболее простая муфта представляет собой две полумуфты, болт в одной из них упирается в резиновые прокладки, что позволяет компенсировать неточности в положении валов.

**Цепные муфты** состоят из двух полумуфт-звездочек, на которые надета цепь. Они допускают перекося валов до 1,5 и радиальное смещение до 2 мм при средних размерах и до 55 мм – при больших размерах муфт.

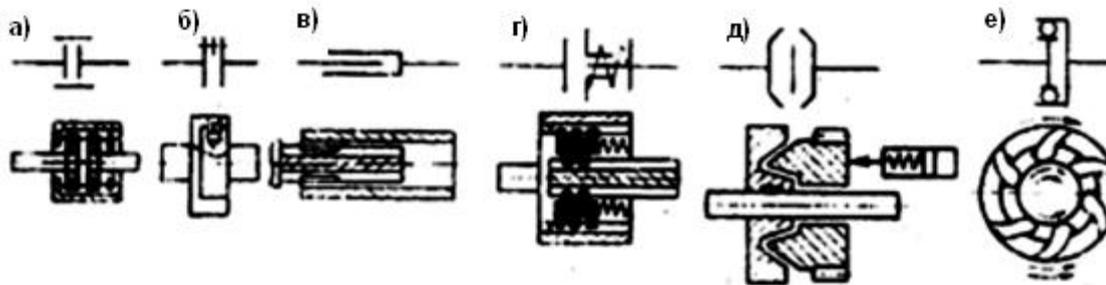


Рисунок 3.6 – Схемы муфт: а – зубчатая; б– пальцевая; в – телескопическая; г– фрикционная; д – кулачковая; е– шариковая (обгонная)

**Крестовые муфты** применяются для соединения валов, когда могут быть большие смещения осей. Они состоят из двух полумуфт, на торцах которых имеются пазы. Между полумуфтами помещается диск, на торцах которого предусмотрены выступы, перпендикулярно расположенные по отношению один к другому. Недостатком этих муфт является большой износ пазов, так как во время работы средний диск движется относительно полумуфт. Между диском и полумуфтами возникают силы трения, вызывающие радиальные усилия, которые передаются на вал. Величина их достигает 0,1-0,4 окружного усилия, в зависимости от материала полумуфт.

**Шарнирные муфты** применяются для передачи движения между валами, расположенными под углом 45°. Это обеспечивается тем, что муфта имеет два шарнира, расположенных взаимоперпендикулярно.

**Сцепные муфты.** Такие муфты применяют в приводах, когда необходимо при работе часто соединять или разъединять валы. Сцепные муфты бывают кулачковые (зубчатые) и фрикционные. Первые применяются для механизмов, включаемых при их остановке или очень медленном вращении, причем включать

их необходимо не чаще, чем в 5-15 минут. Вторые – при включениях, производимых на ходу с периодом действия в течение иногда нескольких секунд.

**Кулачковая муфта** состоит из двух полумуфт, на торцевых поверхностях которых имеются кулачки (зубья) треугольного трапецеидального или прямоугольного профиля. Зубья треугольного профиля могут быть симметричными и несимметричными. Включаются и выключаются такие муфты при осевом перемещении одной из полумуфт.

Кулачковые муфты применяют главным образом в приводах в передачах, когда включение происходит при неподвижных или очень медленно вращающихся деталях, а также, когда не допускается проскальзывание одного вала относительно другого.

Такие муфты изготавливают обычно из легированных сталей и термически обрабатывают до твердости HB 50-70. Устанавливаются они с высокой степенью прочности.

**Фрикционные муфты** позволяют осуществлять плавное включение. Они бывают ленточные, дисковые, конусные, а также пневмокамерные.

Полумуфты дисковой муфты соединяются под действием сил трения, возникающих между торцовыми поверхностями в виде гладких дисков. Величина создаваемого момента трения зависит от силы  $Q$ , с которой диски прижимаются один к другому, а также от коэффициента трения между дисками  $m$  от среднего диаметра дисков  $D_{cp}$  и от коэффициента запаса сцепления  $b$ , который принимается равным 1,25-1,5. В многодисковых муфтах момент трения зависит также и от числа дисков, т.е. от количества поверхностей трения  $z$ , которое равно числу дисков минус один.

Величина крутящего момента, передаваемого муфтой:

$$M_{кр} \leq \frac{Q\mu D_{cp}}{2\beta} (z-1). \quad (2.48)$$

Недостатком дисковых фрикционных муфт является необходимость создания сравнительно большой силы  $Q$ , вследствие чего они обычно применяются для небольших мощностей.

Конусные муфты представляют собой две полумуфты с коническими рабочими поверхностями, одна из которых имеет внутренний конус, а другая – наружный. Перемещением одной из полумуфт вдоль оси достигается включение муфты.

Принцип работы муфты заключается в том, что благодаря конусной поверхности в результате действия силы  $Q$  возникает нормальная сила  $N$ , значительно большая, чем сила  $Q$ . Величина крутящего момента, передаваемая муфтой, составляет:

$$M_k \leq \frac{QR_{cp}\mu}{\beta \sin \alpha}. \quad (2.49)$$

Применяются для передачи мощности до 200 л.с.

**Ленточные муфты** работают по принципу обычного ленточного тормоза, устанавливаемого на ведущем ободе муфты и охватывающего шкив. Их преимущество в том, что они не передают на вал осевые усилия и требуют ничтожных усилий для включения. Применяются в строительных машинах, особенно в землеройных. В этих муфтах трение создается между колодками резиновой камеры, связанной с одной полумуфтой и наружной поверхностью обода другой полумуфты.

Колодки прикреплены к внутренней поверхности камеры шпильками и в сметах трения покрыты антифрикционным материалом. При подаче воздуха в камеру создается давление на колодки, в результате которого последние прижимаются к ободу второй полумуфты.

Момент, передаваемый такой муфтой, составляет:

$$M \leq \frac{2}{\beta} \pi R^2 b |P| \mu, \quad (2.50)$$

где  $R$  – радиус поверхности трения;

$b$  – ширина колодки;

$|P|$  – допустимое давление.

Недостаток пневмокамерных муфт заключается в старении резины.

**Канаты, блоки, полиспасты.** Широко используются в горных и строительных машинах стальные проволочные канаты. Они применяются для подъема или горизонтального перемещения грузов (грузовые канаты), для оттяжек, торможения поднимаемых грузов (поддерживающие канаты). При специальной конструкции их применяют в качестве рельсов для кабельных кранов (несущие канаты), для строповки перемещаемых грузов.

Канаты делают из отдельных проволок диаметром от 0,5 до 3,5 мм. Проволоки свивают в пряди, пряди навивают на органический или металлический сердечник. Различают канаты с точечным касанием проволок между слоями прядей (ТК) и с линейным касанием (ЛК).

Проволоки, из которых свивают канат, могут быть одинакового или различного диаметра. При разном диаметре проволок в обозначении каната добавляется буква «Р», при одинаковом – «О».

В зависимости от направления свивки верхнего слоя проволоки различают канаты правой (П) и левой (Л) свивки. По виду свивки различают канаты крестовой свивки, когда направление свивки проволок в прядях противоположно направлению свивки прядей в канате, параллельной (односторонней) свивки, когда в прядях и проволоках направление свивки одинаковое, и комбинированной свивки, когда проволоки в двух соседних прядях имеют противоположное направление.

Маркировка канатов включает, кроме указанных буквенных обозначений, также диаметр каната, расчетный предел прочности проволок, номер ГОСТа и обозначения марки проволоки в зависимости от ее механических свойств: В –

высшая марка, 1 – первая, 2 – вторая. Например, условные обозначения каната с точечным касанием проволоки в прядях диаметром Ж 11 мм: обыкновенный из проволоки с расчетным пределом прочности  $180 \text{ кгс/см}^2$ , марки 1, светлый; левой односторонней свивки – канат 11-180-1-Л-О.

Кроме стальных канатов применяются пеньковые, главным образом в качестве чалочных приспособлений для подвязывания грузов к крюкам и другим захватным устройствам или в канатных полиспадах подъемных устройств с ручным приводом.

Эти канаты обычно состоят из трех пеньковых прядей. Нити в прядях и сами пряди закручиваются в противоположных направлениях. Для защиты от сырости канаты пропитывают смолой.

Канат выбирают по разрывному усилию  $P$ , по наибольшему натяжению (нагрузке на канат) без учета динамических усилий и по коэффициенту запаса прочности  $K$ , который регламентирован госгортехнадзором.

Допускаемая нагрузка на канат равна:

$$s = \frac{P}{K}. \quad (2.51.)$$

Коэффициент  $K$  выбирается в зависимости от режимов работы и назначения каната. Например, для стреловых растяжек они должны иметь запас прочности не меньше 3,5. Для канатов лебедок, предназначенных для подъема людей,  $K=9$ . В грузоподъемных машинах при ручном подъеме людей  $K$  должно быть не менее 4,5. При машинном подъеме: при легком режиме – не менее 5, при среднем – 5,5, а при тяжелом режиме – не менее 6; в экскаваторах – от 4 до 5. Кроме расчета на прочность производится расчет канатов на долговечность, которая зависит от условий эксплуатации, количества перегибов (числа циклов), отношения диаметров каната к диаметру барабана, конструкций каната и его диаметра.

Пеньковые рассчитывают на растяжение:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \cdot [G], \quad (2.52)$$

где  $S$  – нагрузка на канат, в кгс;

$d$  – диаметр круга, описанного вокруг прядей каната, в см;

$|G|$  – допускаемое условное напряжение на разрыв для несмоленного каната;

$|G| = 100 \text{ кгс/см}^2$ , для просмоленного – до  $90 \text{ кгс/см}^2$ .

Способы крепления канатов разнообразны. Широко используют различные зажимы, которые подбирают по диаметру канатов. Наиболее распространенный зажим – «коренной зуб» – крепление конца каната с помощью трех таких зажимов.

Для подвески крюков на конце каната делают петлю. Чтобы канат не перетирался, внутри него помещают ковш.

Часто используют клиновые захваты, в которые заходит петля каната, заклинивающаяся при натяжении каната.

В конические захваты вводится конец каната, обмотанный проволокой, конец каната выше этой обмотки распускают, и концы проволок, из которых состоит канат, загибают, а внутрь захвата заливают расплавленный свинец.

Жесткие канаты крепят зажимными винтами и планками. Для крепления гибких канатов широко применяют клинковые крепления. Для уменьшения усилий, действующих на узлы крепления, рекомендуется, чтобы при разматывании каната на барабане оставалось 1,5-2 витка.

Канаты необходимо периодически проверять визуально. По нормам госгортехнадзора допускается иметь строго определенное количество оборванных проволок на длине одного шага свивки. Например, для условий работы, при которых коэффициент запаса прочности равен 6 или меньше, канат со 114 проволоками при односторонней свивке должен быть забракован после шести проволок, а при крестовой свивке – после 12 проволок. С увеличением запаса прочности это количество возрастает.

**Блоки.** Различают неподвижные, или направляющие блоки, и подвижные. Неподвижные блоки – для направления канатов. Оси их закрепляются неподвижно. Подвижные блоки имеют подвижные оси. Оси используются для выигрыша в силе или скорости подъема груза. Их применяют значительно реже, чем первые.

Если поднимается груз  $Q$  при помощи неподвижного блока, то величина усилия  $P$ , необходимого для подъема груза, должна быть больше, чем вес груза. Это объясняется тем, что при набегании каната на блок тратится работа на деформацию каната и на трение в опорах.

Величина отношения  $\frac{P}{Q} = E$  определяет сопротивление блока. КПД блока  $\eta = \frac{1}{E}$  изменяется от типа подшипников, угла обхвата каната, гибкости и диаметра его.

При установке блока на шариковые или роликовые подшипники  $\eta = 0,95/0,98$ ; при подшипниках скольжения  $\eta = 0,9/0,6$ .

Блоки допускают отклонение канатов от плоскости полиспаста (барабана) до 3-5°.

Блок с подвижной осью служит для выигрыша в силе. Путь  $S$  у этого блока в 2 раза больше пути  $h$  груза  $Q$  т.е.

$$S = 2h$$

Скорость  $N$ , сила  $P$  в 2 раза больше скорости  $V$ , груза  $Q$ .

Так как работа силы  $P$  на пути перемещения  $S$  равна работе, затрачиваемой на перемещение груза весом  $Q$  по длине перемещения  $h$ , то

Скорость  $N$ , сила  $P$  в 2 раза больше скорости  $V$  груза  $Q$ .

В блоках для выигрыша в скорости путь силы в 2 раза меньше пути груза и скорость силы в 2 раза меньше скорости груза, т.е.  $P = 2Q \frac{1}{\eta}$ .

**Полиспасты.** Системы из нескольких подвижных блоков называются полиспастами. Они разделяются на полиспасты для выигрыша в силе и полиспасты для выигрыша в скорости.

Полиспасты для выигрыша в силе могут быть выполнены различно: в одних канат сбегает с неподвижного блока, в других – с подвижного блока.

В полиспастах, в которых канат сбегает с неподвижного блока, число ветвей каната  $z$ , на которые подвешен груз, равно числу блоков. Усилие на сбегавшей ветви каната, т.е. на конце каната, к которому приложено усилие для перемещения груза, зависит от числа блоков и потерь в каждом блоке:

$$P = \frac{Q}{\eta z} = \frac{QE_2}{z}, \quad (2.53)$$

где  $E_2$  – коэффициент сопротивления полиспаста;

$h$  – КПД полиспаста.

Приближенно  $h_h = h_1 h_2 \dots h_n$ , где  $h_i$  – КПД отдельных блоков.

Величина передаточного отношения  $i$ , характеризующая, во сколько раз достигается выигрыш в силе, равна числу ветвей  $z$ .

В полиспастах, у которых канат сбегает с подвижного блока, число ветвей канатов, на которых подвешен груз, равно числу блоков плюс один. В этом случае:

$$P = \frac{Q}{\eta(z+1)}. \quad (2.54)$$

Передаточное отношение для этих полиспастов равно  $z/1$ .

**Остановочные и тормозные устройства.** Чтобы удержать груз, поднимаемый лебедками от падения, применяют остановочные приспособления. Храповый механизм имеет (останов) храповое колесо и защелку, колесо может вращаться только в одну сторону, так как вращению в другую сторону препятствует защелка. Один конец защелки свободно сидит на оси, а другой находится в контакте с колесом.

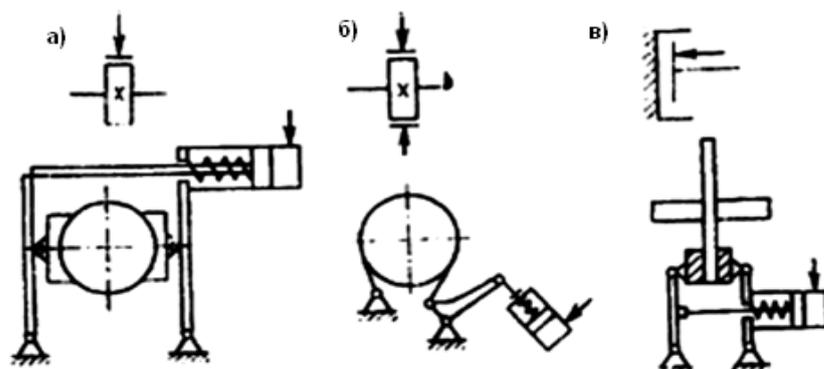


Рисунок 3.7. Схемы тормозов и стопоров: а – колодочный; б – ленточный; в – дисковый

Кроме этих остановов, значительно реже применяют фрикционные и роликовые остановы.

Тормозные устройства бывают колодочные, ленточные, дисковые, конические, пластинчатые, центробежные. Они применяются для регулирования скорости опускания груза или удерживания груза на весу, для погашения инерции движущихся масс тележек, кранов, грузов, для изменения скорости отдельных узлов машин.

В колодочных тормозах торможение осуществляется нажатием колодок на тормозной шкив, надетый на вал, который необходимо затормаживать. Величина силы трения, создаваемая каждой колодкой, равна произведению нормальной силы на коэффициент трения между колодками и тормозным шкивом. Величина момента трения:

$$M_T = 2N\mu \frac{D}{2}. \quad (2.55)$$

Чтобы затормозить шкив, момент трения должен быть больше момента, действующего на шкиве. Нажатие колодок достигается грузом и системой часов так, что тормоз всегда находится в заторможенном состоянии. Для расторможения чаще применяют электромагнитное устройство, при включении которого груз приподнимается и колодки отходят от диска.

В ленточном тормозе торможение достигается при обхвате тормозного шкива стальной лентой, трущаяся поверхность которой покрывается обкладкой из фрикционных материалов. Один конец ленты закреплен неподвижно, другой натягивается грузом через систему рычагов. Растормаживается тормоз электромагнитом.

**Пружины и рессоры.** Пружины бывают конические, винтовые, спиральные, плоские и тарельчатые. Они используются в качестве амортизаторов, а также для измерения сил и создания постоянных усилий в механизмах.

Наиболее распространены цилиндрические винтовые пружины, работающие на растяжение или сжатие. Их делают из проволоки различной формы (чаще круглой). Материалами для пружин служат высокоуглеродистые и легированные стали. Пружина характеризуется диаметром проволоки: средним диаметром, наружным диаметром, внутренним диаметром (-1), шагом витков, углом подъема витков, определяемым зависимостью, длиной рабочей части, числом рабочих витков. Угол подъема обычно принимается 10-12°.

Нагрузки, действующие на пружину (растяжение или сжатие), сводятся в основном к действию момента, вызывающего кручение.

Величина допускаемых нагрузок зависит от диаметра проволоки, допускаемого напряжения, среднего диаметра пружины.

Фактором, определяющим работу пружины, является величина ее суммарного сжатия или растяжения под действием нагрузки.

Величина сжатия, где модуль упругости – второго рода. Отношение обычно выбирается в пределах 4-8. Шаг пружин – в свободном состоянии.

Рессоры служат для амортизации и применяются в строительных и транспортных машинах.

Рессоры бывают листовые, винтовые и торсионные. Широко применяют листовые рессоры, состоящие из стальных полос, скрепляемых в пакет. Для большей гибкости длину этих полос делают неодинаковой. Достоинством такой конструкции является то, что колебания, возникающие при нагрузке на рессору, гасятся не только благодаря упругости листов, но и в результате сил трения между ними.

Для уменьшения напряжений листам придают изогнутую форму в направлении, противоположном тому, в котором будут действовать нагрузки на рессору во время работы. В зависимости от вида крепления рессоры точка приложения нагрузки различна.

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

### 3.1 Горная крепь

*Горная крепь* – это устройство, предназначенное для предотвращения прорыва обрушающихся пород в выработки, для сохранения необходимых размеров поперечных сечений выработок, а также для управления горным давлением.

Горная крепь должна удовлетворять техническим, производственным и экономическим требованиям.

К техническим требованиям относятся прочность, устойчивость и жесткость (или податливость).

Под *прочностью* крепи понимают ее способность сопротивляться горному давлению, не разрушаясь и не получая остаточных деформаций, влияющих на конструктивную работоспособность.

Под *устойчивостью* понимают ее способность сохранять свое первоначальное положение под влиянием действующих внешних сил.

Прочность и устойчивость характеризуют несущую способность крепи.

Под *жесткостью* крепи подразумевают ее способность сопротивляться образованию деформаций. В этой связи крепи различают жесткие, податливые и шарнирные.

К производственным требованиям относятся обеспечение выполнения в призабойном пространстве всех производственных процессов, пропуск достаточного количества воздуха через призабойное пространство при максимальном сопротивлении движению воздушной струи, минимальный вес, механизация установки и передвижки крепи (для механизированной крепи).

К экономическим – минимальная стоимость крепи, наименьшие трудовые затраты на ее возведение, удаление, переноску или передвижку, надежность и долговечность крепи.

Секция механизированной крепи – это ее элемент, сохраняющий свою целостность при передвижении и состоящий обычно из основания, гидравлических стоек (до 6 стоек в секции), связанных перекрытием у кровли пласта и гидродомкратов передвижки (одного или двух). Секция имеет оградительный элемент, защищающий рабочее пространство от проникновения в него обрушенной породы кровли. Операции, выполняемые линейными секциями, одинаковы почти для всех механизированных крепей: разгрузка

(снятие распора) гидростоек, передвижение секций, распор гидростоек, передвижение забойного конвейера, а также другие вспомогательные операции: отодвигание конвейера от забоя, выравнивание положения секции и др.

Гидростойки – основная опора элемента механизированной крепи, воспринимающая горное давление  $P$  и передающая его на почву пласта через основание секции (при отсутствии основания – через нижние опорные поверхности стоек). Гидростойки используются также для подъема верхнего перекрытия (распор стоек) и его опускания (разгрузка стойки).

### 3.2 Назначение и типы крепей

По назначению различают крепи: оградительные, поддерживающие, оградительно-поддерживающие, поддерживающие оградительные. Оградительные крепи имеют одну основную функцию – ограждение рабочего пространства лавы от проникновения в него обрушенных пород кровли. Эти крепи не имеют элементов для поддержания кровли ( $l_n = 0$ ). В СНГ применяется только один тип оградительной крепи – КТУ (на шахтах Кузбасса) при слоевой выемке мощных (6-15 м) пологих пластов (рисунок 3.1).

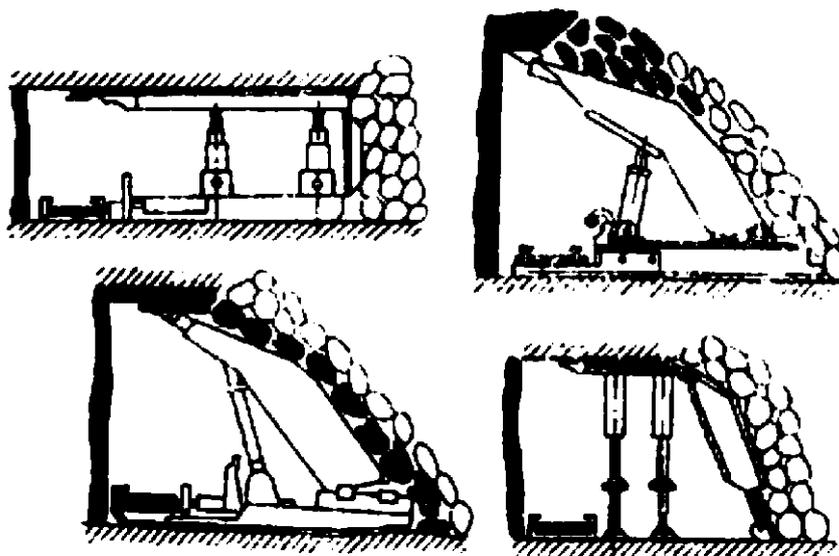


Рисунок 3.1 – Типы механизированных крепей: а - оградительные; б - поддерживающие; в - оградительно-поддерживающие; г - поддерживающие оградительные

Поддерживающие крепи выполняют две основные функции: управление горным давлением и поддержание кровли в рабочем пространстве лавы на пластах мощностью 0,7-2,5 с углом падения  $\alpha = 0-35^\circ, 35-90^\circ$  («Донбасс», МК-97, М-103, М-101Т, М-96, МКС, МКТ, КГД, МК97, АНЦ, АКД, «Днепр» и др.). Секция крепи имеет верхнее перекрытие ( $l_n$  значительно по величине) и оградительный элемент, выполненный в виде вертикально расположенного щитка ( $l_{o2}=0$ ). Оградительно-поддерживающие крепи выполняют три функции: управление горным давлением, поддержание кровли в рабочем пространстве и

ограждение его от проникновения обрушающихся пород кровли. Оградительный элемент преобладает над поддерживающим ( $l_{o2} > l_n$ ). Крепи этого типа (ОМКТМ, КМ-120, ОКП, МК-140, 142А, МКМ, ОКТ) применяются при разработке пологих и наклонных пластов мощностью 0,8-3,5 м (рисунок 3.2).

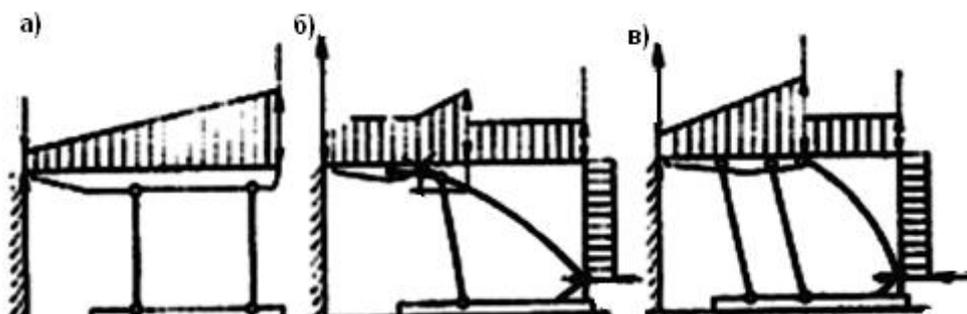


Рисунок 3.2 – Распределение нагрузки на секции механизированной крепи: а - поддерживающее положение секции; б - оградительно-поддерживающее положение; в - поддерживающе-оградительное положение

Поддерживающие оградительные крепи выполняют те же функции, что и оградительно-поддерживающие, но поддерживающий элемент у них преобладает над оградительным ( $l_n > l_{o2}$ ). Крепи этого типа (1МКМ, 2МКЭ, 3МК, КМ-81Э, МК-75, КМ-142, КМ-130) КМ-137А, КМ-138А применяются при разработке пологих и наклонных пластов мощностью 1,4-4,0 м как с легко обрушающимися, так и с устойчивыми породами кровли.

По характеру взаимодействия крепи с кровлей различают: крепи, теряющие контакт с кровлей при передвижке секций (применяются при устойчивой кровле); крепи, передвигаемые без потери контакта с кровлей (с некоторым остаточным подпором, необходимым при неустойчивой кровле); крепи с регулируемым сопротивлением, позволяющие управлять горным давлением и отжимом угля (эти крепи пока опытные).

По конструктивному исполнению механизированные крепи разделяют на два класса: комплектные и агрегатные.

Комплектная крепь – это совокупность двух или трех секций, соединенных между собой кинематическими связями и гидродомкратами передвижки.

Индивидуальной крепью очистных выработок называется крепь, отдельные элементы которой могут быть установлены или сняты независимо друг от друга в процессе работы.

Призабойную крепь устанавливают в призабойном пространстве вслед за выемкой угля. Призабойная крепь предназначена для предотвращения от обрушения пород непосредственной кровли.

Специальную (посадочную) крепь применяют для управления горным давлением.

Комплектными называют передвижные крепи, не имеющие связи отдельных секций друг с другом вдоль очистного забоя.

Передвижной называют крепь, в которой процесс установки, снятия отдельных элементов крепи происходит непрерывно или механически взаимосвязан.

**Механизированная крепь, назначение, принцип работы и классификация.** Механизированная передвижная крепь предназначена для крепления выработанного пространства в лавы, управления горным давлением и ограждения рабочего пространства очистного забоя от проникновения в него обрушенных пород кровли. Кроме того, механизированная крепь в большинстве случаев обеспечивает передвижение к забою конвейера вместе с самозарубающимся узкозахватным комбайном (рисунок 3.3)

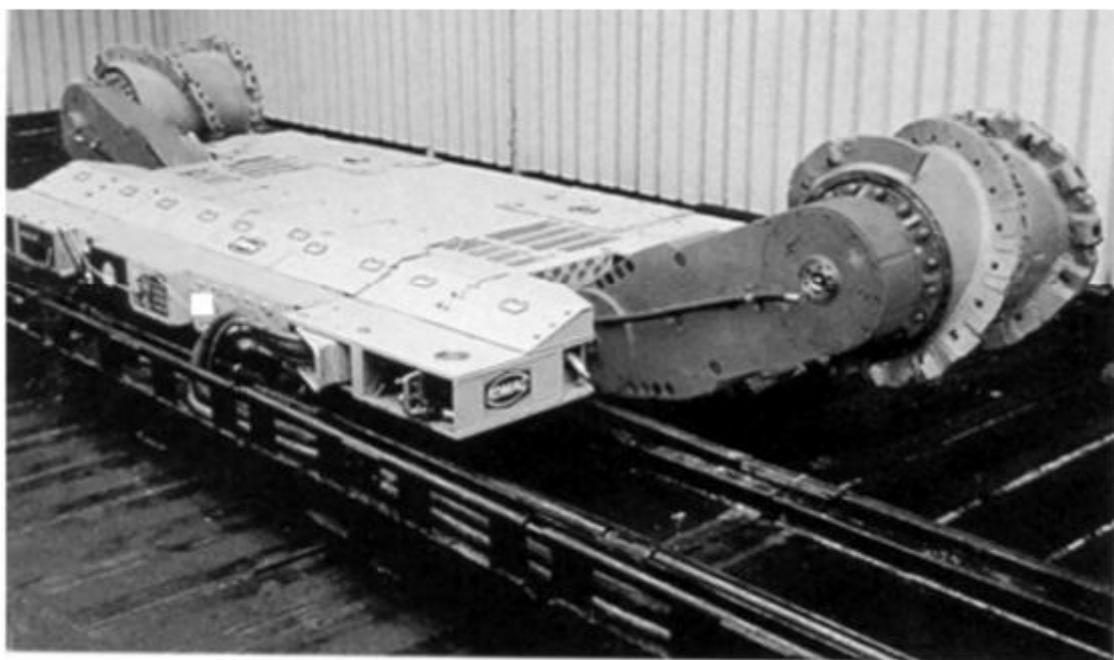


Рисунок 3.3 – Узкозахватный комбайн KSE-344 фирмы «KOMAG» (Германия)

Крепь состоит из крепежных секций (или комплектов), насосной станции, распределительной и контрольно-регулирующей гидроаппаратуры и гидрокоммуникаций. Секции крепи расположены по длине очистного забоя и передвигаются к забою по мере выемки угля в определенной последовательности.

Для приведения в действие механизированных крепей используется гидропривод, основными исполнительными органами которого являются силовые гидроцилиндры (гидростойки, гидродомкраты) (рисунок 3.4).

Комплекты не связаны друг с другом и с конвейером. К комплектам относятся крепи МК-97, М-81, М-130.

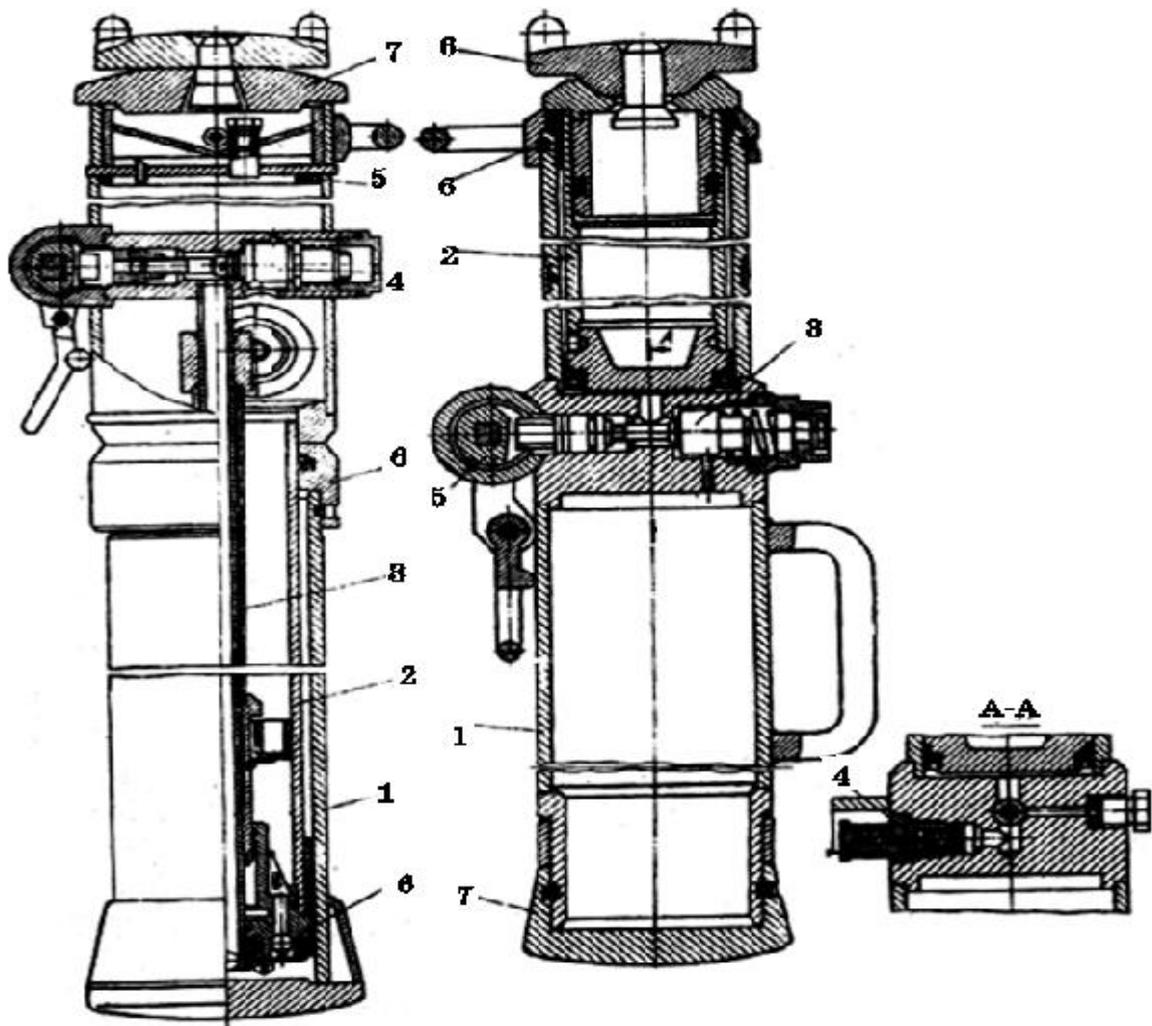


Рисунок 3.4 – Стойка ГСУМ: 1- гидроцилиндр; 2- внут рений цилиндр; 3- трубка для подачи жидкости; 4- гидрозамок; 5- уплотнительное кольцо; 6- поршень; 7- верхний упор

*Агрегатная крепь* – это механизированная крепь, секции которой имеют кинематические связи друг с другом по всей длине лавы. К ним относятся крепи «Донбасс», КМ-87Э, 1МКМ, 2МКЭ, ОКП и др. Работа этих крепей может быть автоматизирована.

**Гидросистемы и привод механизированных крепей.** Распределение потока рабочей жидкости (эмульсии) от насосных станций СН к напорной Н и сливной С магистралям, связанным с секциями крепи, осуществляется с центрального пульта управления (ЦПУ), расположенного в штреке.

К магистральным трубопроводам подключены реле контроля давления РКД, автоматически выключающие насосные станции при порыве трубопроводов и резком падении давления вследствие этого.

Жидкость из сливной магистрали поступает через пульт управления ПУ в блок фильтров БФ, где она очищается от примесей, а затем поступает в баки насосных станций.

Управление секциями крепи производится одним из следующих способов: ручное управление непосредственно с данной секции; ручное управление с

соседней секции; автоматическое управление группой секций, дистанционное автоматическое управление с центрального пульта, находящегося в штреке; программное и адаптивное управление (рисунок 3.5).

При последовательном передвижении секции гидрораспределитель устанавливают на каждой секции. Его назначением является распределение потока жидкости между силовыми элементами секции (гидростойки, гидродомкраты передвижения, вспомогательные гидроцилиндры) и далее подача жидкости в сливную магистраль, в зависимости от операций, которые выполняются секцией (распор и разгрузка гидростоек, передвижка секции крепи или конвейера и др.).

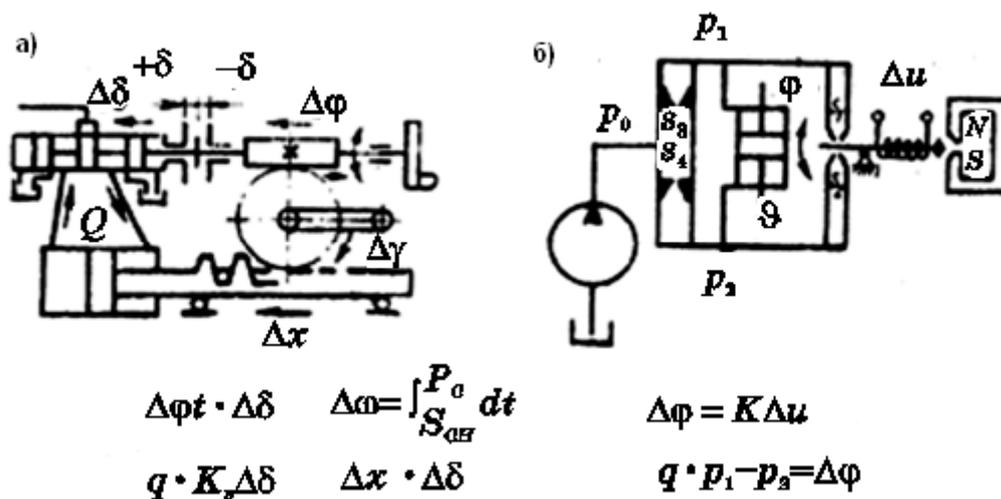


Рисунок 3.5 – Схемы гидроулителей мощности: а – следящий гидропривод с ручным управлением; б – гидроулититель «сопло-заслонка» с электромагнитным приводом

Для гидростойки  $\Delta l_y$  изменяется за счет гидравлической податливости, определяемой количеством рабочей жидкости, прошедшей через предохранительный клапан ПК из поршневой полости гидростойки. Для контроля величины давления в поршневой полости II гидростойки служит индикатор давления ИД, через датчик которого определяют состояние каждого из гидростоек крепей в лаве. Общее количество – до 300-500 гидростоек.

При резких осадках мощных слоев основной кровли, т.е. при динамическом приложении внешней нагрузки под горным давлением  $g_{q.n}$  со скоростью 150-250 и до 500 мм/с, в поршневых полостях стоек крепей происходит скачок давления открытия клапана до значения  $P_{max}$ . Как показывают исследования,  $P_{max}$  может достигать 440 МПа. При этом возможно возникновение остаточных деформаций стенок цилиндров, уплотнений и других элементов крепи. В конце цикла стойка опустится на  $\Delta l_{сум}$ , то есть на нефункциональное (аварийное) состояние крепи, переходящее в нерабочее.

Для разгрузки стойки рабочая жидкость под давлением подается по магистрали 1-2-3-4 в штоковую полость III гидростойки и по магистрали 2-2 в

разгрузочный клапан РК, или (ГЗ), открывая выход рабочей жидкости из поршневой полости II на слив по гидромагистрали 7-6-5-8, управляемой через гидрораспределитель.

Происходит принудительное опускание выдвижной части гидростойки под давлением рабочей жидкости, поступающей под давлением по магистрали 1-2-3-4 в штоковую полость III гидростойки.

Гидростойка может разгружаться полностью с потерей контакта перекрытия с кровлей или частично со снижением давления в поршневой полости до заданного предела (передвижка секции с активным подпором не менее 0,01 МПа по ГОСТу 18585-95), регулируемого специальным подпорным клапаном по специальной подпрограмме.

**Выбор механизированных крепей комплексов по горно-геологическим факторам.** Механизированная крепь, являясь одной из главных функциональных машин средств механизации выемки угля, одновременно в значительной мере влияет на выбор типа выемочной машины, а также забойного конвейера.

При выборе механизированной крепи следует в первую очередь оценивать её соответствие основным горно-геологическим и горнотехническим факторам (рисунок 3.6):

К (естественным) горно-геологическим факторам относятся:

- глубина разработки;
- мощность пласта;
- угол падения пласта;
- геологические нарушения;
- физико-механические свойства боковых пород;
- горное давление, в зависимости от устойчивости пород кровли.

К (искусственным) горнотехническим факторам относятся:

- схемы вскрытия;
- схемы отработки шахтного поля;
- порядок отработки выемочного поля;
- система разработки;
- схема проветривания.



Рисунок 3.6 – Механизированная щитовая крепь для мощных пластов  
G320-23/45

Физико-механические свойства горных пород и горное давление определяют паспорт крепления очистного забоя и способ управления кровлей. По шкале института им. А.А. Скочинского, кровли разделяют на 4 класса: 1 класс – неустойчивые породы. В непосредственной кровле залегают легкообрушаемые породы толщиной более 6-8-кратной мощности пласта. 2 класс – устойчивые породы. В непосредственной кровле залегают легкообрушаемые породы толщиной менее 6-8-кратной мощности и в основной кровле – труднообрушаемые породы. 3 класс – весьма устойчивые породы. В непосредственной – кровле залегают труднообрушаемые породы. 4 класс – весьма устойчивые породы, способные к плановому прогибу.

Механизированные комплексы могут использоваться при кровлях 1, 2, 3, 4 классов. При 3 классе применяются крепи с повышенным сопротивлением – КМ87П и ОКП/70 – и обычные с гидроразрывами или передовым торпедированием (рисунок 4.9).

**Режим работы гидросистем механизированных крепей.  
Диагностические состояния гидросистем механизированных крепей.**

Рассмотрим, как изменяется фактическое удельное сопротивление  $q$  (кН/м<sup>2</sup>) механизированной крепи по всей длине лавы с учетом горного давления ( $gq.n$ ).

Участок 1-2 – гидравлические стойки развили 100%-ное рабочее сопротивление, то есть в исправном состоянии 598 кН/м<sup>2</sup>, работают в режиме проседания при срабатывании предохранительного клапана, которое фиксируется датчиками положения, давления, расхода (см, время, МПа, л/мин.) (рисунок 4.10).

Участок 2-3 – образование новой, обнаженной поверхности кровли при выемке комбайном полосы угля, зависящей от ширины захвата ( $B$ ) и вынимаемой мощности ( $m$ ) пласта.

Участок 3-4 – разгрузка стоек секции крепи (уч. 4-5), их передвигка к забою и распор с начальным сопротивлением.

Участок 5-6 – после передвигки секции крепи оказывают сопротивление опусканию кровли.

Участок 6-7 – сопротивления в секциях по длине лавы возрастают за счет упругой податливости стоек до срабатывания предохранительных клапанов (точка 7). Наклон а участка 6-7 зависит от скорости опускания кровли  $J_{ok}$  (мм/ч), скорости подвигания очистного забоя  $J_{aO3}$  и величины упругой податливости стоек  $Dl$ , а также снятия контактных поверхностей крепи с боковыми породами.

Участок 7-8 – работы гидростоек секции крепи после их передвигки с номинальным рабочим сопротивлением; работа в режиме срабатывания предохранительного клапана, то есть в исправном состоянии.

Экспериментально установлено, что при работе выемочной машины в лаве возникает «волна» интенсивного опускания пород кровли, которая синхронно с

выемочной машиной перемещается по длине лавы. Вне зоны действия «волны» породы кровли успокаиваются и опускаются равномерно, с нормальной скоростью, обычно равной 3-5 мм/ч. Особо неблагоприятным моментом в работе механизированных крепей является разгрузка секции в зоне «волны» интенсивного опускания пород кровли с резким снижением величины рабочего сопротивления секции крепи. Это может вызвать нарушение целостности пород кровли в зонах резкого различия величин фактических рабочих сопротивлений секции крепи (уч. 3-4-5-6), что подтверждает работоспособное и функциональное состояние гидросистем механизированных крепей.

Для механизированных крепей поддерживающего типа суммарное рабочее сопротивление крепи опусканию кровли выражается как отношение:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_{Pi}}{F},$$

где  $\sum_{i=1}^{i=n} N_{Pi}$  - суммарное рабочее сопротивление всех гидростоек секции крепи, Кн;

F - площадь при забойного пространства в лаве, м<sup>2</sup>.

$$\text{При этом } \sum_{i=1}^{i=n} N_{Pi} = P_{д} \cdot F_{ц} \cdot n_i,$$

где  $P_{д}$  - рабочее давление в гидростойке крепи при срабатывании предохранительного клапана, МПа;

$F_{ц}$  - суммарная площадь сечения цилиндра гидростоек одной секции крепи, м<sup>2</sup>;

n - число секции крепи в лаве.

Отношение суммарного фактического рабочего сопротивления  $\sum N_{p.ф.}$  секции крепи по длине лавы к величине допустимого рабочего сопротивления  $\sum N_{д}$  секции крепи характеризует коэффициент полезного использования крепи:

$$\eta = \frac{\sum N_{p.ф.}}{\sum N_{д}}.$$

В существующих крепях  $h = 0,55-0,7$ , достигая в лучших случаях значения  $h = 0,9$ .

**Специфические особенности условий и режимов работы гидросхем очистных механизированных комплексов, агрегатов:**

- случайный и неожиданный характер проявления внешних нагрузок, существенно отличающихся по величине от среднестатистических величин;
- большая протяженность гидравлических коммуникаций, объединяющих большое число единичных элементов комплекса или агрегата;
- осуществление большинства рабочих функций практически при непрерывном перемещении от секций и в целом комплекса;

- высокая динамичность по амплитудным значениям рабочих характеристик параметров давлений как в гидросистемах гидравлических стоек и домкратов, так и в гидравлических рукавах;

- электрооборудование и аппаратура управления находятся под высоким токоприемником в движении.

### Классификация механизированных крепей по критериям.

Механизированные крепи целесообразно классифицировать по основным функциональным, структурным и технологическим критериям (рисунок 3.7).

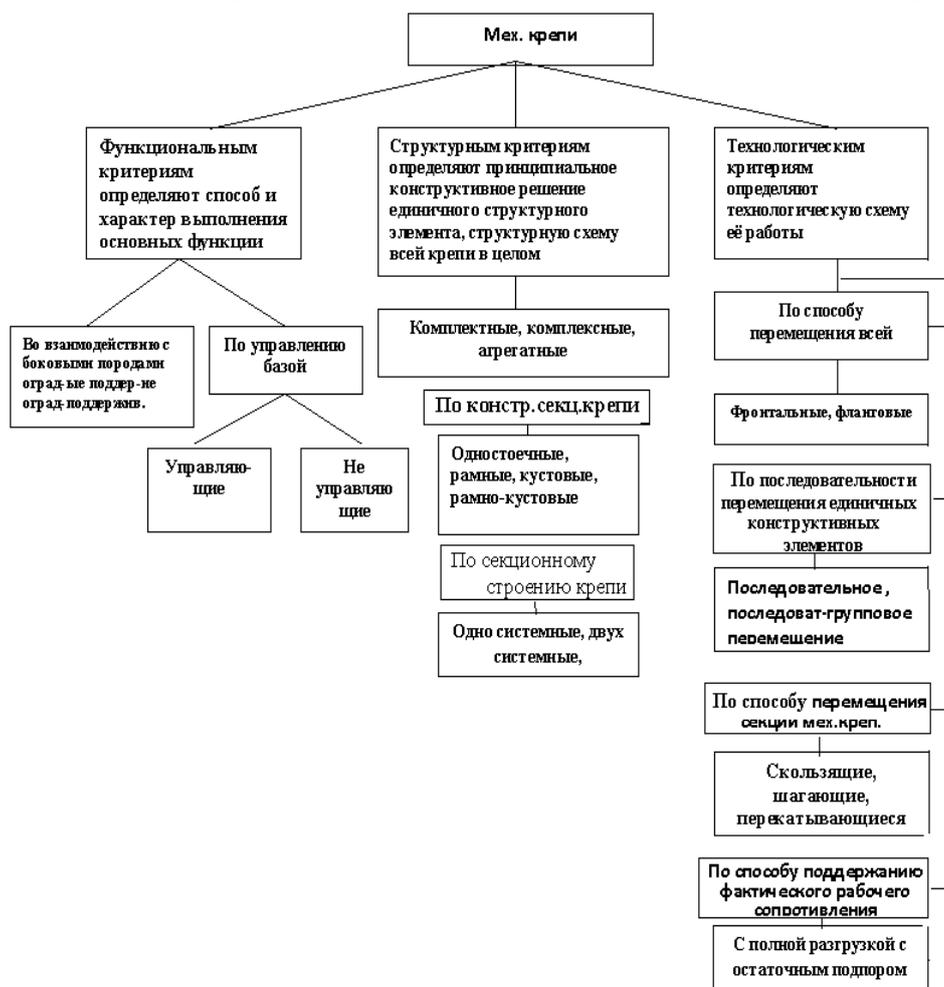


Рисунок 3.7 – Классификация механизированных крепей по критериям

1. Функциональность определяют по способу и характеру выполнения основных функций.

2. Структурность показывают по принципиальному конструктивному решению единичного структурного элемента, структурной схеме всей крепи в целом.

3. Технологичность решают по технологической схеме работы.

По основным функциональным критериям все механизированные крепи делят:

- по взаимодействию с боковыми породами: огражденные, поддерживающие, огражденно-поддерживающие;

- по управлению базой комплекса: управляющие и неуправляющие.

По основным *структурным* критериям крепи следует классифицировать:

- по структурной схеме крепи в целом: комплектные, комплексные, агрегатные;

- по конструктивному выполнению секций крепи: одностоечные, рамные, кустовые, рамно-кустовые;

- по секционному строению крепи комплекса (агрегата): односистемные, двусистемные, спаренные.

По *технологическим* критериям крепи классифицируются следующим образом:

- по способу перемещения всей крепи комплекса: фронтальные (перемещение непрерывное или цикличное), фланговые (волновое перемещение с фланга);

- по последовательности перемещения единичных конструктивных элементов: последовательное перемещение, последовательно-групповое перемещение односистемных и двусистемных крепей; односистемные крепи имеют один конструктивный тип линейных секций; двусистемные имеют забойные и посадочные линейные секции; спаренные – две секции, связанные элементом перемещения (домкратом);

- по поддержанию фактического рабочего сопротивления: с полной разгрузкой, с остаточным подпором, с постоянным сопротивлением;

- по способу перемещения: скользящие, шагающие, перекатывающиеся.

### **3.3 Современные механизированные крепи**

1. Крепь ИМК97Д – поддерживающего типа, комплектная, состоит из отдельных, не связанных между собой и с забойным конвейером линейных комплектов, двух гидромагистралей и двух насосных станций.

Линейный комплект крепи включает в себя опережающую и отстающую секции, соединенные между собой в верхней части гидродомкратом передвижки. Каждая секция комплекта состоит из двух одинаковых гидравлических стоек, перекрытия, ограждения и гидрооборудования. Опережающие и отстающие секции чередуются между собой; конструктивное различие их заключается в исполнении перекрытия (у опережающей секции – передняя рессорная консоль, а у отстающей – поджимной жесткий верхняк и расстояние между стойками).

Гидростойки выполнены с двойной гидравлической подвижностью, относятся к гидростойкам двойного действия. Управление передвижением секции комплекта крепи производится с блока управления, расположенного на соседнем, распертом между почвой и кровлей вышестоящем комплекте. Аналогичные крепи – МК98, «Донбасс».

2. Крепь М87Э – поддерживающего типа, агрегатированная, состоит из однотипных двустоечных линейных секций. В исходном положении секции имеют резервируемый ход гидродомкратов передвижения, обеспечивающих кинематическую связь крепи с составом конвейера.

Линейная секция крепи М87Э состоит из двух гидровинтовых стоек одинакового рабочего сопротивления, соединенных между собой по кровле общим жестким перекрытием со съемными боковыми щитками, а по почве – литым основанием. Для поддержания кровли в призабойном пространстве перекрытие имеет упругую консоль с рессорами. Линейные секции устанавливаются между направляющими балками, имеющими контакт с секциями через рессоры и обеспечивающими направленное передвижение секции. Управление линейной секцией осуществляется с блока управления, расположенного на передней стойке соседней секции.

Аналогичные крепи – М-8П, ИМКС, М87ДН, ИМ88, МТ, RHS20/40ВЛ, двустоечная щитовая крепь 50/150, G300-5/15, 4/400 и др. (рисунок 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13) и крепекладчик КПУ1М (рисунок 3.14).

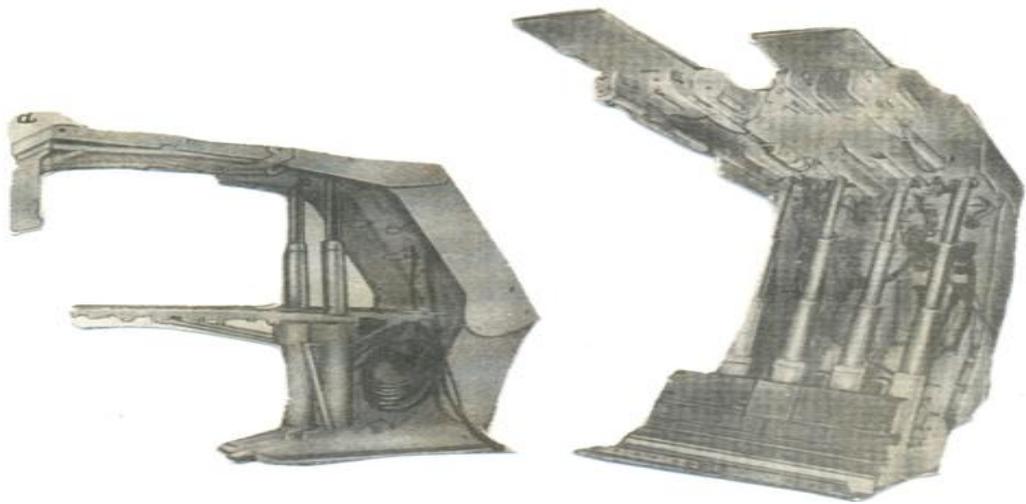


Рисунок 3.8 – Волна интенсивного опускания пород кровли со скоростью  $v$

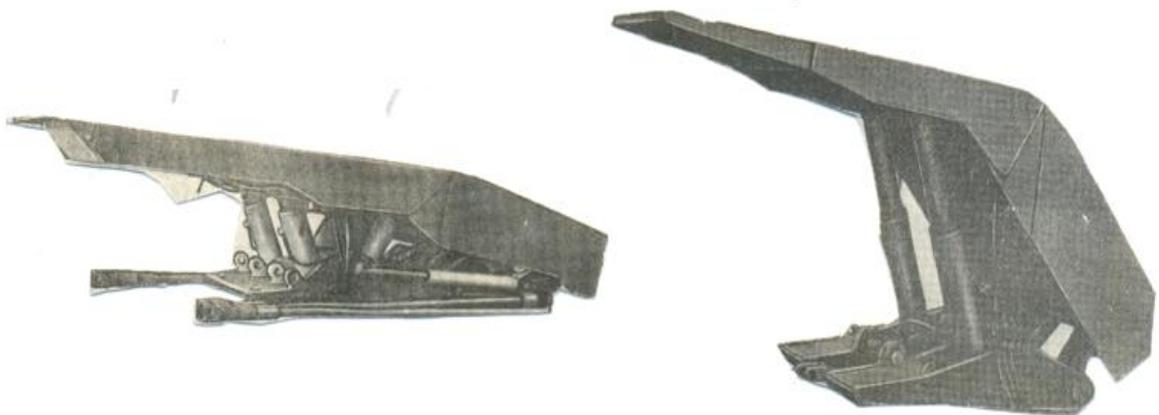


Рисунок 3.9 – Двустоечная щитовая крепь RHS20/40ВЛ для мощных пластов

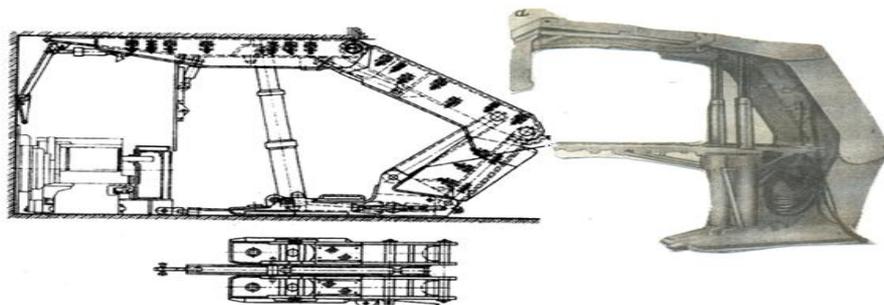


Рисунок 3.10 – Двухстоечная щитовая крепь 50/150 для тонких пластов (0,5-1,5м) с проходом для людей (400\*600 мм в сложенном положении)

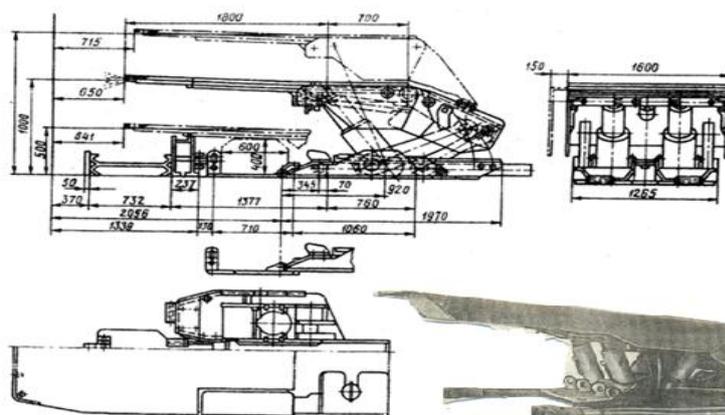


Рисунок 3.11 – Двухстоечная щитовая крепь 52,385/2,82-4,5 с основанием, располагаемым под конвейером (после передвижки)

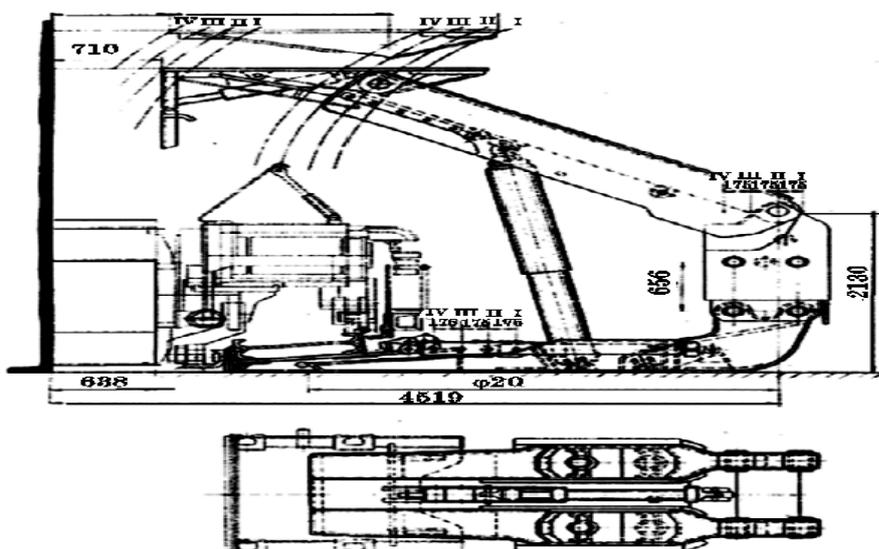


Рисунок 3.12 – Механизированная двухстоечная щитовая крепь G300-5/15 для тонких пластов с диапазоном раздвижности 0,5-1,5 м

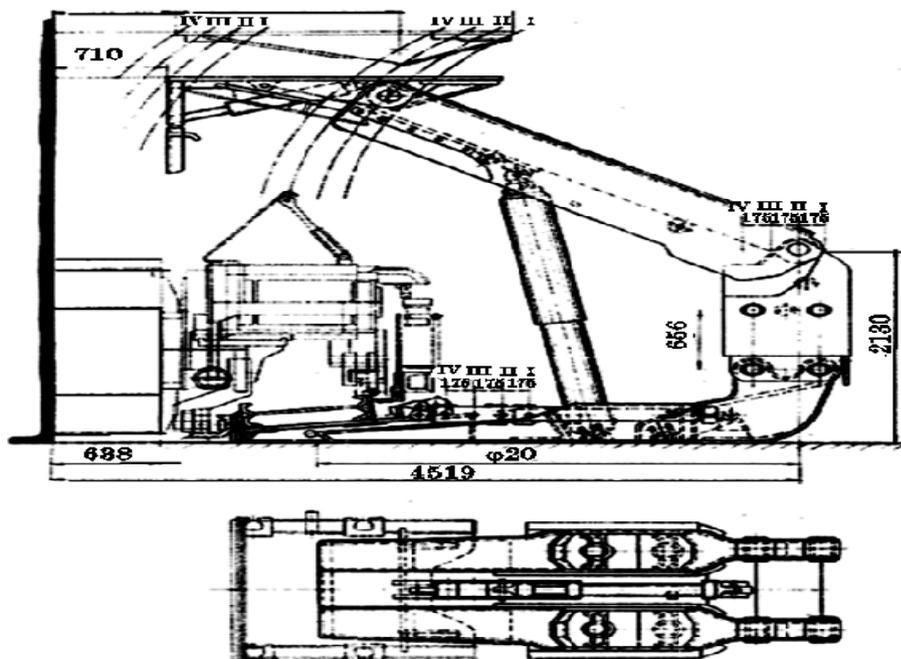


Рисунок 3.13 – Механизированная двухстоечная щитовая крепь G300 -5 /15 для тонких пластов с диапазоном раздвижности 0,5-1,2 м.



Рисунок 3.14 – Четырехстоечная крепь 4/400 для мощных пластов с выпуском подкровальной толщи на второй лавный конвейер: а – общий вид; б – схема работы в лаве

3. Крепь ІМКМ – оградительно-поддерживающая, агрегатированная, состоит из отдельных линейных секций, которые через гидродомкраты передвижения связаны с рамой конвейера. Линейная секция крепи состоит из основания; двух гидростоек двустороннего действия одинарной раздвижности; перекрытия с гидроподвижным козырьком и боковым выдвигаемым бортом, перекрывающим зазор между секциями; оградительного щита с выдвигаемым боковым бортом; забойного и завального траверсов шарнирного четырехзвенника, соединяющего подвижное основание с оградительным щитком, а через него – основание с перекрытием; гидродомкрата передвижения;

внутренних гидрокommunikаций и гидрораспределителя. Аналогичные крепи – 2МКЭ, МК-75, ТЗК, 20КП70.

4. Крепь М130 – поддерживающего типа, агрегатированная, состоит из линейных двустоечных секций с перекрытиями, образующими сплошное перекрытие по кровле; концевых секций с удаленными козырьками; средствами для защиты верхнего борта лавы и устройством для удержания конвейера от сползания.

Линейная секция крепи состоит из перекрытия с гидродвижным козырьком, гидропатрона, гидроуправляемого щита против отжима угля, двух гидростоек двустороннего действия с прямоугольными плитами для опоры на почву, гидродомкрата передвижения секции и оградительного щитка. Концевые секции отличаются от линейных секций более длинным козырьком, расположенным на большем расстоянии от забоя (для размещения приводных головок конвейера).

Секции крепи, кроме шпунтовых связей в перекрытиях, связаны между собой попарно в комплекты с помощью гидродомкратов, расположенных на цилиндрах гидростоек. Аналогичная крепь – 2М81Э.

5. Крепь ИГУ – поддерживающего типа, агрегатированная, состоит из однотипных линейных и концевых секций. Все секции связаны по падению пласта гидравлическими штангами и попарногидравлическими домкратами передвижения, расположенными диагонально между основаниями секции. Каждая секция со стороны выработанного пространства и забоя снабжена ограждениями. Схема комплекса для проведения тоннелей методом проталкивания крепи представлена на рисунок 3.15.

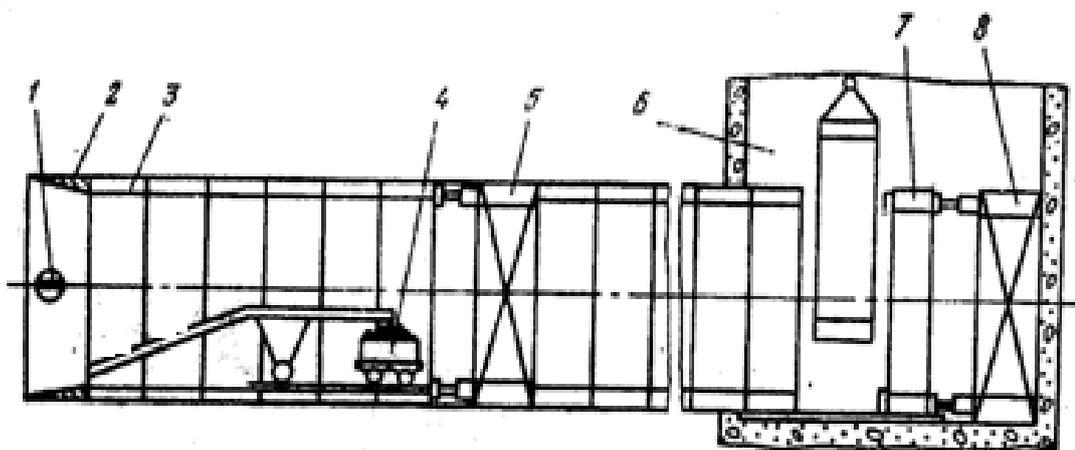


Рисунок 3.15 – Схема комплекса для проведения тоннелей методом проталкивания крепи

Специфические особенности условий и режимов работы крепи:

- случайный и неожиданный характер проявления внешних нагрузок, существенно отличающихся по величине от среднестатических величин;
- большая протяженность гидравлических коммуникаций, объединяющих большое число единичных элементов комплекса или агрегата;

- осуществление большинства рабочих функции практически при непрерывном перемещении оборудования, механизмов и т.д.;
- высокая динамичность по амплитудным значениям рабочих давлений как в гидросистемах гидравлических стоек и домкратов, так и в гидравлических рукавах.

### **3.4 Средства управления механизированными крепями очистных работ с использованием микропроцессорной техники**

Крепь основной части лавы 2ОКП70 предназначена для поддержания кровли в призабойном пространстве, защиты рабочей зоны от обрушения кровли и управления кровлей основной части лавы (рисунок 3.16).

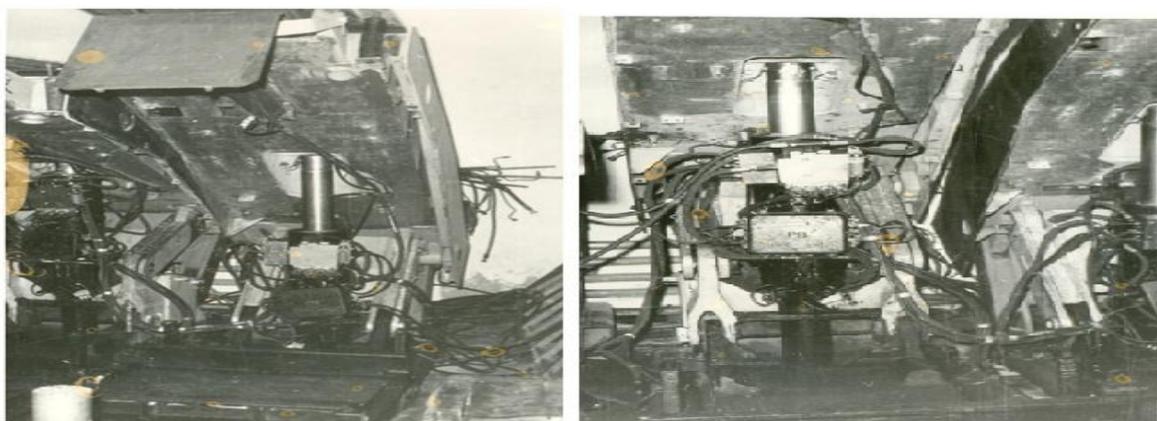


Рисунок 3.16 – Общий вид секций крепи

Исследования показали, что длительность операции по передвижке секций крепи в рассмотренных комплексах составляет от 30 до 40 % времени цикла передвижки крепи. С учетом другой, наиболее затратной по времени операции по групповому перемещению секций конвейера суммарные затраты времени, связанные с работой механизма передвижки, составляют 50 – 60% всего времени перемещения комплекса. Таким образом, существенно сократить время на передвижку всего комплекса можно путем увеличения скорости перемещения цилиндра и штока гидродомкрата передвижки крепи.

Такой эффект может быть достигнут за счет замены насосной станции с производительностью 90 л/мин. на насосную станцию 120 л/мин. или за счет применения насосно-аккумуляторного привода передвижки.

Сравнение этих двух способов модернизация привода передвижки механизированного комплекса выполнено путем моделирования в среде программы «ADAMS-2003». При этом использовались две модели объекта: «крепь – привод передвижки» и «группа секций конвейера – привод передвижки» [78]. Особенность работы привода передвижки механизированного комплекса состоит в том, что в каждой секции крепи последовательно выполняется полный цикл ее передвижки (подтягивания), а передвижка

конвейера осуществляется групповым способом – по 7-10 секций в каждой группе.

Первый этап передвижки группы секций (на этом этапе участвуют семь крайних секций конвейера) осуществляется при одновременном включении семи гидродомкратов. Конвейерная линия, передвигаясь, искривляется, причем секция 1 полностью передвигается на новую дорогу, секция 8 остается неподвижной, а все остальные занимают промежуточные положения.

По окончании первого этапа начинается второй этап передвижки, при этом к источникам питания подключаются гидродомкраты всех остальных секций, кроме пятнадцатой, которая остается неподвижной. Происходит перемещение секций 2-14, при этом частично передвинутые на первом этапе секции 2-7 подвигаются, секция 8 перемещается до упора, а остальные выдвигаются частично. В дальнейшем циклы передвижки секций *конвейера повторяются до полного перемещения конвейерной линии на новую дорогу.*

Управление крепью должно осуществляться по управляющим сигналам, вырабатываемым микроЭВМ. МикроЭВМ должна выдавать управляющие сигналы на группу секций. Управление секциями крепи в группе должно осуществляться микропроцессором. Микропроцессоры, управляющие группами секций крепи, устанавливаются в искровзрывобезопасные корпуса, размещаемые на базовой секции.

Подсистема управления крепью должна позволять устанавливать необходимый режим работы (выбор секции, передвижка, контроль над передвижкой секций и конвейера, контроль за предварительным распором стоек секций); повторять команду на передвижку секции, не выполнившей за заданное время цикл автоматической передвижки; устанавливать и при необходимости корректировать расстояние между секциями и выемочным манипулятором.

Система передачи и приема информации должна обеспечивать передачу управляющих сигналов и микропроцессорной системы управления крепью. Эта же система должна обеспечивать передачу информации о результатах управления на центральное управляющее устройство. Система передачи и приема информации должна иметь минимальное число жил, связывающих между собой локальные системы управления и центральное управляющее устройство.

Устройство для удержания верхней пачки угля в крепях должно быть оснащено двумя гидродомкратами и шарнирными управляемыми козырьками, которые для крепи основной части лавы одновременно могут выполнять функцию по поддержанию обнаженной кровли вслед за проходом манипулятора.

Концевые секции крепи должны иметь обратные консоли для подвески и предохранения закладочного трубопровода с несущей способностью не менее  $25\text{кН/м}^2$  или содержать на ограждении боковые выпускные патрубки и управляемые козырьки с вырезами, служащие для создания и заполнения искусственных пустот в выработанном пространстве за крепью (рисунок 2.19). Кроме того, концевые секции должны снабжаться трамбовочным устройством для уплотнения закладываемой породной массы. Конструкция реверсивного штрекового конвейера на базе серийного конвейера СП87П должна обеспечивать

надежную его работу при двухсторонней схеме его включения с транспортировкой как угля, так и породы. Для разбивки негабаритов на конвейере предусматривается применение дробилок серийного производства.

Закладочное устройство осуществляет транспортировку, дробление и пневматическую закладку породы в выработанное пространство лавы за секциями крепи М130 и включает в себя приемный бункер, дробильную закладочную машину, шнековое транспортирующее закладочное устройство, воздухоудувку и шнековый и закладочный трубопровод.

Информация о состоянии секции крепи от датчиков переднего, заднего положений, предварительного распора через устройства выборки и хранения информации должна поступать на микропроцессорное устройство управления, которое в виде команд управления через **блок обработки информации и распределитель сигналов** управления крепью должно управлять электрогидравлическим клапаном управления (ЭКУ) секций крепи.

Техническая характеристика средств управления в таблице 3.1.

Система управления для автоматизации механизированных крепей применяется выпускаемыми ПО «Каргормаш» 2ОКП70К, КМ130, УКП.

В таблице 3.2 представлены основные устройства и аппаратура управления.

По сравнению с существующими зарубежными средствами управления механизированными крепями данная система имеет следующие показатели: энергопотребление, помехозащищенность и точность хода (до  $\pm 10$ ), габариты, адаптация к изменению условий работы, перепрограммируемость, возможность автоматического управления секциями механизированной крепи.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика механизированной крепи 2ОКП70К

Показатели	Данные
Тип системы управления	ручное дистанционное с соседней секции
Соппротивление секции, кН номинальное	1190
высота секции, мм: минимальная	1750 $\pm$ 60
максимальная	4050 $\pm$ 120
Шаг установки секций крепи, м номинальный	1,1
Шаг передвижки, м, не более	0,63
Коэффициент гидравлической раздвижности, расчетный	2,31
Максимальное давление в напорной магистрали, МПа, не более	32
Давление срабатывания предохранительного клапана гидростойки при номинальной сопротивляемости секции, МПа	40
Рабочая жидкость	Водная эмульсия «Витал ТУ 38 РФ- 2-01-236-08» (2 или другая, разрешенная к применению в установленном порядке)
Габаритные единицы самой крупной	

сборочной единицы, мм, перекрытие при ширине 1160	4160x1395
Коэффициент применяемости, %	60

Таблица 3.2 – Основные устройства и аппаратура управления

Наименование	Показатель
Механизированные крепи 2ОКП70К	2 секции
Механизированные крепи МК75	2 секции
Микропроцессорные управление автоматического управления секциями (линейный контроллер)	1 комплект
Источник питания	±5, +12,+36
Датчик положения ДПМГ-2-40	12 штук
Датчик положения, встроенный в гидроцилиндр	1 штука
Станция насосная СНУ-5	1 штука
Пускатель ПВИ125Б	1 штука

### 3.5 Гидравлическая система секции крепи 2ОКП70К

Гидравлическая система секции крепи должна позволять осуществление на запрограммированном расстоянии по сигналам датчиков или командам оператора автоматическое управление с электроблоков, расположенных на секциях крепи (рисунок 3.7).

Разгрузка стоек, подача рабочей жидкости в гидродомкрат передвижки секции осуществляется блоком устройств управления секцией крепи. С пульта управления оператора устанавливает режим управления (автоматический; местный, ручной, ремонтный).

Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность её с процессом выемки обеспечивается применением серийно выпускаемых электрогидроклапанов, датчиков положения, аналоговой информации контроля секций крепи, устройств диагностики.

Гидравлическая схема секций крепи реализуется серийно выпускаемой электрогидроаппаратурой.

На основании аналитического исследования разработаны конструкции, позволяющие совместить ручное и автоматическое управление.

Схема гидравлическая принципиальная содержит ручное и автоматическое управление секцией крепи (2ОКП70К).

В составе схемы распределитель (А), блок замков (БЗ), гидроблок (ГБ177.ГБ5, ГБ6), индикатор давления (ИД), краны (КН1...КН5),отсекатели (01...08), датчик давления Д26 (Д1...Д13), электрогидроклапан РМ1 (КЭ1..КЭ6), подпорный клапан (ПК), блок гидроуправляемых золотников РУ16-12Б, датчик положения (ДП1...ДП5), трехпозиционный реверсивный золотник 64Г12-32 (Р1...Р9), двухпозиционный реверсивный золотник 54Г72-32 (ПЗ), гидроцилиндры (Ц1... Ц5,Ц7...Ц11), гидростойка (Ц6).

При ручном управлении крепь работает с отключенной автоматикой. Включенным остается только электрогидроклапан КЭ1 в положении «открытый», который соединяет магистраль «напор» с распределителем А.

В автоматическом режиме электромагнитный клапан КЭ1 переключается в положение «закрыто». В этом положении гидромагистраль «напор» отсекается от распределителя А. Затем переводят электрогидроклапан КЭ2 в положение «открыто», и с магистрали «напор» рабочая жидкость подается на блок гидроуправляемых золотников РУ16-12Б. Гидравлическая система подготовлена для работы в автоматическом режиме.

Гидравлические потоки переключаются блоком РУ16-12Б, коммутация которого осуществляется электрогидроклапанами РМ-1 на управляющие гидроцилиндры крепи.

Штоки гидростоек и гидроцилиндров имеют вдоль центральной оси канал круглого сечения, глухой с одной стороны и открытый – с другой, а также цилиндрическую выточку в штоке с пазом под пружинную шайбу. В канал помещен датчик, фиксирующий линейное положение штока при его выдвижении или сборке. Конец датчика положения, помещенного в шток, свободен, а противоположный конец наглухо заделан в торец гидроцилиндра (стойки). Лишь для вывода сигнальных проводов с датчика просверлен канал, не нарушающий герметичности гидроцилиндра (гидростойки). В цилиндрическую выточку помещен кольцевой магнит, воздействующий своим постоянным магнитным полем на герконы, находящиеся внутри датчика положения. Так как шток стальной, то с целью исключения рассеяния магнитного поля в штоке магнит вставлен во втулку из диамагнитного или ферромагнитного материала. При этом позволяет в случае диамагнитной втулки частично изолировать магнитное поле от стали штока, а в случае ферромагнитной втулки сконцентрировать поле в магнитопроводе втулки в силу разной магнитной проницаемости стали и феррита. Со стороны открытой части канала магнит запирается диамагнитной и ферромагнитной шайбой пружинной шайбой, помещенной в выточенный паз, что исключает выпадение магнита при работе гидроцилиндра в рисунке 3.17.

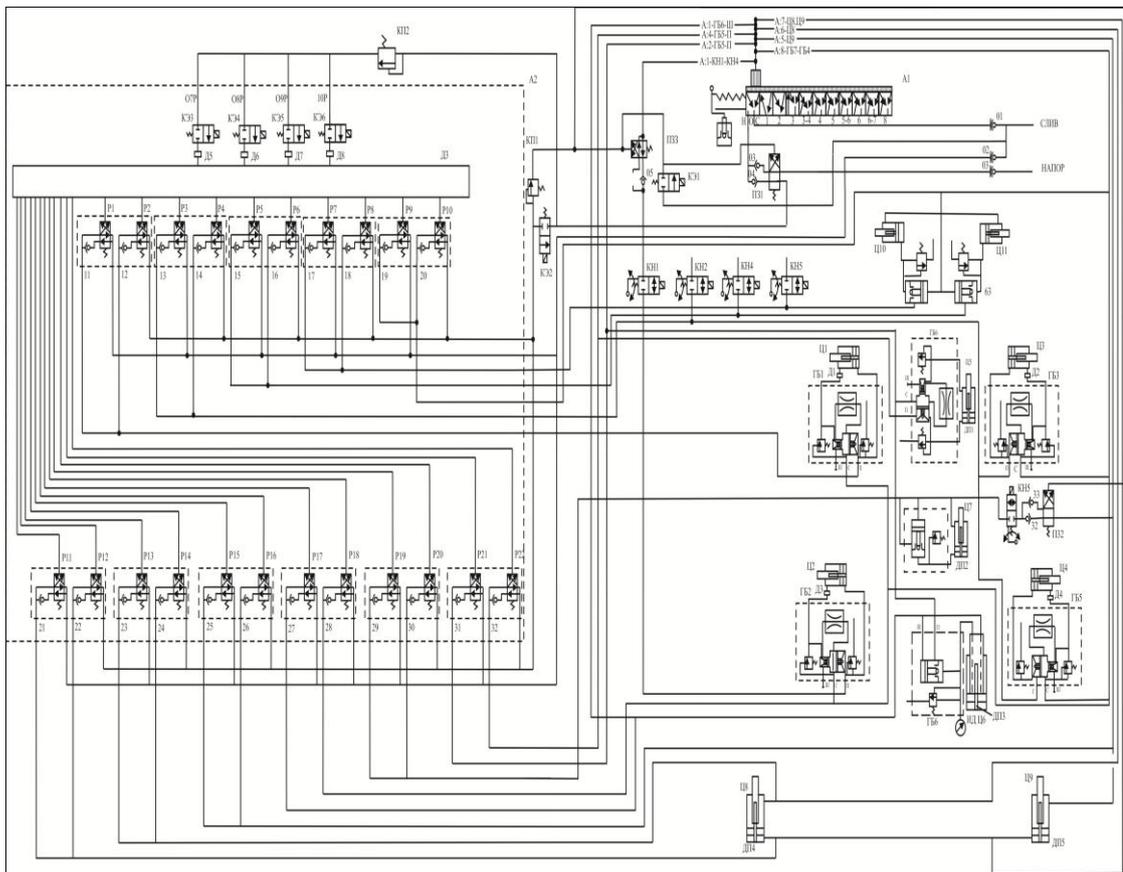


Рисунок 3.17 – Гидравлическая схема секции крепи

### 3.6 Рабочая характеристика податливости гидростойки

Гидравлическая рабочая характеристика гидростойки – это характер изменения ее сопротивления опусканию породы кровли в зависимости от ее податливости.

*Начальное сопротивление  $N_{Н.Р.}$*  – сопротивление стойки опусканию породы кровли в момент начала проседания выдвигной части относительно корпуса стойки (начальное давление насосной станции).

*Номинальное рабочее сопротивление  $N_{Р.С.}$*  – среднее значение максимально допустимого сопротивления стойки опусканию пород с кровли.

Механические характеристики гидростоек механизированных крепей даны на рисунок 3.18.

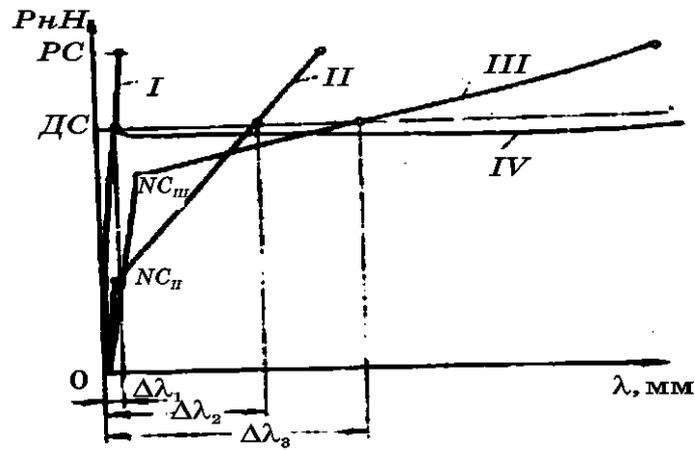


Рисунок 3.18 – Механические характеристики податливой стойки: I – с жесткой характеристикой; II – с крутонарастающим сопротивлением; III – с пологонарастающим сопротивлением; IV – постоянного сопротивления

Упругая податливость  $Dl_y$  – уменьшение длины гидравлической стойки за счет упругого сжатия жидкости и деформации стенок цилиндра и выдвигной части.

$$\Delta l_y = \Delta \rho h [db / (E_1 \cdot \delta) + 1/E_2]$$

Начальный распор – это сопротивление стойки в момент ее установки в рабочее положение.

Принцип работы гидростоек одинаков для всех гидрофицированных крепей и заключается в следующем: в поршневую полость стойки под давлением подается жидкость (рисунок 3.19)

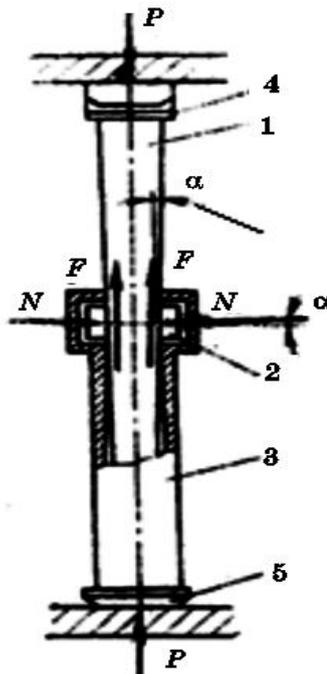


Рисунок 3.19 – Схема работы стойки трения: 1– стойка; 2 – клиновая ставка; 3– цилиндр; 4– головка упорная; 5 – основание

При этом выдвижная часть стойки, перемещаясь, упирается в кровлю. Давление жидкости в поршневой полости возрастает до величины, равной рабочему давлению насосной станции. После этого подача жидкости в поршневую полость стойки прекращается.

Давление здесь достигает начального или предварительного распора, которое не превышает 20,0 МПа и равно примерно половине величины, при которой срабатывает предохранительный клапан стойки (обычно 30,0-50,0 МПа). Дальнейшее возрастание давления в стойке в результате опускания пород кровли происходит до величины, на которую настроен предохранительный клапан стойки. В этот период гидростойка работает в режиме нарастающего сопротивления. Когда давление в поршневой полости достигает предельной величины, стойка переходит в заданный режим постоянного сопротивления, т.е. рабочий режим, отклонения от которого могут быть вызваны лишь кратковременным повышением скорости опускания кровли, а также перепадами давлений открытия и закрытия предохранительного клапана.

### **3.7 Проектирование источников по личной информации**

Датчики для проектирования роботов можно разделить на два вида: датчики внешней информации и датчики внутренней информации. Первые предназначены для контроля за состоянием объектов, с которыми работает робот, вторые - для функционирования самих роботов. Датчики внутренней информации устанавливаются в приводах исполнительных механизмов.

Учитывая погрешность датчиков внутренней информации, внешние помехи, пределы точности механизмов, на механизмов, манипулирующих с объектом, желетально иметь датчики, предназначенные для определения расстояния до объекта или сигнализирующие о прикосновении с ним. Такие датчики, помимо высокой надежности, точности, большого ресурса, должны обладать также:

- малыми габаритами, т.к. они не должны повреждаться в процессе работы при установке на исполнительном механизме манипулятора;
- малым весом, т.к. установка датчиков оказывает влияние на динамические приводы манипулятора;
- большой жесткостью, что необходимо для определения положений с высокой точностью.

Известные в настоящее время датчики во многих случаях невозможно приспособить к сложные горно-геологическим условиям и трудным условиям эксплуатации в подземных выработках. Кроме того, благодаря продвинувшейся в последнее время разработке система с искусственным интеллектом, так называемых систем-экспертов, имеется возможность наделять эти датчики функциями обработки информации, чтобы использовать их выходные сигналы непосредственно для управления манипуляторами. В качестве примера можно

назвать многофункциональный датчик распознавания границы раздела между углем и породой, который разрабатывается для полной автоматизации работы шнекового комбайна.

Датчики третьего поколения будут необходимы на многих участках шахты, так как простых средств образования пороговых или определения максимальных значений недостаточно: они не учитывают гораздо более полной информации, содержащейся во временных характеристиках измеряемых величин. Предстоит разработка оптических и акустических систем датчиков, в частности, для электроприводов с искробезопасным питанием и контроля пространственного положения машин и установок, а также для определения проходного сечения подземных выработок. Сюда же относятся датчики диагностики машин.

Основные функции датчиков, применяемых для выемочных работ комплексов:

- комбайн-манипулятор: стабилизация нагрузки, скорости движения, движение в заданном направлении относительно вмещающих пород. Информация для управления: нагрузка для привода, скорость перемещения комбайна, положение границы "уголь-порода". Применяемые датчики и устройства: датчик типа электродвигателя, датчик скорости движения комбайна, датчик контроля границы уголь-порода";

- крепь – основные функции: защита от превышения усилий положения секционном крепи. Информация для управления: давление в гидросистеме, перемещение элементов секции крепи. Применяемые датчики и устройства: датчик давления, предохранительный клапан, датчик положения;

- конвейер- основные функции: защита от перегрузок привода конвейера. Информация для управления: нагрузка привода. Применяемый датчик тока электродвигателя.

Метрологические требования датчикам определяются технологией процессов и вопросами безопасности обслуживающего персонала. Основными метрологическими характеристиками датчиков является: точность измерения контролируемого параметра, чувствительность и быстродействие.

При контроле безопасных условий работы (концентрация газов, ведущих к взрыву или в воспламенению) аварии не должны допускаться, поэтому предельные значения должны быть с достаточным запасом.

Электрические цепи датчиков, применяемых для автоматизации в угольной промышленности, представляют собой потенциальный источник зажигания взрывоопасной атмосферы в подземных выработках, поэтому применять необходимо только датчики в искробезопасном и взрывонепроницаемом исполнении (таблица 3.3).

Для шахт применяют датчики контроля положения подвижных объектов, обладающих ферромагнитными свойствами или имеющими магнит.

Основные требования ГСП к датчикам по выходным сигналам должны соответствовать ГОСТ 10938-73, амплитуда сигнала по току выбирается из значений 1, 5, 20, 50, 100, 250, 500А., по напряжению для схем шахтной автоматики-6, 12, 24, 60 (120), 220В.

Наиболее приемлемыми для выемочного комплекса РТК являются магнитогерконовые датчики, контролирующие положение объектов управления манипулятора. Это - устройства, в которых управление состоянием геркону осуществляется изменением магнитного поля постоянного магнита, связанного с перемещением контролируемого объекта.

Для определения местонахождения комбайна и для контроля конечных положений манипулятора и агрегатов применением датчики положения унифицированного ряда. Датчики конечных положений секций крепи на шаге передвижки выполнены в виде совмещенных конструкций- навесные датчики типов ДП-6, ДП-7.

Датчик ДП-6 предназначен для контроля одного из крайних положений секций крепи и состоит из пластмассового корпуса, основного и подстроечного постоянных магнитов и геркона с концентраторами. При подходе к датчику гидроцилиндров секции крепи магнитный поток основного магнита шунтируется цилиндром, разность между напряженностью полей основного и подстроечного магнитов уменьшается и при достижении величины напряженности поля отпускания геркона последний срабатывает. Зона срабатывания и отпускания геркона отсчитывается от переднего торца датчика.

Таблица 3.3 – Характеристика окружающей среды для применения датчиков в выемочном комплексе при установке их в аппаратуру управления

Показатели	Данные
Температура, °С: средняя максимальная	15 0-40
Относительная влажность, %: средняя максимальная	95,0 ±98
Запыленность, мг/м <sup>3</sup> средняя максимальная	300 2500
Параметры вибрации (для корпусов аппаратуры управления), частота, Гц: нормальная максимальная	12-30 50
Амплитуда, мм: нормальная максимальная	0,003-0,008 0,05
Ускорение единиц: нормальное максимальное	0,002-0,005 0,09

Датчик ДП-7 предназначен для контроля переднего положения секции крепи и зоны неподвижки, равной 60мм. Отличие датчика ДП-7 от ДП-6 в том, что первом имеется два геркона, отстоящих друг от друга на расстоянии 60мм, два подстроечных магнита и все элементы датчика размещены в корпусе из немагнитной стали. При подходе гидроцилиндра к датчику в переднее

положение вначале срабатывает геркон, предварительно переднего положения; а затем через 60мм пути цилиндра срабатывает геркон переднего положения. При выдвиге цилиндра возврат герконов в первоначальное положение происходит в обратном порядке. Зона срабатывания и отпускания геркона отсчитывается от переднего торца датчика.

Для контроля положения перемещающихся отдельных частей и механизмов в целом при работе манипулятора проектируется применение разобщенного исполнения ДПУ2-40, имеющего двухблочную конструкцию.

Датчик состоит из блока с герконом и блока, содержащего постоянный магнит. Блок с герконом является единым для двух типов датчика, а магниты отличаются габаритами. Блок с герконом относительно блока с постоянным магнитом устанавливается неподвижно. Отсутствие блока с постоянным магнитом у блока герконом последний разомкнут. При приближении блока с постоянным магнитом к блоку с герконом напряженность магнитного поля в зоне размещения геркона увеличивается, по достижении напряженностью поля постоянного магнита в зоне размещения геркона значения, равного напряженности поля срабатывания геркона, он замыкается.

### **3.8 Специальный транспортирующий став робототехнологического комплекса КРС**

Специальный транспортирующий став обеспечивает транспортирование отбитого угля автоматическими манипуляторами самотеком при отработке крутонаклонных угольных пластов по простиранию без применения электрических приводов.

Поставленная цель достигается тем, что в известном устройстве, имеющем секции транспортирующего става с гасителями скорости, гасители скорости размещены внутри упругих элементов, выполнены изгибающимися и собраны из отдельных пластин, закрепленных между собой и бортом секции транспортирующего става гибким натяжным элементом, который посредством замковых крючков взаимодействует с гибким элементом управления, а посредством тяги взаимодействует с пружиной, опирающейся на пластику, жестко закрепленную с секцией транспортирующего става; пластины выполнены со скосом торцов, а крайняя пластина со свободного конца выполнена с канавкой. Управление направлением скорости транспортируемого материала достигается изменением радиуса кривизны (изгиба) гасителей посредством гибкого натяжного элемента путем перецепки его в различных местах гибкого элемента управления.

На рисунок 3.20 представлен общий вид транспортирующего става; на рисунок 3.321, а, б, в, г- разрезы Б-Б, В-В, Г-Г, а также показана схема изменения направления скорости транспортируемого материала; на рисунок 3.22 а, б, в-разрез Е-Е; на рисунок 3.23 - управления гасителями скорости.

Устройство горного выемочного манипулятора, содержащего направляющие с закрепленными на них гасителями скорости, каждый из которых имеет пластину, и привод их перемещения, включающий гибкую тягу,

отличается тем, что, с целью расширения технологических возможностей транспортировки материалов с различными физико-механическими свойствами, каждый гаситель скорости снабжен дополнительными последовательно расположенными в направлении направляющей с продольными пазами и торцовыми скосами, увеличивающимися в сторону рабочей поверхности пластин, и охватывающим пластины упругим кожухом. При этом тяга подпружинена, а привод перемещения дополнительно содержит гибкий элемент, расположенный в указанных пазах и связанный одним концом с тягой посредством крючков и дополнительной подпружиненной тягой, а другим- с первой со стороны, на противоположной стенке, пластиной и соединен с гидроцилиндром управления, которым снабжено устройство горного выемочного манипулятора.

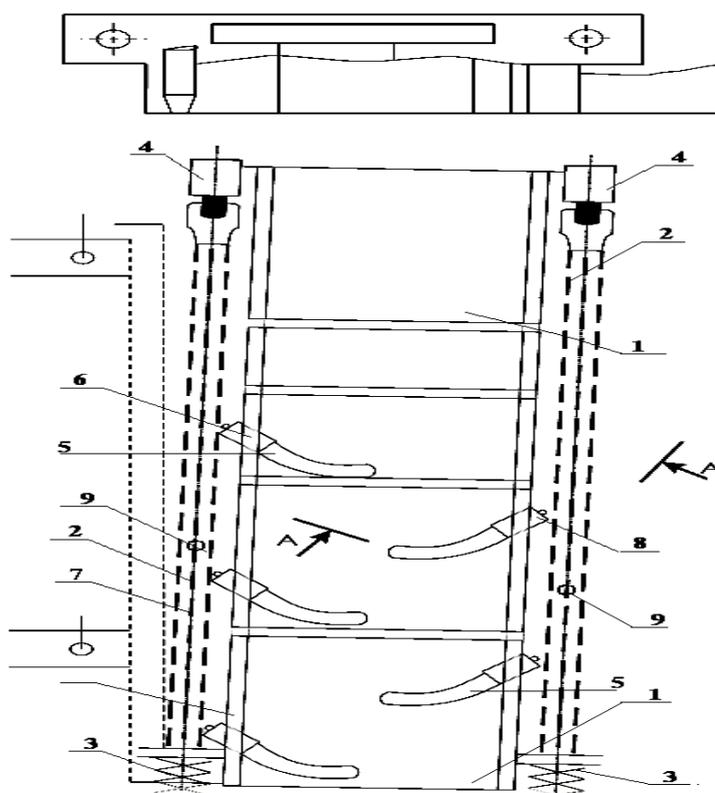


Рисунок 3.20 – База и транспортирующий став манипулятора

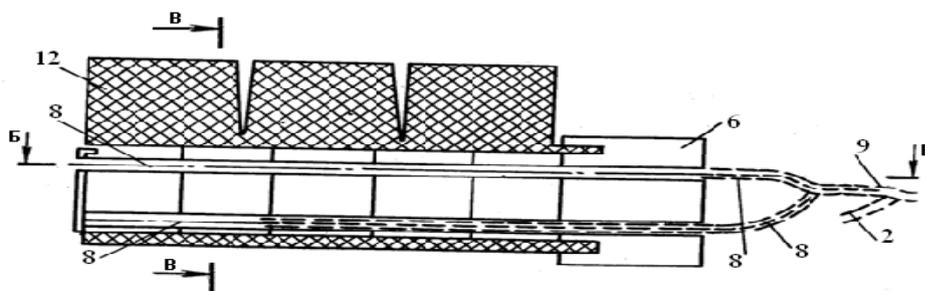


Рисунок 3.21,а – Конструкция гибкого гасителя

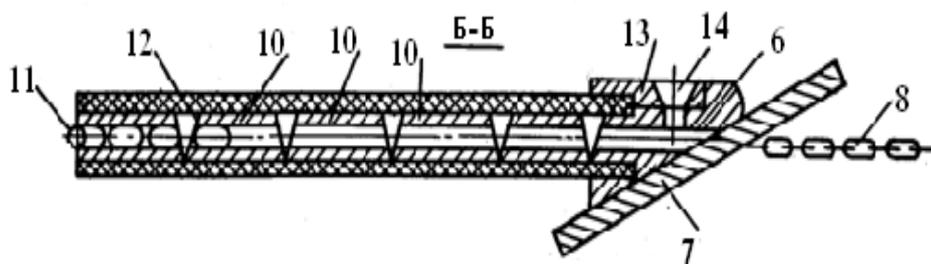


Рисунок 3.21,б – Конструкция гибкого гасителя

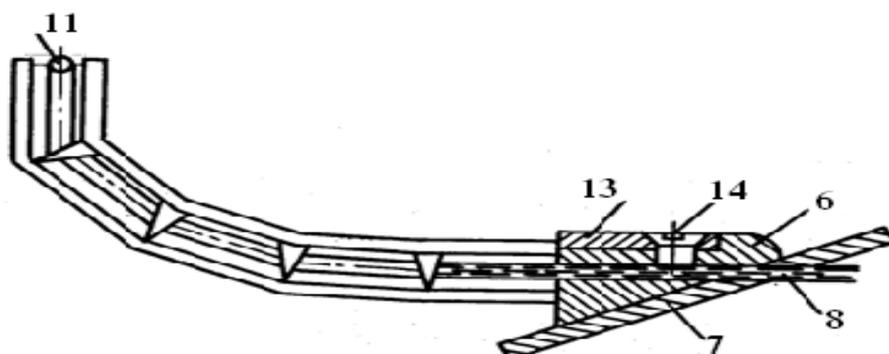


Рисунок 3.21, в – Вид гасителя скорости в рабочем положении

Наклонный транспортирующий став содержит секции транспортирующего става 1, гибкого элемента управления 2, соединенного одним концом с пружиной 3, а другим - с гидроцилиндром 4. На секциях транспортирующего става установлены гасители скорости 5, которые упираются на упорные призмы 6, закрепленные к бортам 7 с отверстиями и пропущенными через них гибкими натяжными элементами 8 посредством замковых крючков (не показанных на рисунках) Конструкция гибкого гасителя 9, присоединенных с гибким элементом управления 2.

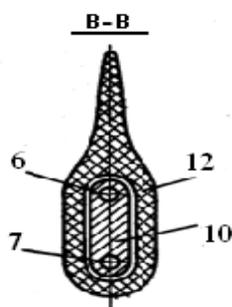


Рисунок 3.21, г – Сечение В-В

Гасители скорости состоят из пластин 10, штыря 11 и размещены внутри упругого элемента 12. Упорная призма имеет пластину 13 и винт 14. 3 варианте упрощения конструкции гибкий натяжной элемент 8 прикреплен к оси 15.

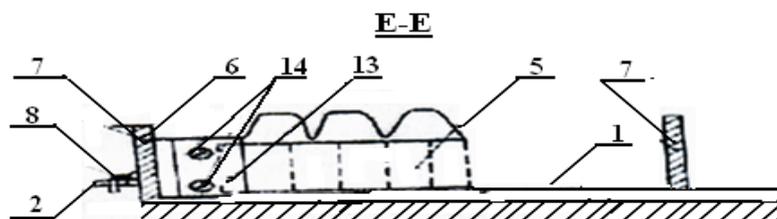


Рисунок 3.22, а – Разрез E-E

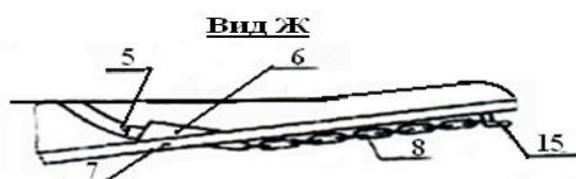
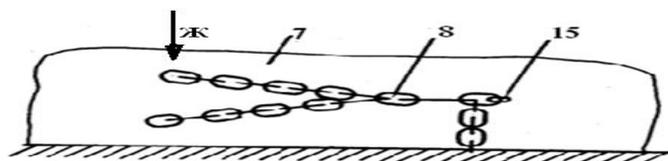


Рисунок 3.22, б – Управляемые гибкие гасители скорости отбитого угля манипулятора

Выполнение связи гибкого элемента с тягой посредством крючков.

В варианте транспортировки материалов различных габаритных размеров (леса, контейнеров и др.) гибкий натяжной элемент 8 взаимодействует с упругим элементом 16, опирающийся на пластину 17, посредством тяги 18 с крепежным винтовым элементом 19, выполнение связи гибкого элемента с тягой посредством подпружиненной тяги.

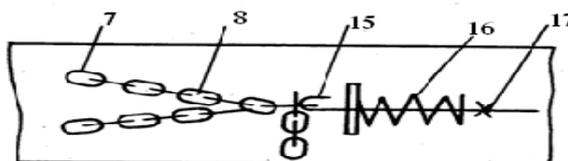


Рисунок 3.22, в – Варианты управления гасителями скорости

Наклонный транспортирующий став работает следующим образом.

При транспортировке сыпучих материалов, например, отбитой массы полезных ископаемых, в зависимости от угла наклона и гипсометрии почвы, на которой установлен транспортирующий став, устанавливают кривизну гасителей скорости путем перецепки гибкого натяжного элемента 8 в различных местах гибкого элемента управления 2. При этом, чем больше угол наклона, тем больше увеличивают изгиб гасителей скорости путем натяжения гибкого натяжного элемента 8 в направлении Д, показанном на рисунок 3.22,в. Гасители скорости 5 изгибаются при натяжении благодаря скосу торцов пластин 10 со стороны поступления груза, при этом свободный конец гибкого натяжного элемента 8 придерживается штырем П, установленном в пазе торца пластины 10,

установленной на этом конце, а упругий элемент 12 предохраняет сыпучий материал от дополнительного дробления и способствует повышению работоспособности гасителей скорости, препятствуя попаданию мелочи транспортируемого материала в зазоры между пластинами. Верхняя часть упругого элемента 12 (рисунок 3.21, а) служит для увеличения высоты гасителей и при этом не препятствует перемещению выемочных машин по ставу.

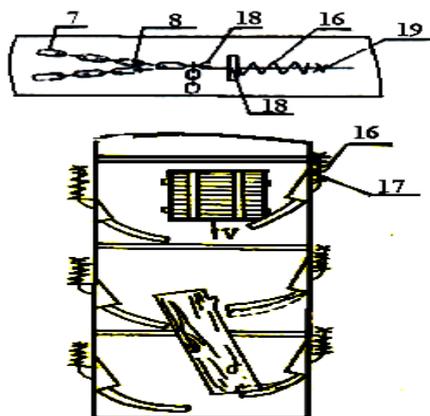


Рисунок 3.23 – Транспортирующий став

Сам упругий элемент прикреплен одним концом к упорной призме 16 пластиной 13, прижимаемой винтом 15.

Управление гасителей скорости по всей длине наклонного транспортирующего става осуществляется гибким элементом управления 2, один конец которого взаимодействует с пружиной 3, а другой - соединен с гидроцилиндром 4. При увеличении натяжения гибкого элемента управления 2 гидроцилиндром 4 увеличивается и крутизна изгиба гасителей скорости.

При необходимости конструкция управления гасителей скорости может быть выполнена упрощенной (рисунок 3.23). В этом случае гасители скорости управляются, каждый в отдельности, путем перецепки гибкого натяжного элемента на ось 15, жестко прикрепленную к борту 7 транспортирующего става. Изменяя длину зацепляемой части гибкого элемента натяжения изменяют кривизну изгиба гасителей скорости.

Для транспортировки контейнеров, леса и материалов различных габаритов (рисунок 3.23) гибкий натяжной элемент соединен посредством тяги 17 с упругим элементом 16, например, пружиной. При транспортировке твердый материал под воздействием гасителя скорости снижает свою первоначальную скорость, в тоже время, прижимая пружину посредством гибкого натяжного элемента 8 и тяги 17 под собственным весом, транспортируется дальше. После прохождения этого твердого материала упругий элемент 16 приводит гасители скорости в исходное положение.

### 3.9 Диагностирование и контроль эксплуатационных параметров конвейеров с применением микропроцессорного весоизмерителя

Автоматизация конвейерного транспорта предусматривает оснащение средствами автоматического контроля и защиты каждого конвейера и управление как отдельными конвейерами, так и всей линией. Автоматическая защита осуществляется отключением привода конвейера при отклонении контролируемых параметров за пределы допустимых значений. Развитие промышленной индустрии соответствий со стратегией развития Казахстана до 2030 года направлено на создание подъемно–транспортных автоматизированных производственных комплексов с прогрессивной технологией и объектами новой техники, являющихся сложными техническими системами. В связи с этим развитие, поточно-производственных систем различных отраслей промышленности.

Специальный транспортирующий став обеспечивает транспортирование отбитого угля автоматическими манипуляторами самотеком при отработке крутонаклонных угольных пластов по простиранию без применения электрических приводов.

Отечественный и зарубежный опыт разработки и эксплуатации многоприводных пластинчатых конвейеров (МПК) показывает, что для обеспечения эффективности их функционирования необходимо решение вопросов, связанных с возникновением дополнительной упруго-вязкой деформации тяговых органов, вызванной рядом факторов, к которым относятся: изменения загрузки конвейера, разнозначность шага звеньев тяговой цепи, статическая ошибка систем регулирования и др.

Для реализации системы автоматической компенсации необходимо обеспечить непрерывный контроль следующих эксплуатационных параметров конвейерной установки: загрузка межприводных участков; действительное натяжение в точке сбегания с промежуточного привода; требуемое расчетное натяжение в точке сбегания; действительная скорость движения тягово-несущего органа [35-49].

Решение этих задач обеспечивает разработанный комплекс средств контроля эксплуатационных параметров (СКЭП), в который входят следующие устройства: конвейерные весоизмерители для измерения производительности и загрузки межприводного участка; датчики натяжения сбегавшей с промежуточного привода ветви тягового органа; вычислительные устройства определения массы материала на межприводных участках МПК, системы автоматического регулирования приводами КУ.

Номинальные (расчетные) значения натяжения в точках сбегания с приводов  $S_{сб.р.}$ , соответствующие данному режиму нагрузки для любого  $i$ -го участка грузовой ветви, вычисляются микроЭВМ после расчета величины нагрузки на соответствующем межприводном участке (рисунок 3.24).

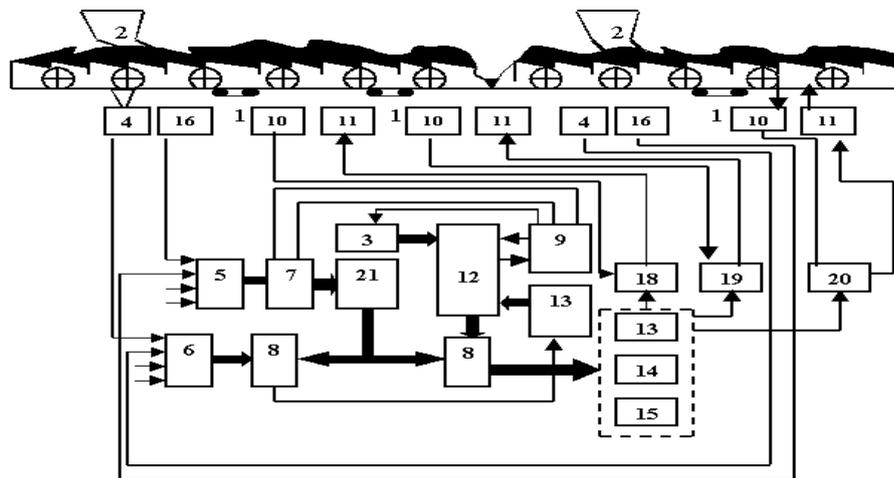


Рисунок 3.24 – Компенсирующее устройство с весоизмерительным комплексом на многоприводном конвейере

На рисунке 3.24 приняты следующие обозначения: 1- промежуточные приводы; 2-погрузочные пункты; 3- блок программной памяти; 4- датчик силоизмерительный; 5- блок датчиков положения ходовых роликов; 6 - блок измерительных усилителей; 7 - формирователь сигналов сопровождения; 8 - цифровой коммутатор; 9- блок управления и синхронизации; 10 - датчики усилия; 11-компенсирующее устройство; 12-микропроцессорное вычислительное устройство; 13-цифро-аналоговый преобразователь; 14 - блок индикации; 15- блок печатания; 16- датчик положения ходового ролика; 17-аналого-цифровой преобразователь; 18-САР  $i$ -го компенсирующего устройства; 19-САР  $i+1$ -го компенсирующего устройства; 20-узел сравнения; 21- блок управления комплексом.

Среднее значение линейной плотности полотна с грузом на межприводном участке рассчитывается после определения статической нагрузки на межприводном участке по разности показаний конвейерных весоизмерителей (КВ), установленных после последовательно расположенных пунктов погрузки:  $ПП_i, ПП_j$ .

Конвейерные весоизмерители включают в себя грузоприемное устройство (ГУ), датчик силоизмерительный (ДС), датчик положения ходовой опоры на направляющей ГУ (ДП), блок измерительных усилителей (БИУ).

Основой системы контроля эксплуатационных параметров (СКЭП) управления приводом МПК является ПЭВМ IBM PC XT, реализующая программные методы измерения массы груза на каждой опоре, расчет горной массы на межприводных участках, расчет номинального натяжения и выдачу управляющего воздействия в систему автоматического управления приводом КУ.

МикроЭВМ выдает расчетное значение усилия на один вход элемента сравнения схемы управления приводом КУ в виде аналоговых сигналов  $U_{сб.р}$ .

Действительные значения скорости движения тягового органа  $\omega_d$  и усилия  $S_{сбд}$  измеряются датчиками скорости и датчиком усилия (ДУ) и подаются на

входы элемента сравнения в виде сигналов  $U_{cd}$   $U_{sd}$ . Разность сигналов  $U_{\Delta c}, U_{\Delta s}$  воздействует на систему регулирования приводом КУ, заставляя ее компенсировать отклонение значений действительного натяжения от расчетного.

Измерение мгновенной и интегральной производительности МПК для оперативного учета транспортируемой горной массы, а также определения величины загрузки межприводных участков для систем управления и регулирования обеспечивают конвейерные весоизмерители.

Программа «Натяжение», в соответствии с рисунком 3.25, обеспечивает расчёт величины усилия  $S_{сб.р.}$  в точке установки компенсирующего устройства.

Работоспособность алгоритма проверена на ЭВМ СМ-1, в качестве примера моделировались условия работы конвейера П-80К на Качканарском ГОК. Исходные данные для расчёта  $S_n=42000$  Н;  $b_p=1.376$  м;  $L=0.9$  м;  $N_2=23$ ;  $L_{81}=61$  м;  $L_{82}=30$  м;  $K=2$ ;  $q=0.12-0.51$  т/м [127].

Результаты приведены в таблице 6.8

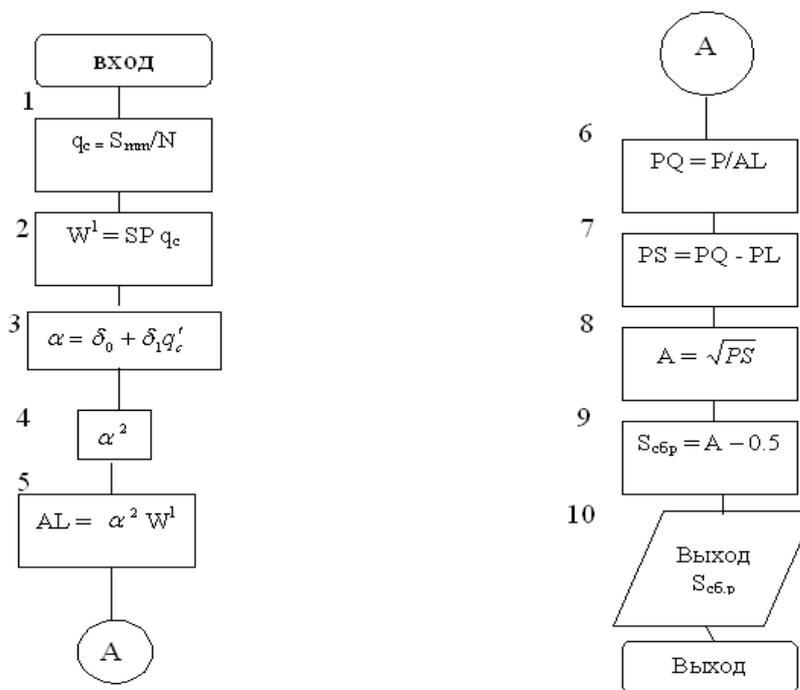


Рисунок 3.25 – Блок-схема программы «Натяжение»

Таблица 6.8 - Результаты расчетов на ЭВМ

q, м	Q, тч	M <sub>1</sub> , т	S <sub>сб.р.</sub> кН
0,2898	1147,61	8,7003	10,1930
0,2835	1122,66	8,7381	10,210
0,2520	997,920	8,7570	10,482
0,1953	773,388	8,6877	10,300
0,2520	997,920	8,6814	10,662
0,1575	623,700	8,6436	10,597
0,1658	648,648	8,6456	10,622
0,1575	625,700	8,6247	10,727
0,1323	523,908	8,5428	10,263
0,2646	1047,82	8,4294	10,127
0,3150	1247,40	8,5050	10,300

0,2520	997,920	8,5995	10,526
0,1822	723,492	8,6688	10,460
0,2016	798,336	8,6499	10,358
0,2331	923,076	8,6877	10,049
0,3465	1372,14	8,7822	10,095

Номинальные (расчётные) значения натяжения в точках сбегания с привода  $S_{сб.р}$ , соответствующие данному режиму нагрузки для любого  $i$ -го участка грузовой ветви, определяются после расчета величины нагрузки на соответствующем межприводном участке [125, 126, 127].

Среднее значение линейной плотности полотна с грузом на межприводном участке рассчитывается после определения статической нагрузки на межприводном участке по разности показаний КВ, установленных после последовательно расположенных пунктов погрузки.

### **3 РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ**

#### **4.1 Научные основы создания робототехнологических горных комплексов**

Анализ состояния вопроса использования манипуляторов при автоматизации и роботизации очистных работ. Ежегодный объем угля по Карагандинскому бассейну из 27 шахтопластов, пригодных для селективной выемки, составляет около 15 млн. тонн [37,38]. Потери угля в недрах по этим запасам при традиционной технологии с оставлением угольных пачек в 1998 г. – около 9 млн. тонн [37,38]. Кроме того, потери угля в недрах по площади за время работы в бассейне из-за горнотехнических факторов составляют в настоящее время свыше миллиарда тонн.

Большинство угольных пластов бассейна имеют сложное строение, что резко снижает производительность средств выемки и их надежность.

Господствующей формой среди разрывных геологических нарушений в бассейне являются выбросы, на долю которых приходится около 70%. Наиболее распространенными являются тектонические нарушения с амплитудами 0,1-3 Ом. Нарушения пластов вызывают серьезные трудности. Около 20% ремонтов оборудования происходит из-за геологических нарушений. Переход нарушений связан с осложнениями, связанными с необходимостью присечки боковых пород [18].

Основная добыча угля в бассейне приходится на пологие пласты с углом падения до 180°, а добыча угля из наклонных и крутонаклонных пластов составляет не более 7%, тогда как из запасы превышают 28%. Малое число забоев на наклонных и крутонаклонных пластах бассейна, а также существование очистных забоев с отбойными молотками и буровзрывными способами объясняется трудностью их отработки из-за отсутствия эффективных технологических схем и средств выемки. Такое положение порождает практику выборочной разработки наиболее благоприятных пластов. В результате в недрах остаются не только целики для охраны выработок и в зонах геологических нарушений, но и значительные запасы крутонаклонных и крутых пластов. Поэтому проблема разработки локальных участков со сложными горно-геологическими условиями крутонаклонных и крутых пластов, а также селективная выемка приобретает особую актуальность.

Большой вклад в развитие теории, технологии и средств механизации, автоматизации очистных проходческих работ внесли ученые: А.С. Бурчаков, А.С. Сагинов, Н.Г. Бойков, В.А. Бреннер, В.Ф. Бырька, В.Н. Гетопанов, Л.Б. Глатман, В.Ф. Горбунов, Г.И. Грицко, Н.А. Дрижд, И.С. Крашкин, О.В. Ким, Г.И. Солод, С.С. Квон, Н.Ф. Кусов, Л.И. Контович, П.Ф. Лукьянов,

М.С. Сафохин, Ю.Ф. Савенко, Н.Г. Картавый, В.И. Зайков, Е.З. Позин, К.М. Первов, Т.Е. Ермаков, Ю.Ф. Пономаренко, Ю.Л.Худин, Б.Г. Климов, Т.К. Исабеков, Е.С. Утенов и др.

В развитии работ по робототехнике в угольной промышленности внесли большой вклад ученые Ю.Н. Киклевич, Н.А. Шматков, К.Ф. Сапицкий, А.Д. Кидерман, В.А. Кузькин, В.Л. Конюх, В.И. Силаев, С.С. Музгин, А.М. Ткаченко, Т.Е. Ермаков, К.С. Шоланов, и др.

Анализ выполненных исследований и разработок вышеуказанных авторов по вопросам робототехники в угольных шахтах доказывает, что горнодобывающая промышленность выделена первой в перечне немашиностроительных отраслей, для которых намечено создать и внедрить промышленные роботы. Это объясняется следующими причинами.

Условия работы в шахтах относятся к экстремальным для человека. По мере углубления горных работ растет число травм и подземных взрывов от проявления горного давления. Частота травматизма подземных рабочих в 4-5, а на глубоких шахтах в 8-9 раз выше, чем на поверхности. Усложнение горно-геологических условий обостряет объективное противоречие работы в подземных условиях. С одной стороны, сложность добычи требует все большего участия человека в технологических процессах. С другой – повышаются затраты на обеспечение жизнедеятельности и безопасности человека в рабочей зоне. На угольных шахтах России, Украины и Казахстане уровень механизации очистных и проходческих процессов составляет 38 %, а вспомогательных – 12 %.

Поэтому создание мобильных универсальных выемочных манипуляторов для механизации разнообразных вспомогательных операций или для отработки локальных участков угольных пластов рассматривается как альтернатива специализированным средствам механизации [38].

Принципы и идеи промышленной робототехники и гибких автоматизированных производств к началу 80-х годов прошлого столетия начали применяться в технологии угольной промышленности. В 1980 г. постановлением Госкомитета бывшего СССР по науке и технике была утверждена научно-техническая программа создания и освоения автоматических манипуляторов для угольной промышленности, содержащая 18 крупных зданий, где участвует и КарПТИ, для ряда министерств и ведомств по созданию автоматизированных и роботизированных комплексов и машин очистных и проходческих забоев, вспомогательных и горноспасательных работ. Результатом этих работ должно стать создание в Донбассе и Кузбассе двух показательных шахт с высоким уровнем автоматизации и автоматическими манипуляторами.

В 1990 г. начаты работы по шахтной робототехнике с использованием манипуляторов в Великобритании, Японии, США, Германии, Чехии. Университетом Карнеги-Меллон (Питсбург, США) создана и испытана на шахте в Пенсильвании модель робота для подземных работ. В 1995 г. в США начали широко применяться роботы-манипуляторы для бурения шпуров (фирма «Фанук»), установки бетонной тубинговой крепи в тоннелях (фирма «Дайники»). Роботизация горных работ в Великобритании ведется в рамках

государственной программы. В Австралии разработана программа роботизации горнодобывающих процессов из двух этапов по 10 лет:

- дистанционно-автоматизированное управление горным оборудованием и манипуляторами;
- переход к комплексной автоматизации горнодобывающих систем с использованием роботов-манипуляторов.

Период осмысления специфики, целей, задач и новых технологических возможностей горной робототехники еще не закончен. До сих пор не установилось определение «шахтный робот», под которым одни понимают доработанную горную машину с перепрограммируемой системой управления для работы в сложных условиях, другие – специально созданный манипулятор для замены двигательных функций человека.

Термин «промышленный робот» по ГОСТу [38] не охватывает классы информационных и транспортных роботов, не учитывает специфику горного дела. Очевидно, определение «шахтный робот» должно быть более широким, не пересекаясь в то же время с традиционными автоматизированными горными машинами. Донецким филиалом «Гипроуглеавтоматизация» предложено определение робота как многоцелевого, оперативно-перестраиваемого при переходе на новые операции, управляемого дистанционно оператором и (или) автоматическим устройством типа выемочного манипулятора, выполняющего двигательные, контролирующие и управляющие функции, аналогичные трудовой деятельности человека.

В таблице 5.5 приведены некоторые отличия машиностроительных и горных роботов-манипуляторов. Их принципиальный характер позволяет считать горную робототехнику самостоятельным научным направлением.

Существующее добычное и проходческое оборудование не может полностью исключить ручной труд при ведении технологических операций. Возможно несколько путей решения этой проблемы. Один из них состоит в том, что прогрессивные технологические схемы и соответствующее оборудование должны включать комплексно взаимосвязанные технологические операции. Однако многие операции выполняются дискретно во времени, кроме того, вступает в силу фактор надежности технологической схемы в целом. Другое направление – это создание и внедрение в очистных забоях комплексов оборудования, механизмирующих и частично автоматизирующих основные и вспомогательные процессы. Однако опыт внедрения автоматизированного забойного оборудования показал, что трудоемкость ручных операций в результате автоматизации существенно не меняется. В связи с этим возможно новое направление, более высокая степень комплексной механизации и автоматизации подземных работ на основе применения робототехники, что должно позволить выполнять манипуляционные операции с использованием автоматических манипуляторов, сбор информации (визуальными, акустическими и другими сенсорами) в зоне непосредственного ведения работ и создания реальных условий для вывода человека из этих зон.

Перспективы подземной добычи полезных ископаемых связаны с созданием и освоением технологии безлюдной выемки, развитие которой в настоящее время ведется по трем направлениям [37]:

- выемка угля без постоянного присутствия людей в очистном забое, предполагающая кратковременное пребывание людей в лаве для ремонта и осмотра оборудования;

- выемка угля, состоящая из способов и средств, исключающих необходимость присутствия человека в местах ведения очистных работ;

- выемка угля без присутствия человека под землей (или геотехнология), предполагающая ведение комплекса работ (поверхности).

Первое направление базируется на развитии комплексной и агрегатной выемки с использованием микропроцессорной техники в длинных очистных забоях (главным образом для тонких и средней мощности пластов) с добычей угля комбайнами или стругами. В этой области накоплен значительный опыт.

Второе направление ориентируется на создание дистанционно управляемых агрегатов с программным управлением в коротких очистных забоях (в том числе с применением гидродобычи), а также на разработку технико-технологических решений нетрадиционными способами.

Третье направление основывается на технологии и средствах, предусматривающих ведение всего комплекса работ с поверхности при предварительном изменении агрегатного состояния угля.

Для вывода человека из комплексно-механизированных забоев во время выемки необходимо решить вопрос автоматизации основных процессов, для надежной работы агрегатов без постоянного присутствия людей в забое необходимо создать систему автоматизации, включающую в себя подсистемы: управление приводами, крепь оборудованием – гипсометрия пласта, контроль и управление гидросистем, а также сбор и обработка информации о состоянии машин и оборудования.

В настоящее время разработаны и прошли шахтные испытания новые датчики и гидравлические и оптические системы, но даже при создании надежно работающих систем управления все еще трудно обеспечить полный вывод человека из очистного забоя, что связано с несовершенством техники и неучитываемыми возмущаемыми воздействиями горной среды. При создании агрегатов задача вывода человека трудно решается, пока на него возложены функции обеспечения контроля за работой оборудования и состоянием окружающей среды, корректировки управления процессом выполнения вспомогательных операций, устранения экстремальных ситуаций в забое [37,38].

Для комплексно-механизированных забоев проблема безлюдной выемки должна решаться в два этапа. Целью первого этапа является ликвидация ручного труда, что может быть достигнуто вводом в состав комплекса ряда машин и механизмов, выполняющих отдельные рабочие процессы и вспомогательные операции вместо людей. В качестве их, возможно, будут использованы телеуправляемые роботы-манипуляторы, снабженные универсальными манипуляторами, различными сенсорными системами и механизмами перемещения по очистным выработкам. Только после этого возможно

осуществление технологического процесса без присутствия людей в забоях, для которых должна быть создана необходимая база робототехники и автоматизации.

Очистные агрегаты являются более высокой степенью развития добычной техники по сравнению с комплексами, для них задача ликвидации ручного труда определяется в основном техническими решениями в части технологии, оборудования и систем автоматики. Естественно, что для их устранения, наряду с традиционными техническими решениями, могут быть использованы роботы-манипуляторы различного назначения, например, информационные, копирующие.

Одним из условий успешного функционирования подземных манипуляторных роботов является эффективная информационная осведомленность о состоянии окружающей среды в рабочей зоне и самого робота. Роль такого информационного осведомителя играет система осуществления робота, в которую входят тактильные (обязательные), зрительные и другие датчики. Как известно, по зрительному каналу человек получает 80-90% всей воспринимаемой информации об окружающей среде, следовательно, большая часть информации, необходимой для эффективного манипулирования и перемещения подземного робота, будет поступать от зрительных датчиков (видеосенсоров). Поскольку наиболее перспективным в подземных условиях считается применение биотехнических роботов, управляемых дистанционно, и конечным получателем информации является человек-оператор, то речь идет о системе «оператор-видеосенсор-манипулятор-среда».

Применение видеосенсоров в качестве информационных устройств, особенно в нестандартном подземном оборудовании, открывает принципиально новые возможности оценки состояния и относительного расположения объектов в трехмерном пространстве с целью манипулирования; позволяет увеличить распознаваемость и дешифруемость объектов наблюдения, включая задачи определения границ «порода-уголь», диагностики неисправностей и угрожаемых состояний и др., должно обеспечить усовершенствование традиционных систем автоматизации и создание робототехнических манипуляционных комплексов, которые, начиная с 1985 года, предусмотрены в работах КарГТУ.

Предполагаемый и технико-экономический эффект роботизации производственных процессов на шахтах заключается в снижении уровня ручного труда и трудоемкости операций, высвобождении рабочего персонала и более рациональном его использовании, в создании условий для повышения производительности и увеличения машинного времени добычного и проходческого оборудования, снижения уровня травматизма в результате вывода человека из зоны ведения работ, освобождении людей от работы в загазованной или взрывобезопасной среде и в труднодоступных зонах.

## **4.2 Разработка и создание роботизированного комплекса**

### **4.2.1 Состав комплекса КРС и требования к конструктивному устройству**

Комплекс КРС предназначен для селективной (раздельной) выемки угля и породы на пластах, залегающих в сложных горно–геологических условиях, без постоянного присутствия людей в очистном забое с оставлением породы в шахте [68, 70, 73]. Область применения комплекса – одинарные с породными прослойками или сближенные угольные пласты мощностью 2,14 - 7,0м с углом падения до 55°, сопротивляемостью пласта резанию до 400 кН/м, крепостью породных прослоев до 6 (по классификации проф. М.М. Протодыяконова). Мощность породных прослоев – от 0,4 до 1,5 м. При обработке пластов допускается наличие твердых включений и геологических нарушений с амплитудой до 1-2 м.

Область применения комплекса КРС:

– разработка пологих, наклонных и крутонаклонных пластов со сложными горно-геологическими условиями (сложная гипсометрия пласта, наличие твердых включений, породных прослоев, валунов, выбросы, неустойчивость кровли и почвы и т.д.);

– раздельная выемка угля и породы;

– отработка целиков различного назначения;

– расконсервация списанных балансовых запасов.

Применяемые системы разработки – длинные столбы по простиранию с длиной лавы 100-150 м и короткие столбы по восстановлению без проведения нарезных выработок с длиной лавы 25-100 м. Управление кровлей – полное обрушение основной части лавы и частичная закладка выработанного пространства вдоль конвейерного штрека (ходка).

Состав комплекса КРС состоит из шнекового закладочного устройства, изготовленного на базе буровой установки «Старт», закладочного комплекса «Титан» и гидроэлектрооборудования с аппаратами управления и микро-ЭВМ с использованием микропроцессоров с указанием количества (комплекта) и обозначения входящих в него составных частей (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Состав комплекса КРС

Обозначение	Наименование оборудования	Количество (комплект)
ВМФ-5	Выемочная машина-манипулятор	2
2ОКП70К («Пиома 25/45-03» или «Фазос 24/53»)	Крепь (три типоразмера)	0,7-0,8
М130	Крепь (четыре типоразмера)	0,2-0,3
Т6К	Крепь верхнего сопряжения (вентиляционного штрека)	1
М81СК	Крепь нижнего сопряжения (конвейерного штрека)	1
СУ-ОКП70 (СП301)	Забойный конвейер	1
«Титан»	Шнековое закладочное устройство	1
СП87П	Реверсивный штрековый конвейер	1
СНУ-5	Группа насосная	2
	Электрооборудование	1
	Система автоматического управления с микропроцессорными устройствами	1

Основным критерием при работе механизированной крепи для выемки того или иного пласта является соответствие горно-геологических условий пласта его техническим характеристикам. К основным горно-геологическим условиям относятся: вынимаемая мощность пласта, угол падения пласта, несущая способность кровли и почвы пласта, устойчивость кровли пласта.

Крепь основной части лавы 2ОКП70К предназначена для поддержания кровли в призабойном пространстве, защиты рабочей зоны от обрушения кровли и управления кровлей основной части лавы.

Крепь закладываемой части лавы М130 предназначена для поддержания кровли в призабойном пространстве, защиты рабочей зоны от обрушения кровли в закладываемой части лавы, а также для подвески закладочных трубопроводов и обеспечения закладки пустой породы в выработанном пространстве за секциями крепи.

Крепи сопряжения Т6К и М81СК предназначены для крепления верхнего и нижнего сопряжений лавы с прилегающими выработками и удержания линейных секций крепей от сползания. Крепи сопряжения должны обеспечивать компактность размещения забойного оборудования в концевых частях лавы. Отдельные конструктивные изменения крепи нижнего сопряжения окончательно будут уточняться в процессе разработки.

Забойные конвейеры СКУ, 2ОКП70К (СП301) обеспечивают доставку отбитой массы угля и породы. Конвейер СКУ-45 содержит приводную головку с электродвигателя, секции рештаков, цепь с консольными складывающимися скребками, желоба для траковой цепи, гидро – и электрокоммуникации для управления связи. Забойный конвейер со стороны завальной части лавы должен быть приподнят относительно почвы пласта для обеспечения захода основания секции крепи на величину 130 мм с глубиной 430 мм. Длина линейных секций конвейера – 1100 мм. Шаг установки консольных скребков должен быть 1000 мм. Нагрузка на тяговую цепь при транспортировке угля и породы не должна превышать 843 кН.

Штрековый реверсивный конвейер на базе конвейера П87П предназначен для доставки угля на последующие штрековые конвейеры при включении и перегрузке отбитой породы в приемный бункер закладочного устройства при реверсивном включении.

КРС состоит из выемочного манипулятора ВМФ-5, 6 с механизированной крепью с конвейером, электро-гидрооборудования, а также аппаратуры адаптивно-программного управления с диагностикой состояния.

Применение комплекса КРС позволяет:

– резко уменьшить потери полезных ископаемых в недрах при эксплуатации угольных шахт, рудников, разрезов, карьеров;

– осуществлять разработку сближенных угольных пластов и расстоянием (0,5-2 м) и углом падения до 55° как селективную выемку с оставлением породы в шахте;

– осуществлять расконсервацию и разработку техногенных запасов месторождений полезных ископаемых, а также отработку целиков различного назначения рудных и нерудных месторождений в сложных горно-геологических условиях.

Согласно рисунка 4.1, комплекс КРС содержит линейные секции механизированной крепи 1 с основанием и перекрытием, выемочную машину в виде горного автоматического выемочного манипулятора 2, расположенного на основании, опирающемся лыжами на направляющие транспортирующего става 3 и закладочной машины 4, секции крепи с закладочным устройством 5, штрековый конвейер 6, перегрузчик 7 и поддерживающее устройство 8.

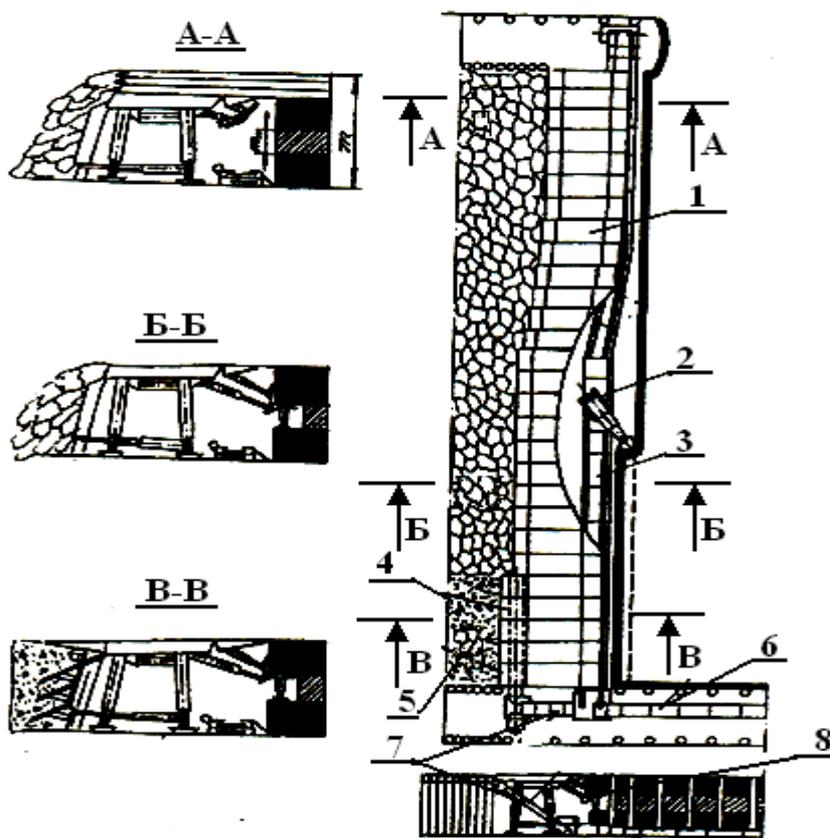


Рисунок 4.1 – Комплекс КРС для безотходной селективной выемки:

1 – линейные секции крепи М130; 2 – выемочный манипулятор; 3 – забойный конвейер КИ-02БИ; 4 – шнековая закладочная машина; 5 – секции крепи М-130 с закладочным устройством; 6 – штрековый конвейер СП87П; 7 – перегрузчик; 8 – поддерживающее устройство

На основании результатов рассмотрения показателей в карте технического уровня и качества продукции комплекса для селективной выемки комплекс КРС должен обеспечивать полную автоматизацию очистных работ в лавах с раздельной выемкой угля и породы без постоянного присутствия людей в очистном забое с оставлением вынудой породы в шахте для закладки.

Общая краткая характеристика комплекса КРС представлена в таблице 4.1.

При разработке крутонаклонного пласта применяется специальная транспортирующая база с гасителями скорости отбитого манипуляторами угля.

Таблица 4.1 – Краткая характеристика комплекса КРС

Показатель	Данные
Производительность одного манипулятора с автоматическим управлением, т/мин.	2,5
Количество манипуляторов на один агрегат, шт.	10
Мощность электродвигателя одного манипулятора, кВт	22
Число степеней подвижности манипулятора	5
Общая мощность электродвигателей комплекса, кВт	240
Удельные энергозатраты агрегата, кВт ч/т	0,4
Масса одного манипулятора, т	до 5,0
Общая масса комплекса КРС при длине лавы до 200 м, т	480
Система разработки	-длинные столбы по простиранию
Управление кровлей	полное обрушение
Породы кровли	устойчивые и средней устойчивости
Породы почвы	любой крепости с сопротивлением вдавливанию не менее 1,0 МПа (10 кг/см <sup>2</sup> )
Категория шахт по газу	сверхкатегорная включительно
Вынимаемая мощность пласта, м	1,6-7,0
Угол падения пласта, град.	до 55
Длина лавы, м	180-200
Суточная нагрузка на комплекс, т/сут.	8000
Тип крепи для комплекса КРС	АК-2, КПК-1
Тип конвейера при угле падения до 35°	СКУ-45

#### 4.2.2 Описание комплекса КРС

Комплекс КРС состоит из механизированной крепи типа 2ОКП70К или М130, направляющего транспортирующего става и рабочих органов. Рабочие органы выполнены в виде автоматических манипуляторов, подвижно установленных через 10-12 секций крепи, с четырьмя стойками. Направляющие выполнены с подвижными криволинейными участками, расположенными на транспортирующем ставе и на основании секции механизированной крепи, причем криволинейные участки попарно связаны гидроцилиндрами, полости которых параллельно соединены посредством трубопроводов с распределителем. Рукоять расположена с возможностью взаимодействия с кулачком, шарнирно закрепленным на основании манипулятора, к которому также шарнирно

прикреплены захваты лыж. Гидроцилиндры соединены с гидрораспределителем посредством трубопроводов и обратного клапана. На концах лавы направляющие имеют пару криволинейных участков II: как на основании секции крепи 2, так и в призабойной части, т. е. на концевой части направляющие имеют Т-образный вид.

Для обеспечения точности установки манипулятора под секцией крепи на концах направляющих, установленных на основании секции крепи, выполнены упоры.

Для обеспечения концентрации очистных и подготовительных работ концевые части направляющих выполнены Т-образными с подвижными криволинейными участками.

На рисунке 4.2, а показан общий вид комплекса КРС; на рисунке 4.2, б – общий вид комплекса в плане; на рисунке 4.3, а – конструктивная схема направляющих и система их управления; на рисунке 4.3, б – вид А; на рисунке 4.4 – система управления манипулятором; на рисунке 4.5 – поточная технология выемки угля ВМФ-5, ВМФ-6; на рисунке 4.6 – кинематическая схема манипулятора; на рисунке 4.7 – конструкция криволинейных направляющих (рисунок 4.2).

Комплекс КРС содержит секции механизированной крепи 1 с основанием 3 и перекрытием 3, выемочную машину в виде манипулятора 4, расположенного на основании 5, опирающемся лыжами 6 на направляющие 7 транспортирующего става 8. Направляющие имеют прямолинейные участки 9, 10 расположенные на транспортирующем ставе подвижные криволинейные участки 11 и расположенные на основании секций крепи 2 подвижные криволинейные участки 12, 13 и 14, 15 с проушинами 16, 17, расположенными в направляющих пазах 18, 19, с гидроцилиндрами управления 20 и 21, трубопроводы 22, 23, соединенные с гидрораспределителем 24 рукоятью 25, взаимодействующей с кулачком 26, связанным с рукоятью 27 посредством оси, пропущенной через основание 5.

Кроме того, на криволинейных и прямолинейных участках имеются направляющие 28, взаимодействующие с захватами 29 и 30, управляемыми гидроцилиндрами 31 и 32.

На основании манипулятора 5 установлено оборудование управления 33. Гидросистема управления состоит из гидроблока управления 34 стрелой и головкой манипулятора 4, насоса 35, регулятора тока 36, распределителя 37, взаимодействующего с кулачком 38 обратных клапанов 39, 40 и 41 трубопроводов 42, 43, гидроцилиндра подъема-опускания 44 трубопроводов 45, 46, гидроцилиндра поворота 47, трубопроводов 48, 49, гидрораспределителя 50 трубопроводов 51, 52, гидроцилиндров захвата 31 и 32. Гидроблок управления 34 состоит из предохранительного клапана 53, секции управления гидроцилиндрами подъема-опускания 54, секции управления поворотом 55 стрелы манипулятора 4.

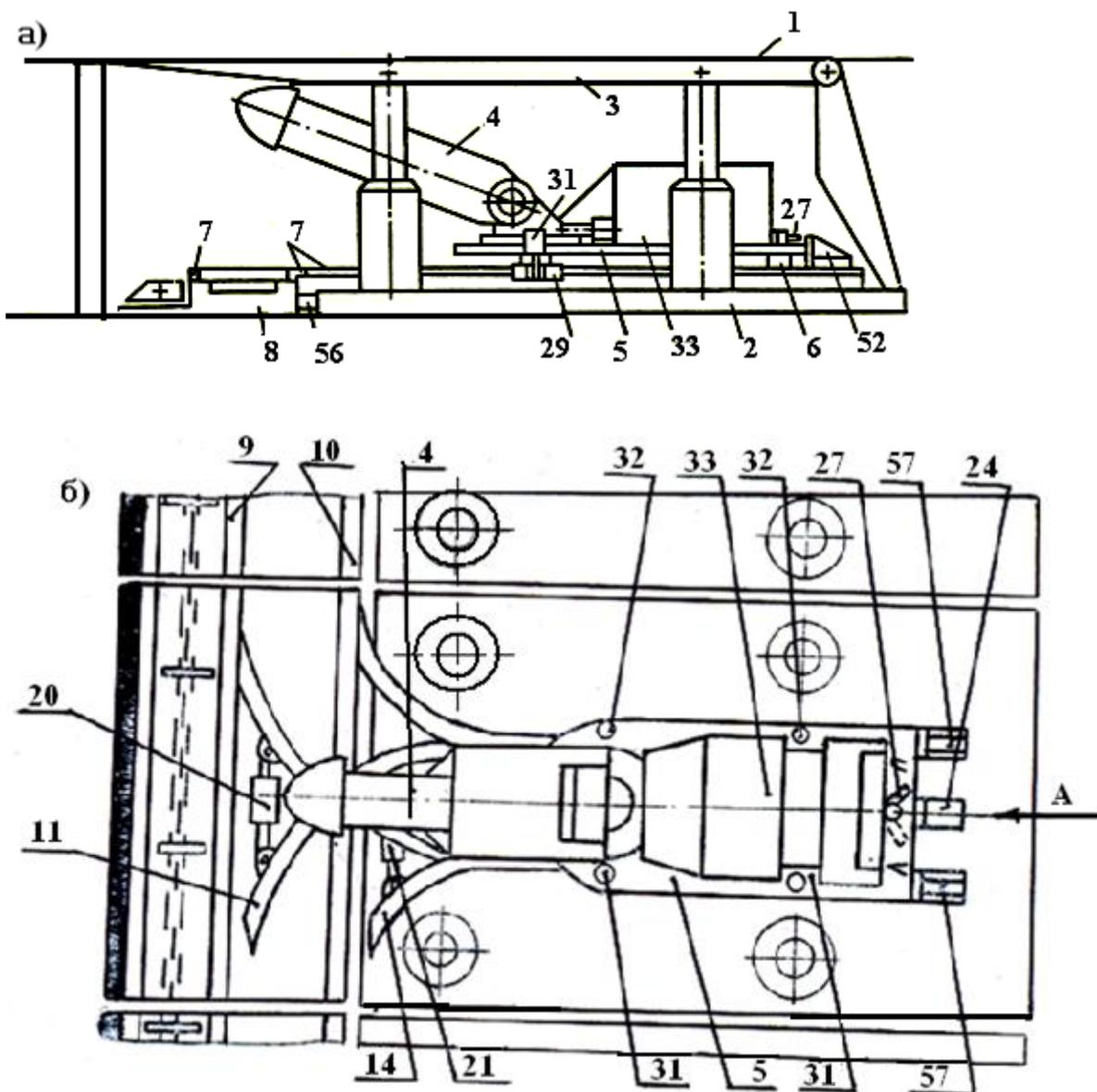


Рисунок 4.2 – Секция механизированной крепи манипулятора ВМФ-5: а - общий вид комплекса КРС; б - вид сверху

Транспортирующий став 8 соединен с основанием секции крепи 3 посредством гидроцилиндра 56.

На основании секции крепи 2 жестко установлены упоры 57.

Упор 57 (рисунок 2.5, б) ограничивает перемещение манипулятора в сторону завала независимо от расположения секции крепи, способствует точному установлению манипулятора в исходное положение и предохраняет от лишних силовых воздействий на рукоять 25 распределителя 24 (рисунок 2.5, б). При установке манипулятора в исходное положение осуществляется автоматический перевод криволинейных участков направляющих в рабочее положение под воздействием кулачка 26 распределителя 24 через рукоять 25.

Поворот рабочего органа (стрелы манипулятора) в горизонтальной плоскости осуществляется опорно-поворотным устройством [39]. Робототехнический комплекс работает следующим образом. В исходном

положении манипуляторы находятся под секцией крепи (рисунок 2.6 а). Рукоять 27 повернута в необходимое положение, например, на перемещение направо, положение «Пи» (рисунок 2.5, б). В этом положении кулачок 26, воздействуя на рукоять 25 распределителя 24, подает рабочую жидкость по трубопроводу 22 в гидроцилиндры 20 и 21. Под действием перемещающихся штоков этих гидроцилиндров подвижные криволинейные участки направляющих 11, 12 и 13 плотно прижимаются к прямолинейным участкам направляющих 9 и 10, и тем самым направляющие дают возможность манипуляторам двигаться вправо, как показано на рисунке 4.1.

При этом одновременно приводятся в рабочее положение правые захваты 30 (рисунок 4.3 б). Для этого (рисунок 4.1) от секции управления 55 рабочая жидкость по трубопроводам 46, 49 через распределитель 50 и обратный клапан 41 по трубопроводу 52 подается в гидроцилиндры 31 и 32, и тем самым захваты 30 приводятся в рабочее положение, а захваты 29, наоборот, выводятся из рабочего положения. Одновременно рабочая жидкость по трубопроводу 46 через обратный клапан 40 подается в гидроцилиндр поворота 44, и устанавливается необходимый угол поворота стрелы манипулятора 4 в сторону забоя. Стрела манипулятора установлена на верхней опорно-поворотной платформе 58, связанной с нижней платформой 59 посредством гидродомкратов раздвижки платформ 60, 61.

На этом заканчивается подготовка манипуляторов I, II, III, IV к выемочным работам. При этом все подготовительные работы ведутся от прилегающих выработок: команда подается одному из крайних манипуляторов, а другие повторяют эту команду, так как они все выполняют одну и ту же операцию, автоматизация значительно облегчается.

Далее все манипуляторы, постепенно выезжая на прямолинейные участки направляющих, начинают зарубку, как показано на рисунке 4.2. Выходя на прямолинейный участок направляющих, каждый манипулятор ведет отбойку массы полезных ископаемых на своем участке (рисунок 2.8). По окончании обработки своих участков манипуляторы I, II, III устанавливаются в исходное положение под ближайшую секцию крепи, к забою подвигаются конвейер и механизированная крепь, а манипулятор IV, выезжая по криволинейному участку на направляющую, расположенную в выработке, ведет отбойку по подготовке этой выработки глубиной, равной шагу передвижения агрегата, как показано на рисунке 4.5, г и после тоже устанавливается в исходное положение.

Выемочная работа в обратную сторону ведется аналогично предыдущей. В этом случае рукоять 27 устанавливается в левое положение «Л» (рисунок 4.2, б), рабочая жидкость подается по трубопроводу 23 к гидроцилиндрам 20 и 21, при этом шток гидроцилиндра 21, перемещаясь (рисунок 2.9) вверх, выводит подвижные криволинейные направляющие 12 и 13 из рабочего положения. Эти направляющие перемещаются под некоторым углом к прямолинейным участкам направляющих, чему способствует расположение проушины 16 в направляющих пазах 18. Одновременно приводятся в рабочее положение подвижные криволинейные направляющие 14 и 15, перемещаясь в направлении расположения проушины 17, расположенной в направляющем пазе 19, и

криволинейная направляющая II приводится в рабочее положение поворотом вокруг оси.

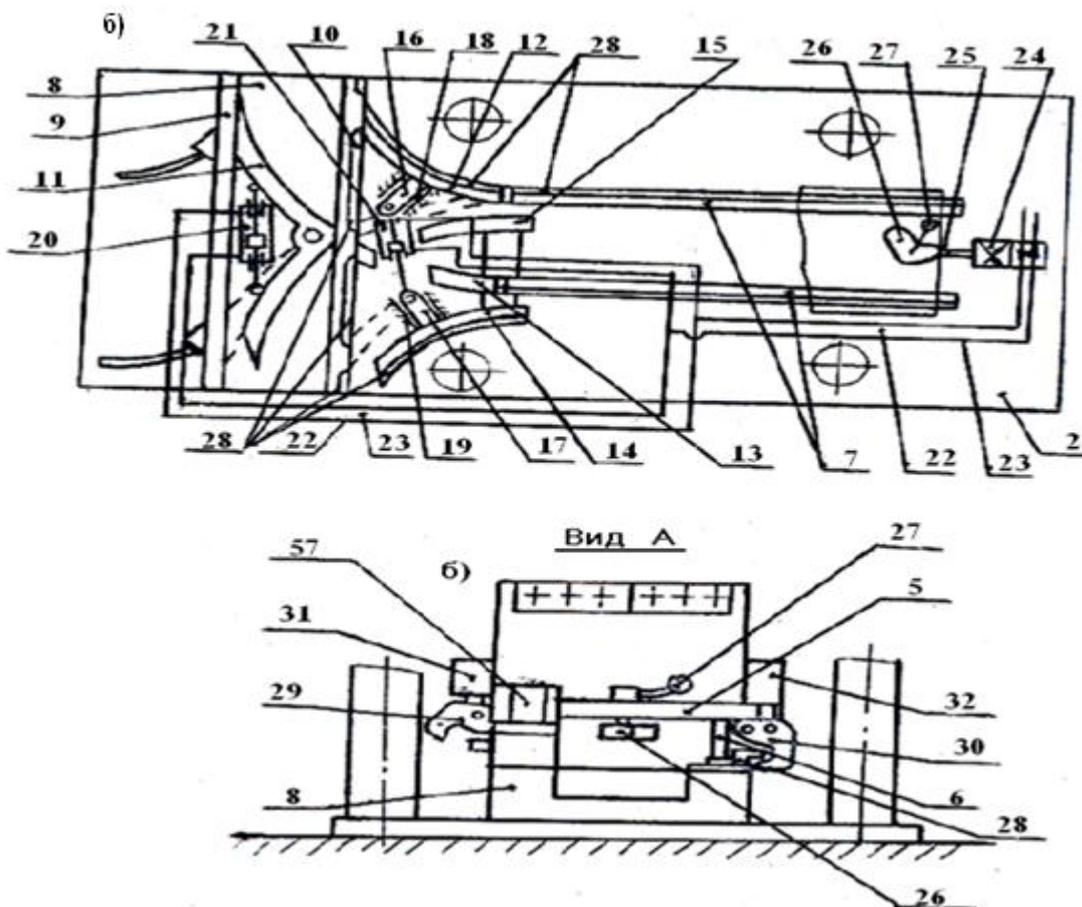


Рисунок 4.3 – Управляемые криволинейные участки базы манипулятора: а - конструктивная схема направляющих и система их управления; б - вид А

Захват 29 подачей рабочей жидкости в трубопровод 45 (рисунок 4.3) переводится в рабочее положение, выводится из рабочего положения захват 30, а стрела манипулятора разворачивается в другую сторону, как это показано на рисунке 2.8, д. Перевод захватов 29, 30 из одного положения в другое обусловлен необходимостью обеспечения устойчивости основания манипулятора 5. Перевод захватов осуществляется таким образом, чтобы рабочими оказались захваты, находящиеся на завальной стороне, в данном случае захваты 29.

При выходе из строя какого-либо манипулятора, например, манипулятора 1, его участок обрабатывается ближайшими манипуляторами, у которых совпадает направление движения, как показано на рисунке 4.5, д.

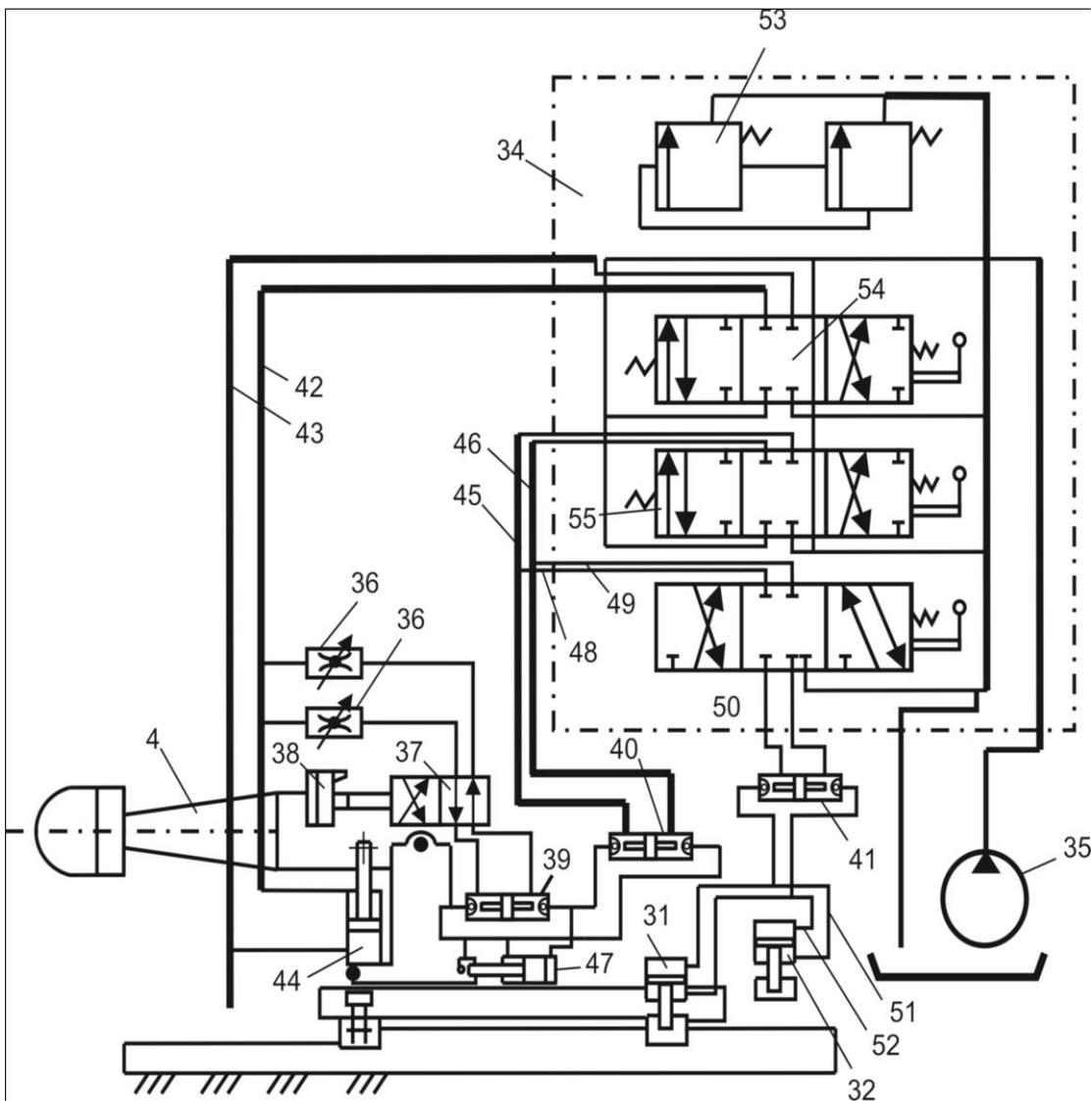


Рисунок 4.4 – Система управления горным автоматическим выемочным манипулятором ВМФ-5, ВМФ-6

По окончании выемочных работ осуществляется подвигание транспортирующего става, механизированные крепи и манипуляторы устанавливаются в исходное положение, а манипулятор, вышедший на выработку, ведет подготовительную работу (углубление выработки).

Происходит поточная технология выемки угля манипуляторами ВМФ-5, ВМФ-6. Среднее значение математического ожидания тока исполнительного органа при подаче имеет величину 10 А-30 А в течение 6 с, а дисперсии  $I_a - 4A$  в течение 4с, затем уменьшение соответственно до 20 А и 2 А, при средних значениях электродвигатель нагружен на 60-65%.

Одновременно проводится ремонт вышедшего из строя манипулятора III, если это не связано со вскрытием электрической части, и готовится к следующему циклу (рисунок 4.5, в).

Основным достоинством предлагаемого агрегата является возможность концентрации очистных и подготовительных горных работ в пределах

выемочного поля, что дает значительный экономический эффект за счет совмещения процессов выемочных и подготовительных работ.



Рисунок 4.5– Поточная технология выемки угля ВМФ-5, ВМФ-6

В отличие от известных комплексов подобного типа не возникает проблемы при развороте стрелы, облегчены задачи автоматизации процесса отбойки, т. к. все манипуляторы могут работать, параллельно выполняя одни и те же операции; процесс перевода криволинейных участков направляющих из одного положения в другое осуществляется автоматически при установке машин под секции крепи; при выходе из строя какого-либо манипулятора его можно заменить двумя соседними манипуляторами; при ведении работ по углубке выработки на одном конце на другом конце лавы осуществляется передвижка концевой части забойного конвейера, передвижка конвейерной линии, секции крепи и другие вспомогательные работы; установка вышедшего из строя манипулятора под крепь позволяет произвести его ремонт, не останавливая выемочные работы, если это не связано со вскрытием электрической части; применение однотипных манипуляторов на подготовительных и очистных работах позволяет быстрее приобрести практические навыки горнорабочими по

управлению ими. Число криволинейных направляющих больше числа манипуляторов на одну единицу, причем они (криволинейные направляющие) расположены по длине лавы на одинаковом расстоянии (рисунок 4.6).

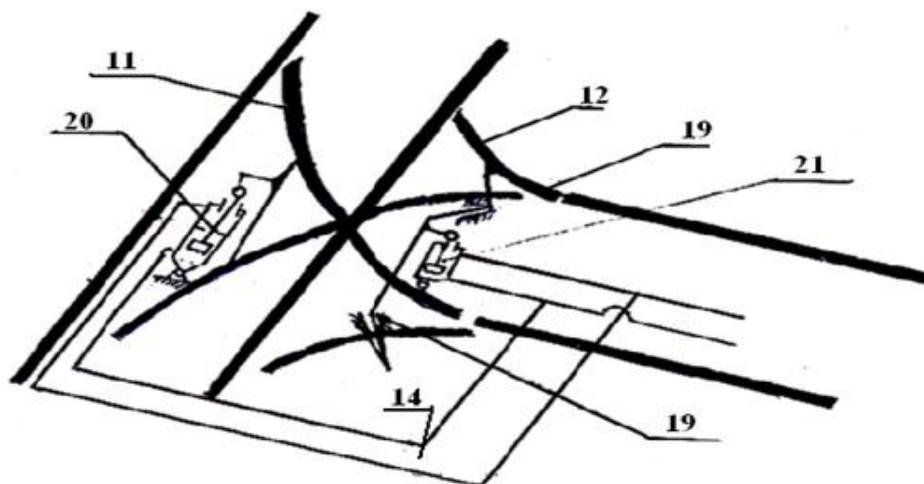


Рисунок 4.6 – Криволинейные участки базы манипулятора

Командная аппаратура, пульты управления, секционные электроблоки имеют хорошо воспринимаемую символику команд.

Поворот рабочего органа (стрелы манипулятора) в вертикальной плоскости осуществляется вертикальными гидродомкратами 60, 61 (рисунок 2.10).

Разработка автоматизированного адаптивно-программного управления манипуляционных систем, в которых важным фактором повышения эффективности является взаимодействие человека-оператора и диагностической технической системы с учетом опасности и сложности рабочих процессов, расширяет область применения комплекса КРС [50].

Таким образом, комплекс КРС по своим параметрам и конструкции основных сборочных единиц превосходит известный отечественный комплекс 2ОКП70.

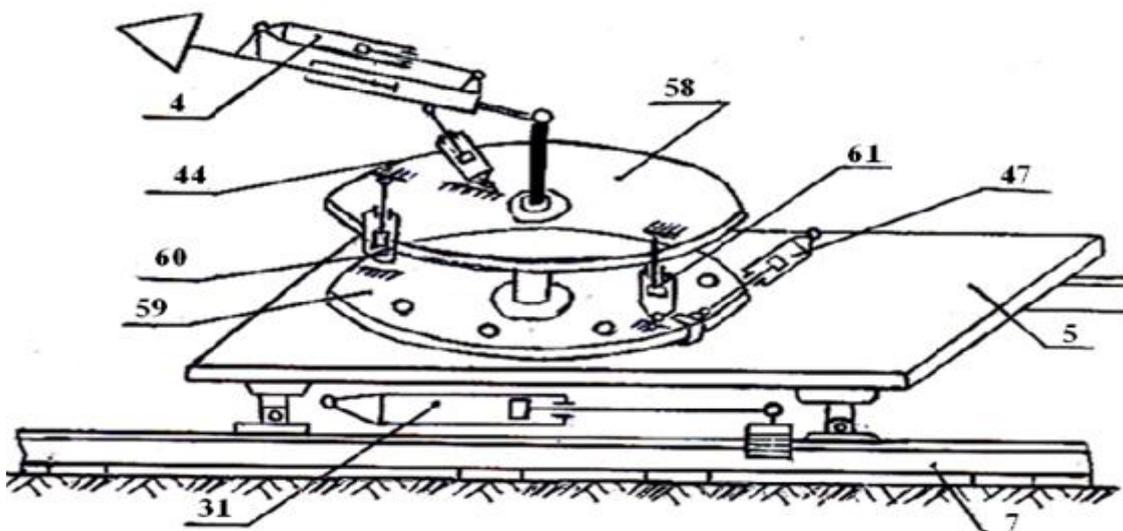


Рисунок 4.7 – Кинематическая схема ВМФ-5

### 4.3 Аппаратура управления робототехнологическим комплексом для селективной выемки угольных пластов

Создание эффективных средств управления очистными комплексами с целью обеспечения безопасных условий труда предполагает переход к использованию средств микропроцессорной техники. Аппаратура управления автоматизированным комплексом для селективной выемки угольных пластов должна обеспечивать сочетание ручного, местного, автоматического управления механизированными крепями и, выемочными манипуляторами, конвейерами по заданной программе. Дистанционное и автоматическое управление комплексом для селективной выемки позволяет вывести людей из забоя, повысить при этом производительность работы комплекса, так и обслуживающего персонала [38].

На этапе подготовки интерфейса к работе драйвер загружает в оперативную память интерфейса микропрограмму (коммуникационный модуль), которая и управляет преобразованием данных из формата работы в формат для передачи в программный модуль. Пример подключения ВМФ-5 по шине CAN приведен на рисунке 4.8.

Аппаратура управления и гидравлические приводы должны обеспечивать эффективную работу комплекса КРС с помощью:

- датчика контроля границы «уголь-порода», согласно рисункам 4.9, 4.10 (разработчик – кафедра физики КарГТУ);
- датчик ДМКК – датчик местонахождения манипуляторов, разрабатывающих пласты крутого падения (при разработке пластов с особо сложными условиями выемки);

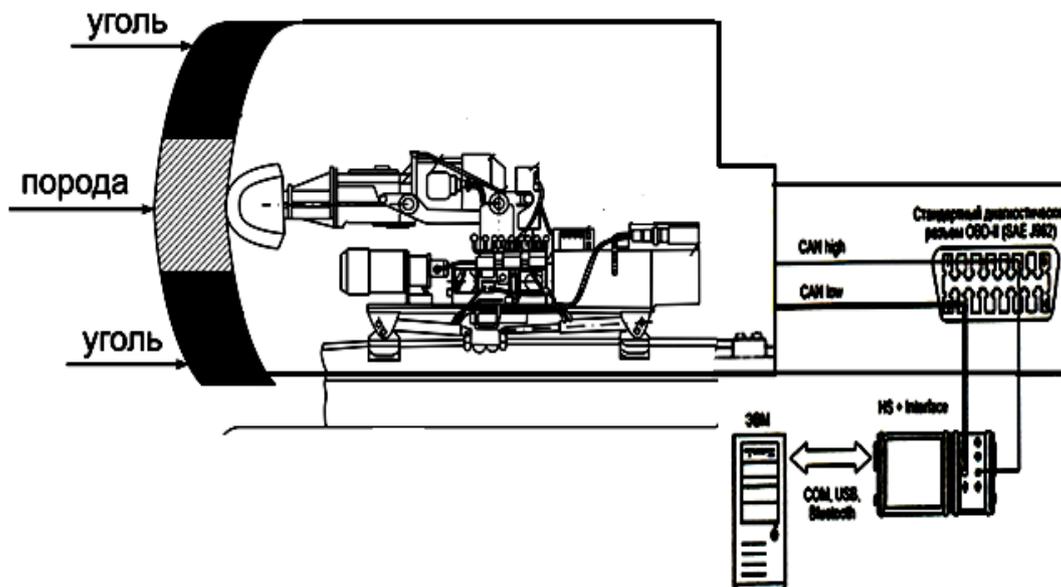


Рисунок 4.8 – Подключение к ВМФ-5 по шине CAN через интерфейс «HS+Interface»

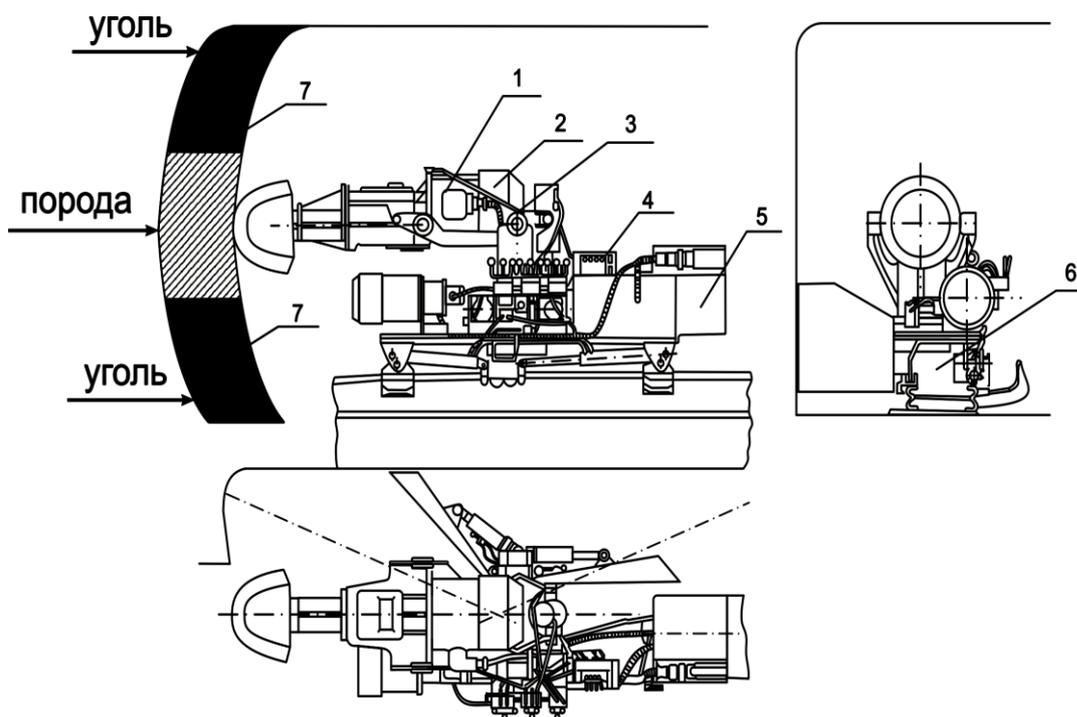


Рисунок 4.9 – Блок управления комплекса КРС: 1– исполнительный орган избирательного действия; 2 – опорно-поворотное устройство избирательного действия; 3 – гидродомкратный механизм подачи ВМФ (с зажимным устройством); 4 – пульт управления; 5 – маслобак с гидронасосом; 6 – забойный конвейер СКУ-45; 7 – блок датчика границы «уголь – порода»

- датчики конечных положений комбайнов (манипуляторов) – датчики положения унифицированного ряда ДПУ. Унифицированный ряд магнетогерконовых датчиков положения серии ДПУ (ДПУ1-40, ДПУ2-40, ДПУ1-100, ДПУ2-100) предназначен для контроля положения перемещающихся отдельных частей и механизмов в целом при выполнении различных технологических процессов;

- модернизированные датчики серии ДПУ( ДПГ1-40, ДПМГ2-40, ДПМГ2-100, ДПМГ1-100, ДПМГ1-200, ДПМГ2-200) предназначен для контроля перемещения контролируемого объекта (экрана) перпендикулярно к рабочей стороне или параллельно ей;

- датчики конечных положений секций крепи ДП на шаге передвижки. Датчик ДП-6 для контроля одного из крайних положений секций крепи; датчик ДП-7 для контроля переднего положения секций крепи и зоны неподвижки, равной 60 мин.

Аппаратура передачи и приема информации предназначена для приема информации от управляющего устройства, установленного на штреке; хранения информации; передачи информации к управляющему устройству.

В аппаратуру микропроцессорной системы управления входят:

- выдвижные платы;
- генератор тактовых импульсов;

- логика управления;
- плата 1: процессорный блок, буферы шины данных и адреса, контроллеры прямого доступа к памяти, прерываний, таймер;
- плата 2: оперативное запоминающее устройство, постоянное запоминающее устройство, параллельные программируемые интерфейсы ввода и вывода информации, схемы клавиатуры и индикации;
- плата 3: схемы сопряжения системы исполнительными механизмами и устройствами;
- плата 4: блоки гальванической развязки с датчиками, коммутационные ключи, логические схемы согласования, блок питания.

Д-электрометрический датчик границы уголь – порода; В-высокочастотный инфракрасный влагомер; КИ-канал измерений (автоматический мост типов Р5010, Р5028, импедансметр ВМ-507); ССД – схема сопряжения с исполнительными механизмами; ГДИО – гидродомкраты исполнительного органа; ГДПВ – гидродомкраты подачи манипулятора ВМФ-5; ГДПС – гидродомкраты поворота исполнительного органа; СУ – сигнал управления каналом измерения.

Управляющее устройство предназначено для выработки сигналов управления выемочным манипулятором приема информации, задающей работу выемочному манипулятору и крепи по программе.

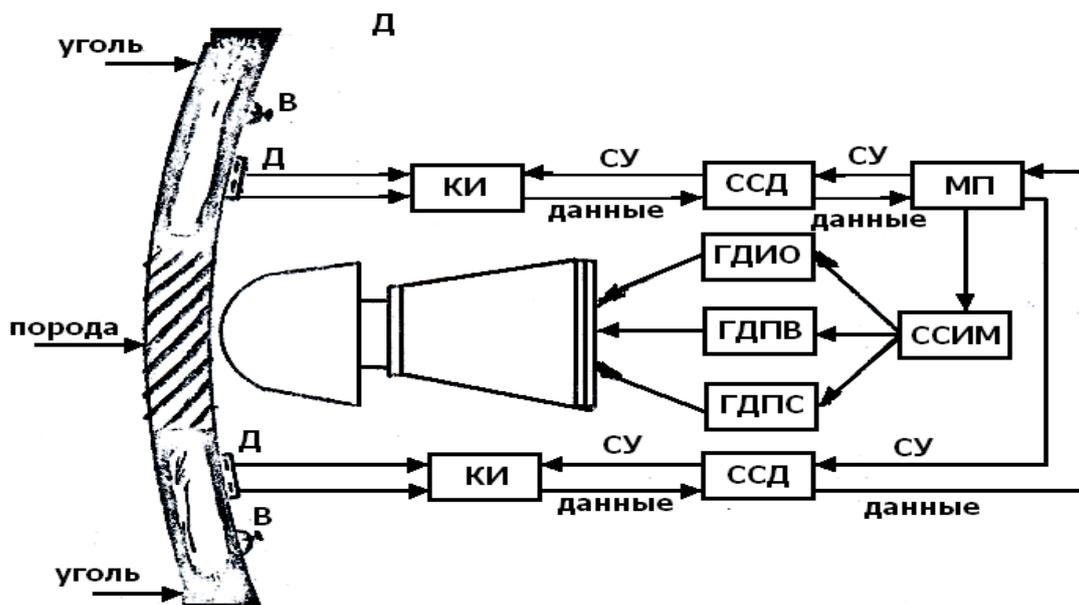


Рисунок 4.10 – Пояснения к позиции 7- блока датчика границы уголь порода

Конструирование аппаратуры управления выемочным манипулятором должно основываться на принципах функциональной организации. Система управления должна обеспечивать работу манипулятора в автоматическом режиме для всех способов обработки забоя и изменяться в зависимости от горно-геологических условий сменой ячеек ПЗУ.

Система управления конструктивно представляет собой стальной прямоугольный корпус в искровзрывобезопасном исполнении. На лицевой панели установлены приборы индикации, переключатели команд, клавиатура ввода информации, контрольные клеммы. В корпусе блока предусмотрены разъемный и два неразъемных кабельных ввода. Несущими конструкциями являются монтажные выдвижные печатные платы, предназначенные для размещения, конструктивного и электрического объединения, в герметичном корпусе системы управления размещаются четыре платы, источник питания, имеющий уровень взрывозащиты и искробезопасной электрической цепи узлов, монтажных проводов с фторопластовой изоляцией. Платы выдвижные имеют 96 контактов.

Аппаратура управления состоит из составных частей, данных в таблице 4.2.

Аппаратура управления должна размещаться во взрывобезопасных корпусах. Аппаратура управления крепью выполняется в виде блоков, размещаемых на секциях крепи. Управляющее устройство размещается во взрывобезопасном корпусе, который устанавливается на штреке.

Таблица 4.2 – Составные части аппаратуры управления

Наименование	Количество	Назначение
Аппаратура управления выемочным манипулятором	1	Автоматическое и дистанционное управление механизмом перемещения исполнительного органа и механизмом перемещения манипулятора. Автоматическое регулирование нагрузки манипулятора. Дистанционное управление забойными механизмами, обеспечение громкоговорящей связи по лаве и предупредительной сигнализации перед включением забойных механизмов
Аппаратура управления крепью	1	Автоматическое и дистанционное управление секциями крепи
Аппаратура передачи и приема информации	1	Прием информации от управляющего устройства, установленного на штреке. Хранение информации. Передача информации управляющему устройству
Управляющее устройство	1	Выработка сигналов управления выемочным манипулятором и крепью. Прием информации, задающей работу выемочной машинеманипулятору и крепи по программе.
Аппаратура управления реверсивным штрековым конвейером и складочно-дробильным хозяйством	1	Автоматическое и дистанционное управление в зависимости от технологического режима работы

Для аппаратуры управления коэффициент применяемости должен быть не менее 75 %.

Материалы, применяемые в манипуляторе, а также гибкие трубопроводы должны выдерживать нагрев до 55° и быть антикоррозионными и устойчивыми по отношению к рабочей жидкости.

Аппаратура передачи и приема информации размещается во взрывобезопасных корпусах совместно с аппаратурой управления, вся аппаратура должна быть выполнена на основе блоков с печатным монтажом и разъемами для оперативной замены в случае неисправности. Способ герметизации системы управления должен быть следующий. Кожух прибора уплотняется эластичными упругими прокладками. Заливка релейных контактов производится эпоксидным компаундом. Весь объем с избытком заполняется водостойкой смазкой (солидолом или техническим вазелином). При закрывании крышки кожуха излишки смазки выдавливают наружу. Платы 1 и 2 предварительно оборачивают полиэтиленовой пленкой.

Конструкция пультов управления манипуляторов и управляющего устройства должна обеспечивать надежную защиту органов управления от загрязнения. В аппаратуре управления узлы управления гидрораспределителями должны быть взаимозаменяемыми.

Для аппаратуры управления коэффициент применяемости должен быть не менее 60%.

Аппаратура должна быть унифицирована по составным частям с аппаратурой, серийно выпускаемой и вновь разрабатываемой заводами.

Пульты управления должны быть спроектированы с учетом расстояния от оператора до приборов на лицевой панели, которое не должно превышать 1,5-2,0 м. Конструкция аппаратуры должна обеспечивать удобство доступа к её элементам при монтаже, наладке и профилактических осмотрах.

На лицевых панелях пультов управления не должно быть излишне блестящих деталей, затрудняющих работу машиниста. Элементы отображения контролируемых параметров должны быть выполнены по цвету и яркости свечения, размерам и расположению с учетом разрешающей способности и цветовой чувствительности глаз при считывании информации.

Электрооборудование выемочного манипулятора должно быть выполнено на рабочее напряжение 660 или 1140 В с частотой сети 50 Гц.

Аппаратура управления должна работать в следующих условиях эксплуатации:

- допустимое воздействие климатических условий: температура окружающей среды от +1 до +40°С. Относительная влажность 80% при 25°С; атмосферное давление 88-121кПа (660-900 мм. рт. ст.); запыленность 50 мг/м<sup>3</sup> (ОСТ 12.48.118-79);

- допустимое воздействие механических нагрузок: вибрация 5-30Гц с амплитудой 0,1 мм;

- вид обслуживания – периодические осмотры;

- необходимое количество и квалификация обслуживающего персонала устанавливаются, согласно существующим нормам для ручных аппаратов, напряжением до 1000 В.

Входные цепи источников питания должны иметь токовую защиту плавкие вставки. При эксплуатации должны сохраняться все параметры безопасности источников питания, входные и выходные цепи монтируются на лицевой панели. Монтаж входных цепей источников

питания выполняется проводом, рассчитанным на напряжение 660В. Входные и выходные цепи блоков питания монтируются в эксплуатационных условиях шахтными гибкими или бронированными кабелями с диаметром кабеля не более 25 мм. Подключение потребителей к источнику осуществляется кабелем КПП.

Горные автоматические выемочные манипуляторы с другими элементами комплекса должны иметь совокупное дистанционное управление с выносного пульта с возможностью единого программного управления с использованием микроЭВМ. Для предохранения от самопроизвольного движения при обрыве тягового органа выемочные манипуляторы на углах падения свыше 9° должны иметь исполнение с автоматическими тормозными гидроцилиндрами.

Конструирование аппаратуры, управление комплекса КРС должно основываться на принципах функциональной организации. Система управления комплексом должна обеспечивать работу всего комплекса и его составных частей в автоматическом режиме для всех, режимов обработки забоя и изменяться в зависимости от горно - геологических условий сменой ячеек ПЗУ.

#### **4.4 Средства управления механизированными крепями очистных работ с использованием микропроцессорной техники**

Крепь основной части лавы ОКП70 предназначена для поддержания кровли в призабойном пространстве, защиты рабочей зоны от обрушения кровли и управления кровлей основной части лавы (рисунок 4.11).

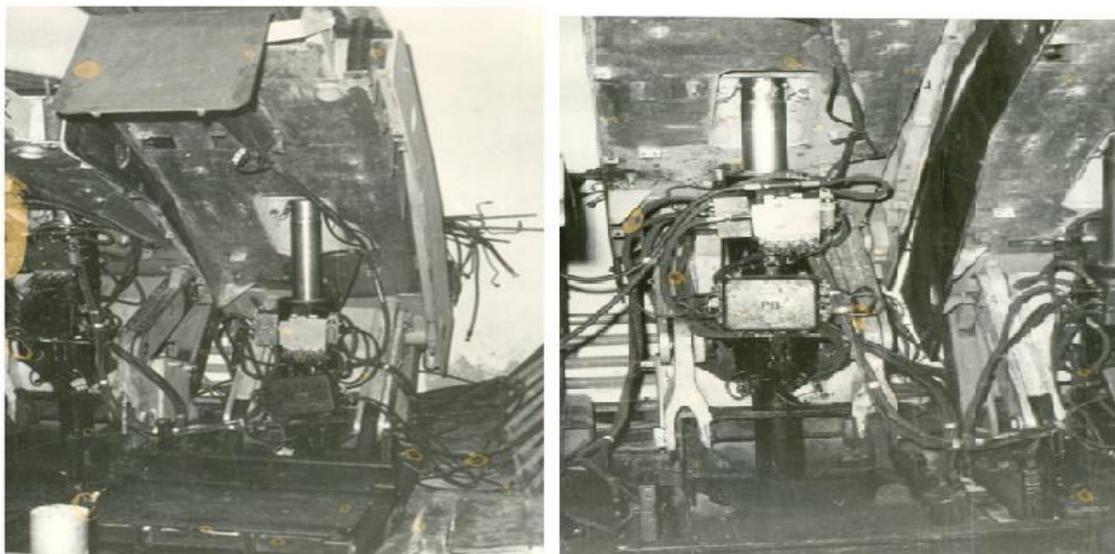


Рисунок 4.11 – Общий вид секций крепи

Исследования показали, что длительность операции по передвижке секций крепи в рассмотренных комплексах составляет от 30 до 40 % времени цикла передвижки крепи. С учетом другой, наиболее затратной по времени операции по групповому перемещению секций конвейера суммарные затраты времени, связанные с работой механизма передвижки, составляют 50 – 60% всего времени

перемещения комплекса. Таким образом, существенно сократить время на передвижку всего комплекса можно путем увеличения скорости перемещения цилиндра и штока гидродомкрата передвижки крепи.

Такой эффект может быть достигнут за счет замены насосной станции с производительностью 90 л/мин. на насосную станцию 120 л/мин. или за счет применения насосно-аккумуляторного привода передвижки.

Сравнение этих двух способов модернизация привода передвижки механизированного комплекса выполнено путем моделирования в среде программы «ADAMS-2003». При этом использовались две модели объекта: «крепь – привод передвижки» и «группа секций конвейера – привод передвижки» [38]. Особенность работы привода передвижки механизированного комплекса состоит в том, что в каждой секции крепи последовательно выполняется полный цикл ее передвижки (подтягивания), а передвижка конвейера осуществляется групповым способом – по 7-10 секций в каждой группе.

Первый этап передвижки группы секций (на этом этапе участвуют семь крайних секций конвейера) осуществляется при одновременном включении семи гидродомкратов. Конвейерная линия, передвигаясь, искривляется, причем секция 1 полностью передвигается на новую дорогу, секция 8 остается неподвижной, а все остальные занимают промежуточные положения.

По окончании первого этапа начинается второй этап передвижки, при этом к источникам питания подключаются гидродомкраты всех остальных секций, кроме пятнадцатой, которая остается неподвижной. Происходит перемещение секций 2-14, при этом частично передвинутые на первом этапе секции 2-7 подвигаются, секция 8 перемещается до упора, а остальные выдвигаются частично. В дальнейшем циклы передвижки секций конвейера повторяются до полного перемещения конвейерной линии на новую дорогу.

Управление крепью должно осуществляться по управляющим сигналам, вырабатываемым микроЭВМ. МикроЭВМ должна выдавать управляющие сигналы на группу секций. Управление секциями крепи в группе должно осуществляться микропроцессором. Микропроцессоры, управляющие группами секций крепи, устанавливаются в искровзрывобезопасные корпуса, размещаемые на базовой секции.

Подсистема управления крепью должна позволять устанавливать необходимый режим работы (выбор секции, передвижка, контроль над передвижкой секций и конвейера, контроль за предварительным распором стоек секций); повторять команду на передвижку секции, не выполнившей за заданное время цикл автоматической передвижки; устанавливать и при необходимости корректировать расстояние между секциями и выемочным манипулятором.

Система передачи и приема информации должна обеспечивать передачу управляющих сигналов и микропроцессорной системы управления крепью. Эта же система должна обеспечивать передачу информации о результатах управления на центральное управляющее устройство. Система передачи и приема информации должна иметь минимальное число жил, связывающих

между собой локальные системы управления и центральное управляющее устройство.

Устройство для удержания верхней пачки угля в крепях должно быть оснащено двумя гидродомкратами и шарнирными управляемыми козырьками, которые для крепи основной части лавы одновременно могут выполнять функцию по поддержанию обнаженной кровли вслед за проходом манипулятора.

Концевые секции крепи должны иметь обратные консоли для подвески и предохранения закладочного трубопровода с несущей способностью не менее  $25\text{кН/м}^2$  или содержать на ограждении боковые выпускные патрубки и управляемые козырьки с вырезами, служащие для создания и заполнения искусственных пустот в выработанном пространстве за крепью (рисунок 2.19). Кроме того, концевые секции должны снабжаться трамбовочным устройством для уплотнения закладываемой породной массы. Конструкция реверсивного штрекового конвейера на базе серийного конвейера СП87П должна обеспечивать надежную его работу при двухсторонней схеме его включения с транспортировкой как угля, так и породы. Для разбивки негабаритов на конвейере предусматривается применение дробилок серийного производства.

Закладочное устройство осуществляет транспортировку, дробление и пневматическую закладку породы в выработанное пространство лавы за секциями крепи М130 и включает в себя приемный бункер, дробильную закладочную машину, шнековое транспортирующее закладочное устройство, воздушодувку и шнековый и закладочный трубопровод.

Информация о состоянии секции крепи от датчиков переднего, заднего положений, предварительного распора через устройства выборки и хранения информации должна поступать на микропроцессорное устройство управления, которое в виде команд управления через блок обработки информации и распределитель сигналов управления крепью должно управлять электрогидравлическим клапаном управления (ЭКУ) секций крепи.

Техническая характеристика средств управления в Приложении Е.

#### **4.5 Микропроцессорная система автоматического управления механизированной крепью**

Микропроцессорная система управления комплексом состоит из штрекового контроллера на базе микроЭВМ в искробезопасном исполнении и локальных систем управления механизированными крепями, выемочным манипулятором, устройством закладки породы, конвейером, исполнительными механизмами и агрегатами.

Локальная система управления механизированной крепью включает линейные контроллеры, расположенные на одной из десяти секций механизированной крепи. Питание контроллера осуществляется от переменного напряжения 127 В для светильников. Каждый линейный контроллер комплекса управляет и контролирует состояние группы секций крепи. Штрековый контроллер размещен на вентиляционном штреке совместно с комплектным устройством управления СУБ-350А комплекса 2ОКП70К. Устройства

электрогидравлического сопряжения выполнены на основе электрогидрораспределителя РМ1 и блока ПУМК с картой программного управления, разработанного для комплекса. Запрограммировано 13 операций в режиме автоматической передвижки секций.

Выполняемые операции управления в автоматическом режиме следующие (13 операций):

- распор секций;
- складывание щита ограждения;
- передвижка конвейера;
- разгрузка секции;
- выдвжка секции;
- распор секции с гарантированным давлением в секции;
- выдвжка кожуха перекрытия;
- сокращение кожуха перекрытия;
- выдвжка секции с активным подпором козырька;
- выдвжка секции с активным подпором стойки;
- разворот секции;
- раскрытие противоотжимного щита;
- пассивная выдвжка конвейера.

Устройство управления комплексом состоит из локальных устройств и подсистем.

Управление секциями механизированной крепи типа 2ОКП70К осуществляется по сигналам, вырабатываемым микропроцессорным контроллером (рисунок 2.20), построенным на базе процессора серии РМ-32. Система тактируется генератором Г, выдающим синхросерии Ф1 и Ф2, и сигналами синхронизации. Блок памяти центрального процессора (ЦП) включает постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), работа которых с ЦП организована по шинам адреса, данных и управления, поступающего от системного дешифратора (ДШС). Через параллельный программируемый адаптер (ППА) производится управление магнитными пускателями (МП). Для гальванической развязки сигналов микро-ЭВМ и МП введены блок реле (БР) и согласующий усилитель (СУ2).

Гидравлическая система секции крепи позволяет осуществлять на запрограммированном расстоянии по сигналам датчиков и командам оператора автоматическое управление с электроблоков секции крепи (рисунок 2.19). Разгрузка стоек, подача рабочей жидкости в гидродомкрат передвижки секции осуществляется блоком устройств управления секцией крепи. Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность её с процессом выемки обеспечивается за счет применения серийно выпускаемых электрогидроклапанов, датчиков положения, аналогов, информации и контроля секций крепи, устройств диагностики.

Гидродомкраты предназначены для сопряжения с электрогидравлической схемой управления и автоматического управления секциями механизированной

крепи, при выдвижении и обратном ходе штока (цилиндра) на ход, заданный программно.

Гидродомкраты, управляемые электрическими сигналами (рисунок 4.12), имеют встроенные датчики положения, состоящие из герконов и взаимодействующих с ними постоянных магнитов. Герконы вмонтированы в плату, содержащую шифратор, собранный на диодах, и установлены в гильзе, закрепленной внутри цилиндра, а постоянные магниты вмонтированы в теле втулки из немагнитного материала. Сама втулка устанавливается в полости штока.

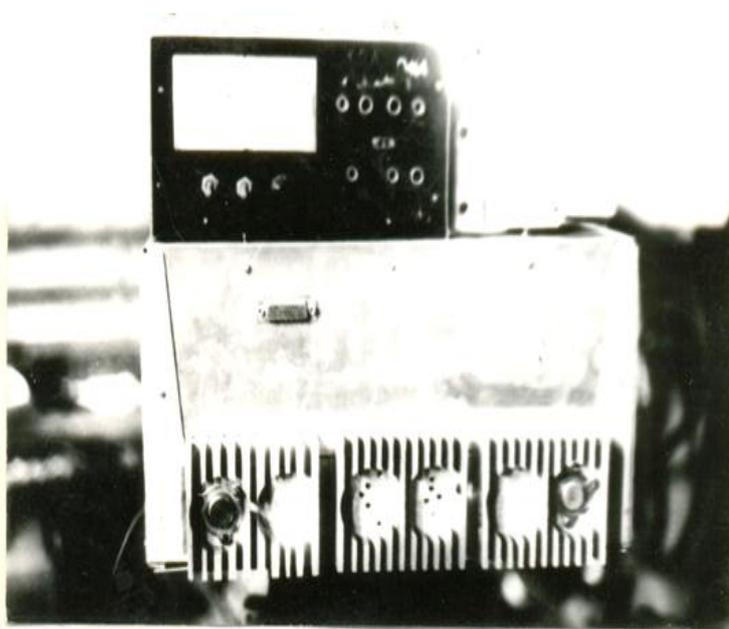


Рисунок 4.12 – Аппаратура управления секциями механизированной крепи

При раздвижке гидродомкрата постоянные магниты, взаимодействуя с герконами, способствуют определению хода раздвижки с точностью до  $\pm 10$  мм. Количество проходов в жгуте равно 6. Шаг квантования 20 мм.

#### 4.6 Линейный контроллер

Линейные контроллеры выполнены на базе однокристальной ЭВМ (ОЭВМ) серии РМ-4 (Приложение Ж). Контроллер подключен к системной шине через двунаправленный порт *DB*, тактируется с помощью встроенного тактового генератора с последовательной резонансной схемой на кварце  $Z_1$  и конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$ . Конденсатор  $C_3$  служит для выработки сигнала «сброс». ППЗУ выполнено на микросхемах РМ-4, (D6), подключаемых к системной шине при помощи буферного регистра (D5) фиксирующего адрес устройства обращения ОЭВМ (D4) на время обращения, сигналом ALE, буферированным микросхемой D1. усиливает также сигналы T (выдает тактирующую последовательность для D1 контроллера, WR и RD. Адресация встроенных контроллеров D23, D24, D25, D36, D27 и ППЗУ производится

одиннадцатиразрядной шиной адреса (старшие 3 разряда шины выдаются портом на время действия сигнала ALE), дешифратором на микросхемах D2.2; D1Q; D12.1; D11; D14 и сигналами RD и WR, т.е. контроллеры подключены к области расширения ОЗУ.

Датчики давления D25 (DD1...DD40) подключаются к схеме аналого-цифрового преобразователя (DA1, DA2, DA3), выполненного на микросхемах и коммутаторами DA4...DA12. Цифровой код с аналого-цифрового преобразователя поступает на порт P1 ОЭВМ (J4), опрашиваемый в ходе выполнения программы.

Передача и прием данных в линейный штриховый контроллеры осуществляется в последовательном коде, формируемом последовательным связным адаптером D23, работающим с приемником и передатчиком D25 K170УП1; D24 – K170АП1. Разрешение работы микросхемам D25; D24 выдается на порт P2 (разряды P24, P25).

Скорость передачи-приема информации по последовательному каналу связи устанавливается программно. Синхронизация приема-передачи производится делителем опорной частоты (D3).

Ввод данных от шифраторов, клавиатуры, ввод управляющих воздействий производится контроллером клавиатуры и дисплея D26.

Сигналы сканирования клавиатуры и дисплея дешифрируются (D27) и используются для выбора регистров D29...D39, разрядов цифрового индикатора и регистров D29...D39, разрядов цифрового индикатора и регистров D15...D22. В регистры D29...D39 записываются выводимые с D29 (выводы DSPA DSPB) и усиленные шинным формирователем управляющие слова, разряды управляющих слов усиливаются транзисторными ключами A1...A40, коммутирующими обмотки электрогидроклапанов YA1...YA40. Аналогично производится запись в разряды индикатора.

В регистры D16...D22 записывается информация шифраторов датчиков положения гидродомкратов и от пульта оператора.

Контроллеры D23 и D26 вызывают прерывания. Система прерываний реализована следующим образом. Для исключения неопределенного состояния на выводе INT ( D26 ) воспринимаемом как уровень «1» до программирования контроллера D26, собраны схемы D52, D23. Прерывание (при его разрешении) наступает при возникновении запросов по выходу INT (D26) или RxRDY (D23). Источник прерывания идентифицируется программно, с анализом состояния на входе T1 (D4).

Система управления для автоматизации механизированных крепей применяется выпускаемыми ПО «Каргормаш» 2ОКП70К, КМ130, УКП.

В таблице 4.3 представлены основные устройства и аппаратура управления.

Таблица 4.3 – Основные устройства и аппаратура управления

Наименование	Показатель
Механизированные крепи 2ОКП70К	2 секции
Механизированные крепи МК75	2 секции
Микропроцессорные управление автоматического	1 комплект

управления секциями (линейный контроллер)	
Источник питания	±5, +12,+36
Датчик положения ДПМГ-2-40	12 штук
Датчик положения, встроенный в гидроцилиндр	1 штука
Станция насосная СНУ-5	1 штука
Пускатель ПВИ125Б	1 штука

Электрическое оборудование – до 1000В. Внешняя отделка соответствует в целом ГОСТу 14524-80.

В состав линейного контроллера системы управления входят следующие блоки:

- плата центрального процессора с интерфейсом ввода и вывода;
- плата схемы сопряжения с исполнительными механизмами и датчиками;
- блок питания ±5, +12,+36;
- перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство (ППЗУ) на микросхеме РМ-4 с программой управления;
- корпус микропроцессорной системы управления.

Программа управления секциями механизированной крепи, записанная в ППЗУ, в автоматическом режиме осуществляет следующие операции:

- выбор объекта управления;
- имитация передвижки конвейера;
- опускание стойки и козырька секций крепи;
- передвижка секций;
- распор секций; передача управления исполнительным устройством на соседнюю секцию.

По сравнению с существующими зарубежными средствами управления механизированными крепями данная система имеет следующие показатели: энергопотребление, помехозащищенность и точность хода (до ±10), габариты, адаптация к изменению условий работы, перепрограммируемость, возможность автоматического управления секциями механизированной крепи.

#### **4.7 Электрооборудование. Штрековый контроллер**

Электропитание линейных и штрековых контроллеров осуществляется от шахтной осветительной сети (приложение Ж, И) (АПШ-2). Для разветвления кабеля в случаях большой удаленности энергоприемников по токам КЗ используются автоматические шахтные выключатели, устанавливаемые на 40-й и 60-й секциях.

Каждый линейный контроллер управляет и контролирует состояние 10-и секций крепи. Линейные контроллеры размещаются через каждые 10 секций крепи, начиная от последней секции под номером 93.

Штрековый контроллер размещен на вентиляционном штреке совместно с комплектным устройством управления СУВ-350А.

Штрековый контроллер построен на базе МП серии РМ-4. Центральный процессорный элемент РМ-32 тактируется системным генератором

(Д1), который также формирует сигналы «сброс» и «готовность». Шины микропроцессора, не обладающие большой нагрузочной способностью, усиливаются буферами Д5, Д6, Д8 и системным контроллером Д4.

Системный контроллер формирует также сигналы управления  $\overline{WD}, \overline{RD}$ . Сигналы выбора контроллеров ОЗУ, ПЗУ формируются дешифратором адресов на микросхемах Д9, ДТ9. Схемы ввода-вывода реализованы аналогично схемам ввода-вывода линейного контроллера.

Автоматизированная система управления механизированной крепью содержит две подсистемы: электронную и гидравлическую.

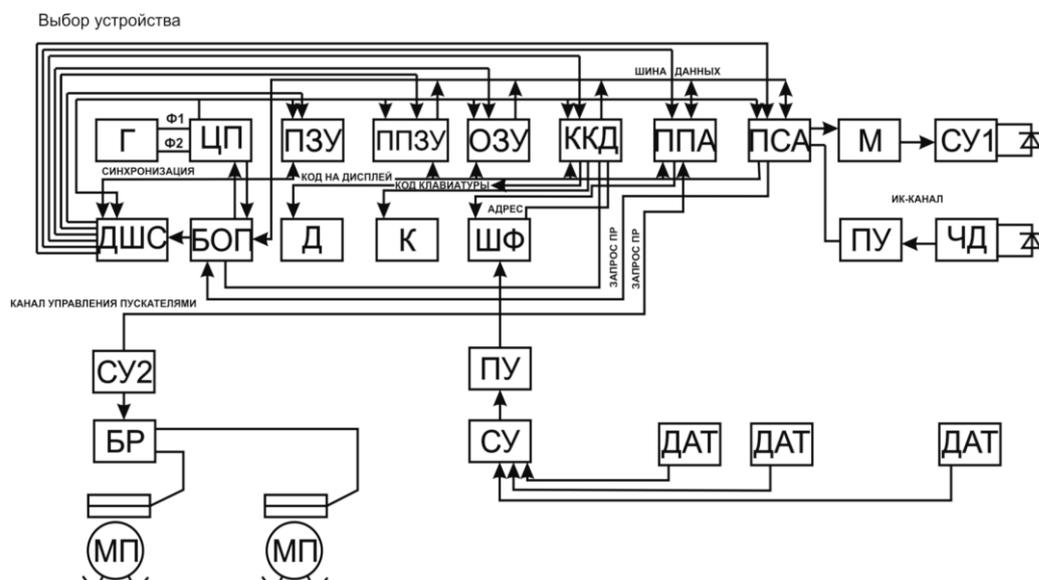
Электронная часть позволяет управлять крепью как в программируемом режиме, так и дистанционно.

Гидравлическая часть в программируемом режиме и дистанционном режиме находится в подчиненном положении. В режиме ручного управления обладает относительной автономностью на секциях крепи.

Управление крепью осуществляется сигналами, вырабатываемыми штрековой микроЭВМ (рисунок 4.13), построенной на базе процессора серии РМ-4.

Функционирование системы определяется тактовым генератором Г, выдающим синхросерии Ф1 и Ф2, сигналами синхронизации. Штрековая микроЭВМ содержит внутренние контроллеры, через которые осуществляется взаимодействие с линейными контроллерами (рисунок 2.20), управляемыми механизмами и оператором.

Контроллер клавиатуры и дисплея (ККД) обеспечивает вывод информации на дисплей (Д) и связь с клавиатурой (К) и матрицей датчиков (ДАТ) через согласующий усилитель (СУ), преобразователь уровней логических сигналов (ПУ) и шифратор (ШФ). Через параллельный программируемый адаптер (ППА) производится управление магнитными пускателями (МП). Для гальванической развязки сигналов микроЭВМ и МП введен блок реле (БР) и согласующий усилитель (СУ2).



#### Рисунок 4.13 – Штрековая управляющая машина

Схема взаимодействия микроЭВМ с линейными контроллерами осуществляется через программируемые адаптеры по инфракрасному каналу (ИК-канал), включающему в себя передатчик (модулятор М, согласующий усилитель СУ2 и светодиоды ИК-диапазона) и приемник (фотодиоды, частотный детектор ЧД и преобразователь уровней логических сигналов ПУ). Взаимодействие контроллеров производится по шинам адреса данных и управления ВУ через блок прерываний (БОП).

Конструкции крепей основной и закладочной части лавы должны обеспечивать передвижку забойного конвейера с основания крепи к груди забоя, а также временное поддержание обнаженной кровли непосредственно за рабочим органом (резцовой коронкой) манипулятора на минимальном расстоянии до 2 м за счет использования устройства для удержания верхней пачки угля.

Концевые секции крепи должны иметь обратные консоли для подвески и предохранения закладочного трубопровода с несущей способностью не менее 25 кН/м<sup>2</sup> или содержать на ограждении боковые выпускные патрубки и управляемые козырьки с вырезами, служащие для создания и заполнения искусственных пустот в выработанном пространстве за крепью. Кроме того, концевые секции должны снабжаться трамбовочным устройством для уплотнения закладываемой породной массы.

Крепи сопряжения должны обеспечивать компактность размещения забойного оборудования в концевых частях лавы. Отдельные конструктивные изменения крепи, нижнего сопряжения окончательно будут уточняться в процессе разработки конструкции.

С целью согласования скоростей при совмещении движений манипулятора в различных режимах обработки забоя необходимо предусмотреть применение гидрораспределителей с регулируемым расходом по каждой степени подвижности исполнительного органа.

Для обеспечения горизонтального разворота исполнительного органа выемочного манипулятора на 180° опорно-поворотный механизм должен иметь гидропривод с двумя гидродомкратами и зажимами-фиксаторами, работающими одновременно в разных направлениях по специальному направляющему диску на турели.

Конструкция секции крепи и электрогидравлическая система управления должны позволять осуществление на запрограммированном расстоянии от выемочного манипулятора по сигналам датчиков или командам оператора автоматическое управление с электроблоков, расположенных на секциях крепи.

Разгрузки стоек, подача рабочей жидкости в гидродомкрат передвижки секции должны осуществляться блоком устройств управления секцией крепи. С пульта управления оператор комплекса должен иметь возможность устанавливать режим управления комплексов (ремонтный, дистанционный, автоматический).

Устройство для удержания верхней пачки угля в крепях должно быть оснащено двумя гидродомкратами и шарнирными управляемыми козырьками, которые для крепи основной части лавы одновременно могут выполнять функцию по поддержанию обнаженной кровли вслед за проходом манипулятора.

Гидравлический бесцепной механизм подачи манипулятора должен включать в себя по два гидродомкрата подачи и зажимных устройства, зацепляющихся с круглой направляющей забойного конвейера. Согласованная работа системы подачи должна обеспечиваться датчиками контроля конечных положений по управляющим сигналам, вырабатываемым микропроцессорами.

Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность её с процессом выемки обеспечиваются за счет применения электрогидроклапанов типа ПУМК конструкции КарГТУ датчиков положения и контроля секции крепи, реле давления типа РД и управляющих сигналов от микропроцессоров.

Перемещение забойного конвейера в зависимости от кривизны и положения секции крепи осуществляется применением датчиков прямолинейности конвейера и получающих сигналы управления от микропроцессоров.

Электрооборудование комплекса должно быть выполнено на рабочее напряжение 660 или 1140 В с частотой сети 50 Гц.

Выемочный манипулятор должен включать один электродвигатель гидронасоса мощностью 14 кВт и один электродвигатель исполнительного органа мощностью 32 или 46 кВт. Конвейер СКУ-45 должен иметь один или два электродвигателя мощностью каждый не менее 110 кВт.

Конструирование аппаратуры управления комплекса должно основываться на принципах функциональной организации. Система управления комплексом должна обеспечивать работу всего комплекса и его составных частей в автоматическом режиме для всех режимов обработки забоя и изменяться в зависимости от горно-геологических условий сменой ячеек ПЗУ.

Локальные системы управления строятся на основе применения микропроцессоров. Управление локальными системами осуществляется от микро – ЭВМ.

Локальная система управления выемочным манипулятором должна обеспечивать выполнение следующих операций:

- автоматическое управление манипулятором по сигналам управляющего устройства, установленного на штреке. Управляющее устройство выполняется на базе микроЭВМ;

- автоматическое управление исполнительным органом манипулятора по мощности пласта в соответствии с заданной программой;

- автоматическое управление движением исполнительного органа в горизонтальной плоскости по заданной программе;

- автоматическое управление перемещением манипулятора по направляющей;

- контроль границы «уголь – порода» и передача информации на центральное управляющее устройство;

- стабилизация заданного значения тока электродвигателя манипулятора путем автоматического изменения скорости перемещения исполнительного органа и манипулятора в целом. Точность поддержания заданного тока должна быть не менее  $\pm 12\%$ ;
- стабилизация заданной скорости перемещения исполнительного органа при недогруженности электродвигателя;
- контроль над перемещением манипулятора и передача информации на центральное управляющее устройство;
- уменьшение скорости перемещения исполнительного органа до нуля при длительных перегрузках электродвигателя;
- фиксация нулевой скорости подачи манипулятора и нулевой скорости перемещения исполнительного органа;
- автоматическое отключение через 2,2 с ( $\pm 0,3$ ) пускателя манипулятора после «опрокидывания» или несостоявшегося запуска электродвигателя;
- дистанционное включение и выключение пускателя двигателя манипулятора;
- дистанционное включение и выключение пускателя конвейера;
- дистанционное отключение автоматического фидерного выключателя;
- дистанционное управление предохранительной лебедкой;
- ограничение заданного угла качания исполнительного органа манипулятора в вертикальной и горизонтальной плоскостях;
- автоматическая подача предупредительного сигнала перед включением пускателя манипулятора или забойного конвейера;
- двухсторонняя, симплексная, громкоговорящая связь в лаве как при наличии напряжения на участке, так и при его отсутствии;
- автоматический контроль прохождения предупредительного сигнала и состояния цепей предупредительной сигнализации;
- нулевая защита манипулятора;
- защита от замыкания в цепях управления;
- искробезопасность цепей управления предупредительной сигнализации и громкоговорящей связи;
- блокировка, исключающая возможность одновременного включения конвейера с разных пультов управления;
- блокировка, позволяющая при необходимости включать конвейер или машину без предварительной подачи предупредительного сигнала.

#### **4.6.1 Гидравлическая система секции крепи 2ОКП70К**

Гидравлическая система секции крепи должна позволять осуществление на запрограммированном расстоянии по сигналам датчиков или командам оператора автоматическое управление с электроблоков, расположенных на секциях крепи (Приложение К).

Разгрузка стоек, подача рабочей жидкости в гидродомкрат передвижки секции осуществляется блоком устройств управления секцией крепи. С пульта

управления оператора устанавливает режим управления (автоматический; местный, ручной, ремонтный).

Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность её с процессом выемки обеспечивается применением серийно выпускаемых электрогидроклапанов, датчиков положения, аналоговой информации контроля секций крепи, устройств диагностики.

Гидравлическая схема секций крепи реализуется серийно выпускаемой электрогидроаппаратурой.

На основании аналитического исследования разработаны конструкции, позволяющие совместить ручное и автоматическое управление.

Схема гидравлическая принципиальная содержит ручное и автоматическое управление секцией крепи (2ОКП70К).

В составе схемы распределитель (А), блок замков (БЗ), гидроблок (ГБ177.ГБ5, ГБ6), индикатор давления (ИД), краны (КН1...КН5), отсекатели (О1...О8), датчик давления Д26 (Д1...Д13), электрогидроклапан РМ1 (КЭ1..КЭ6), подпорный клапан (ПК), блок гидроуправляемых золотников РУ16-12Б, датчик положения (ДП1...ДП5), трехпозиционный реверсивный золотник 64Г12-32 (Р1...Р9), двухпозиционный реверсивный золотник 54Г72-32 (ПЗ), гидроцилиндры (Ц1... Ц5,Ц7...Ц11), гидростойка (Ц6).

При ручном управлении крепь работает с отключенной автоматикой. Включенным остается только электрогидроклапан КЭ1 в положении «открытый», который соединяет магистраль «напор» с распределителем А.

В автоматическом режиме электромагнитный клапан КЭ1 переключается в положение «закрыто». В этом положении гидромагистраль «напор» отсекается от распределителя А. Затем переводят электрогидроклапан КЭ2 в положение «открыто», и с магистрали «напор» рабочая жидкость подается на блок гидроуправляемых золотников РУ16-12Б. Гидравлическая система подготовлена для работы в автоматическом режиме.

Гидравлические потоки переключаются блоком РУ16-12Б, коммутация которого осуществляется электрогидроклапанами РМ-1 на управляющие гидроцилиндры крепи.

Штоки гидростоек и гидроцилиндров имеют вдоль центральной оси канал круглого сечения, глухой с одной стороны и открытый – с другой, а также цилиндрическую выточку в штоке с пазом под пружинную шайбу. В канал помещен датчик, фиксирующий линейное положение штока при его выдвижении или сборке. Конец датчика положения, помещенного в шток, свободен, а противоположный конец наглухо заделан в торец гидроцилиндра (стойки). Лишь для вывода сигнальных проводов с датчика просверлен канал, не нарушающий герметичности гидроцилиндра (гидростойки). В цилиндрическую выточку помещен кольцевой магнит, воздействующий своим постоянным магнитным полем на герконы, находящиеся внутри датчика положения. Так как шток стальной, то с целью исключения рассеяния магнитного поля в штоке магнит вставлен во втулку из диамагнитного или ферромагнитного материала. При этом позволяет в случае диамагнитной втулки частично изолировать магнитное поле от стали штока, а в случае ферромагнитной втулки сконцентрировать поле в

магнитопроводе втулки в силу разной магнитной проницаемости стали и феррита. Со стороны открытой части канала магнит запирается диамагнитной и ферромагнитной шайбой пружинной шайбой, помещенной в выточенный паз, что исключает выпадение магнита при работе гидроцилиндра (Приложение К).

Работа гидрооборудования в ручном и автоматическом режиме управления секцией Оборудование ручного режима описано в работе [30, 50]. Работа гидрооборудования при автоматическом режиме управления производится по следующим этапам (Приложение М).

При переводе секций на автоматизированный режим, прежде всего отключается магистраль напора от ручного распределителя и прерываются подводные магистрали к кранам КН1... КН5 переключением золотниковых переключателей ПЗ1 и ПЗ2, что гарантирует произвольное срабатывание секций, так как переключатель А1 и крана КН1... КН5 находятся как во включенном, так и в выключенном состоянии. Таким образом, отсекается цельностью от напорной магистрали оборудование для ручного управления. Через подпорные клапаны ПК1 и ПК2 водомасленная эмульсия подается на электрогидроклапаны РМ1 и золотниковые распределители СНТ72-32, находящиеся в закрытом состоянии. Посредством электрогидроклапанов РМ1 подбирается комбинация отверстий на золотниковом дешифраторе РУ16-12Б, который распределяет гидравлический сигнал на тот или иной золотниковый распределитель. Посредством золотниковых распределителей Р1...Р9 производится отключение или переключение поршневых и штоковых полостей гидроцилиндров. Переключатель Р1 определяет работу гидроцилиндра Ц9, а Р2 – гидроцилиндра Ц8. К тому же они спарены, что позволяет посредством их одновременного включения осуществлять выдвигку или сборку Ц8 и Ц9 одновременно. Распределитель Р3 определяет работу гидроцилиндра Ц5, а Р4 – работу гидростойки Ц6. Распределитель Р5 связан с гидроцилиндрами Ц1 и Ц2, а Р6 – с гидроцилиндрами Ц3 и Ц4, РГ определяет работу гидроцилиндра Ц7, Р8 связан с гидроцилиндром Ц11, а Р9 – с гидроцилиндром Ц10.

Приведенная принципиальная гидросхема позволяет переключать как отдельные гидроцилиндры, так и группы гидроцилиндров.

Дополнительное гидрооборудование монтируется на секции, так же, как и гидрооборудование ручного управления, только на отдельном кронштейне в виде открытого с одной стороны металлического шкафчика или металлической плиты.

Перед началом работы все соединения в гидравлической части проверяются на герметичность. Рукоятки всех блоков ручного управления в нейтральном положении. Положение распределительных золотников нейтральное. Положение штоков гидроцилиндров и гидростойки определяется по сигналам на пульте от датчиков положения и датчиков давления.

*Гидравлическая схема управления линейной секцией.* С целью совмещения ручного и автоматизированного управления линейной секцией разработано несколько вариантов гидравлической схемы управления.

За основу взято гидравлическое оборудование, имеющееся на выпускаемой секции, с некоторой его доработкой.

С целью контроля перемещения штоков, гидроцилиндров щита ограждения, козырька, гидростойки и разворота секций в токах этих узлов имеется продольный канал, куда закрепляется кольцевой магнит и помещается датчик положения соответственной длины.

Убранное положение кожуха перекрытия контролируется посредством датчика ДД5.

Совмещения ручного и автоматизированного управления секцией представлены в следующих основных вариантах:

- ручное и автоматизированное управление разработано в виде нового узла управления;

- автоматизированный узел управления встроен параллельно существующему ручному узлу управления крепью.

В ручном режиме управление блоков золотниковых переключателей осуществляется с помощью кранов КН1...КН4 непосредственно с напорной магистрали.

В автоматическом режиме электрогидравлический клапан РМ1, КЭ5 отсекает напорную магистраль от кранов ручного управления посредством подачи управляющего давления на клапан защиты КЗ1...КЗ4, что исключает оставление ручных кранов КН1...КН4 в рабочем состоянии (например, если они не отключены). Наличие или отсутствие управляющего давления контролируется датчиком давления ДД6. Избыток водомасляной эмульсии с целью поддержания постоянного давления в магистрали управления, сливается через предохранительный клапан ПК, отрегулированный на соответствующее давление. Регулируемый расход в магистраль управления осуществляется через дроссель с клапаном ДР и клапаны подпора КП.

Управление золотниковых переключателей ЗП (РУ16-12Б) осуществляется включением или отключением автоматических блоков управления соответствующих электрогидроклапанов КЭ1...КЭ4 (РМ1), являющихся в автоматизированном режиме аналогами ручных кранов управления. Наличие сигналов управления в магистралях управления золотниковым переключателем контролируется датчиками давления ДД1...ДД4.

Клапан электрогидравлический КЭ6 (РМ1) служит для снятия управляющего сигнала с клапанов защиты (сброс давления с клапанов КЗ1...КЗ3).

*Научные основы расчета кинематических и силовых параметров на рабочем органе выемочного манипулятора ВМФ.*

Конструктивной особенностью машины, обеспечивающей фронтально-избирательную технологию выемки угля, является оснащение ее манипулятором: стреловидным исполнительным органом с режущей коронкой в качестве рабочего органа (использовались стрела от проходческого комбайна ПК-3р и коронки от комбайнов ПК-3р и ГПК), шарнирно прикрепленного к турели. Манипулятор с помощью поворотного устройства, состоящего из домкратов поворота и зажимов и кинематически связанного с шарнирно прикрепленным к турели поворотным диском, может поворачиваться в горизонтальной плоскости на 360°. Вращение в вертикальной плоскости обеспечивается домкратами подъема и опускания стрелы, прикрепленными к стреле и турели. Поворот

манипулятора в горизонтальной плоскости позволяет устанавливать рабочий орган под таким углом к груди забоя, который обеспечивает при заданных размерах корончатого рабочего органа необходимую ширину захвата. Вращение манипулятора в вертикальной плоскости обеспечивает выемку угля по всей мощности пласта. Подача машины вдоль линии забоя, осуществляемая бесценным механизмом подачи, позволяет вести циклическую отбойку угля по всей длине лавы. Таким образом, манипулятор фронтально-избирательного действия при трех степенях свободы обеспечивает отработку забоя по всей площади при заданной ширине захвата.

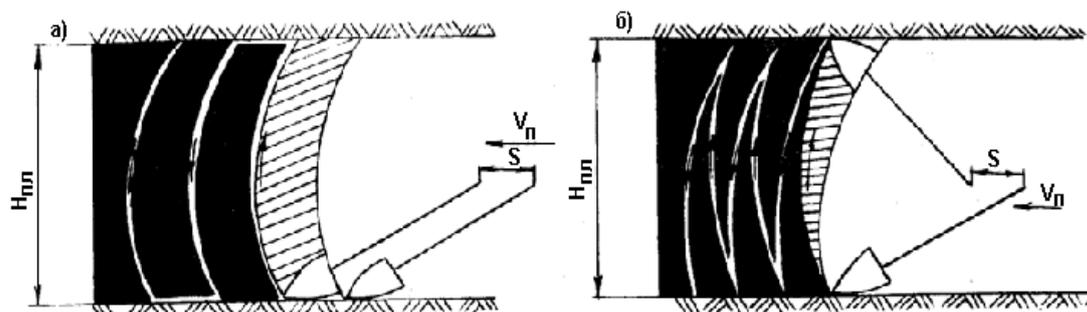


Рисунок 4.14 – Способы обработки забоев выемочным манипулятором: а - циклический способ; б - непрерывный

При этом обрабатывать забой можно двумя способами. Первый способ (рисунок 4.14, а) заключается в том, что при подаче машины вдоль забоя происходит внедрение коронки манипулятора на всю ее длину у почвы или у кровли, а затем при вертикальном качании манипуляторов, но уже без подачи машины осуществляется отбойка угля по всей мощности пласта. Этот способ обеспечивает максимальную нагруженность рабочего органа манипулятора за одно качание стрелы, но требует согласования во времени двух последовательных операций: внедрение коронки и качание манипулятора. При этом способе обработки забоя возможно внедрение рабочего органа только внизу (или только вверху), тогда после одного качания манипулятора необходим холостой перегон рабочего органа последующего внедрения: можно осуществлять внедрение последовательно у почвы и у кровли, что исключает холостые перегоны.

Второй способ (рисунок 4.14, б) характеризуется совмещением двух операций: внедрение коронки вдоль забоя и отбойка угля по высоте забоя за счет одновременной подачи машины вдоль забоя качания манипулятора в вертикальной плоскости. В результате одного движения манипулятора вынимается серповидная стружка угля, рабочий орган в процессе выемки не дозагружается (резцы рабочего органа постепенно включаются в резание, по мере внедрения коронки – в массив), но достигается поточность технологии. Такой способ невозможно применять при ручном управлении, так как необходим высокий уровень согласования подачи машины и качания манипулятора.

Первый способ выемки был опробован на машинах ВМФ-1, ВМФ-2, ВМФ-4 и является основным при работе машины данного типа. Недостатком данных двух способов является ограниченность ширины захвата рабочего органа (ширины вынимаемой полосы угля при работе по длине лавы). Она ограничена длиной рабочего органа (с учетом угла установки манипулятора к забою). Этот недостаток можно устранить, если осуществлять одновременно горизонтальное и вертикальное качание манипулятора, то есть заданная ширина захвата осуществляется горизонтальным поворачиванием манипулятора. Сложность реализации данного способа заключается в согласовании (или совмещении) трех движений манипулятора.

Рассмотренные способы выемки угля по фронтально-избирательной технологии определяют особенности процесса резания угля на отдельном резце и формирование нагрузок на рабочем органе в зависимости от трех движений манипулятора, так как динамика резания находится в зависимости от всех трех возможных движений манипулятора, и, не учитывая этого влияния, нельзя получить адекватную действительность модели разрушения угля манипулятором фронтально-избирательного действия.

Математическая модель движения манипулятора и его рабочего органа. Для исследования особенностей процесса разрушения рабочим органом манипулятора фронтально-избирательного действия необходимо перейти от конструктивных характеристик к математическому описанию данного объекта, иначе говоря, ввести необходимые математические величины и установить зависимости между ними (рисунок 4.15).

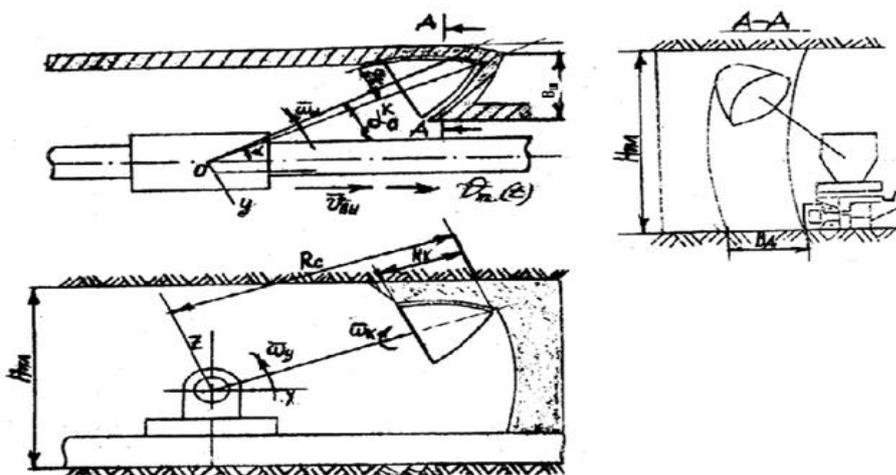


Рисунок 4.15 – Кинематическая схема выемочного манипулятора и ВМФ-5

Динамику манипулятора определяют следующие величины, задаваемые как функции времени  $t$ : скорость подачи выемочной машины вдоль забоя  $u_n(t)$ , угол атаки забоя манипулятором  $a_a(t)$ , угловая скорость качания манипулятора в горизонтальной плоскости  $w_a(t)$ , угловая скорость качания стрелы манипулятора  $w_c(t)$  и угол поворота стрелы манипулятора  $j_c(t)$  в вертикальной плоскости.

Начальные  $j_{ce}$ ,  $a_{ko}$  и конечные  $j_{ck}$ ,  $a_{ak}$  углы качания манипулятора в вертикальной и горизонтальной плоскостях задаются соотношениями (при движении манипулятора снизу вверх):

$$\varphi_{co} = - \arcsin \frac{H_M}{R_c} \quad (4.1)$$

$$\varphi_c, \varphi_{ca}$$

$$\varphi_{ck} = \arcsin \frac{H_{nl} - H_n}{R_c},$$

$$\alpha_{ak} = \arcsin \frac{B_3 + \sin \alpha_o (R_c - H_k)}{R_c} - \frac{Z_k \cos 2\theta}{R_c}, \quad (4.2)$$

(Углы  $\varphi_c(t)$  и  $\alpha_o(t)$  определяются:

$$\varphi_c(t) = \varphi_{co} + \int_0^t W_c(t) dt, \quad (4.3)$$

$$\alpha_a(t) = \alpha_{ak} + \int_0^t W_\alpha(t) dt, \quad (4.4)$$

где  $H_M$  – высота машины от почвы по оси вращения вокруг манипулятора, м;

$R_c$  – длина стрелы манипулятора, м;

$H_k$  – длина коронки, м;

$H_{nl}$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$Z_k$  – максимальный радиус коронки, м.

Рабочий орган (коронка) манипулятора вокруг своей оси с частотой  $n_{ab}$  имеет длину  $H_k$  и максимальный радиус (по основанию)  $R_k$ .

Для описания движения манипулятора свяжем жестко базовую систему координат  $O_{xyz}$  с забоем и введем для описания движения каждого из  $i$ -резцов, расположенных на рабочем органе, систему координат  $O_i X_i Y_i Z_i$ , жестко связанную с плоскостью вращения конца  $i$ -резца вместе с рабочим органом. Связь между этими двумя системами координат осуществляется по формулам (4.1) и (4.2), где оси связаны с направлением оси манипулятора и используются как промежуточные звенья для связи систем координат  $O_{xyz}$ .

$O_i X_i Y_i Z_i$ .

$$\begin{cases} \chi = \chi_1 \sin \alpha_\alpha - y_1 \cos \alpha_\alpha \\ y = \chi_1 \cos \alpha_\alpha + y_1 \sin \alpha_\alpha \end{cases} \quad \begin{cases} \chi_1 = \chi \sin \alpha_\alpha + y \cos \alpha_\alpha \\ y_1 = -\chi \cos \alpha_\alpha + y \sin \alpha_\alpha \end{cases} \quad (4.5)$$

#### 4.8 Отличительные особенности способов обработки забоя с использованием выемочных манипуляторов

Цикл рабочего процесса разрушения определяется временем между двумя конечными положениями стрелы в вертикальной плоскости (по мощности пласта). Структура рабочего цикла задает способ выемки и зависит от взаимосвязи фаз внедрения коронки в массив и отбойки угля по мощности пласта (или прослойки) при вертикальном качании стрелы. Если эти фазы последовательны во времени – сначала идет внедрение коронки у почвы или у кровли, а затем – отбойка по мощности пласта при полном заглублении коронки и качании стрелы снизу вверх или сверху вниз, то эта структура обуславливает последовательный режим работы манипулятора, соответствующий последовательному способу отбойки [37,38], схематично изображенному на (рисунок 4.16 б). Если же фазы внедрения и отбойки совмещаются во времени – при подаче манипулятора вдоль забоя одновременно происходит вертикальное качание стрелы, коронка постепенно погружается в разрушаемый массив, то эта структура рабочего цикла соответствует непрерывному режиму и способу отбойки [26]. Для последовательного и непрерывного режимов работы манипулятора ВМФ возможно совмещение во времени с вертикальным качанием горизонтального в целях увеличения ширины захвата (на рисунке 4.16 б показана схема отбойки с горизонтальным качанием), при этом угол атаки забоя изменяется в пределах от до градусов.

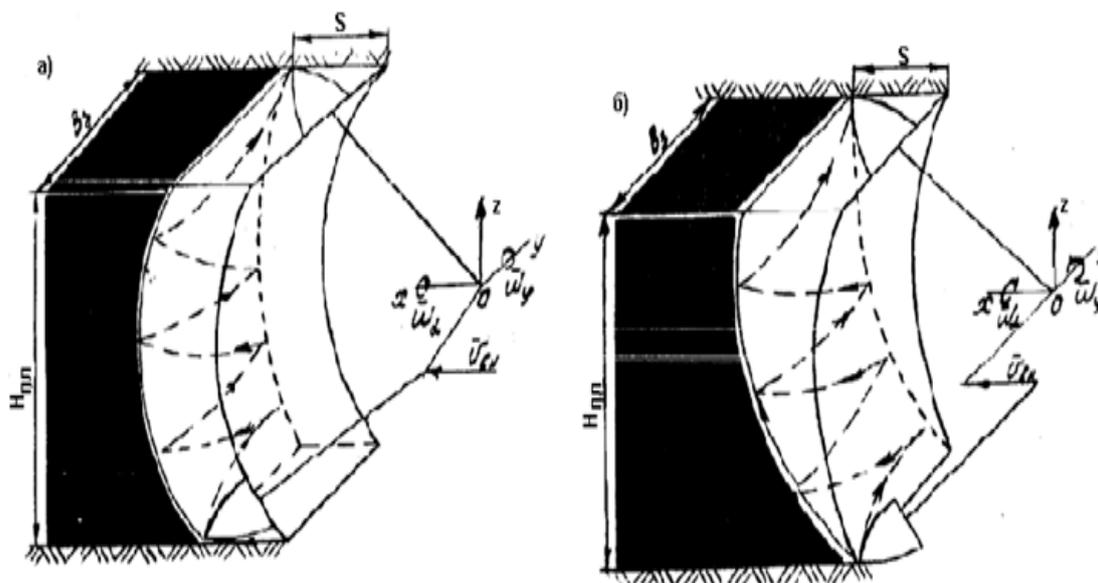


Рисунок 4.16 – Отбойка угля при наличии горизонтального качания стрелы манипулятором: а - циклический; б - непрерывный

При совмещении вертикального и горизонтального качаний согласование литейных скоростей  $u_j$  и  $u_a$  (м/с), определяется тем, что за время одного горизонтального качка на ширину захвата  $B_3$  вертикальное перемещение

коронки равно  $u_{nb}$  в силу условия оплошности обработки фронтальной поверхности забоя:

$$v_{\alpha} = \omega_{\alpha} (R_c - 0,5H_k) = 2J_{\alpha} v_y, \quad (4.6)$$

где  $\alpha$  – относительное увеличение ширины захвата за счет введения горизонтального качания по сравнению с шириной захвата  $B_3$  (м), обусловленной геометрическими параметрами коронки, равной:

$$B_3^{\circ} = 2\mathcal{U}_k \cos \alpha^{\circ} \alpha. \quad (4.7)$$

Для непрерывного режима необходимо согласование линейных скоростей внедрения  $u_{BN}$  и вертикального качания  $u_j$  по условию: за время одного вертикального качка коронка должна закрутиться на всю высоту  $H_k$ :

$$v_{\varphi} = \omega_{\varphi} (R_c - 0,5H_k) = 2v_{BH} \frac{H_{nl}}{H_k} \cos \alpha^{\circ}, \quad (4.8)$$

где  $u_j$  – линейная скорость вертикального качания, средняя для резцов коронки, м/с;

$R_c$  – длина стрелы, м.

Автоматическая система управления выемочного манипулятора ВМФ обеспечивает работу исполнительного органа в любом режиме [15, 17, 34]. При применении в управлении выемочным манипулятором микропроцессорной техники предусматривается и автоматический выбор оптимального режима в соответствии с предлагаемой методикой.

В качестве управляемых параметров берутся: относительное увеличение ширины захвата  $J_{\alpha}$ , скорость внедрения  $u_{BN}$ , скорости вертикального и горизонтального качания  $u_{\psi}$  и  $u_{\alpha}$ . Критериями эффективности рабочего процесса являются теоретическая производительность выемочного манипулятора  $Q_T$ , м<sup>3</sup>/мин, удельные энергозатраты на разрушение угля и породы  $W_{y\partial}$ , кВтч/т<sup>3</sup>, удельный путь резания резцов  $S_{y\partial}$ , м/м<sup>3</sup>.

В дальнейшем предполагается, что манипулятор ВМФ может работать в режимах с постоянной или максимальной производительностью (средней скоростью подачи манипулятора вдоль забоя за один цикл).

Для обеспечения постоянной задаваемой скорости подачи  $u_n$ , м/с, скорости внедрения  $u_{BN}$  и отбойки  $u_j$  должны для последовательного способа отбойки удовлетворять соотношению (5.10), что обеспечивает минимальные удельные энергозатраты:

$$\begin{cases} v_{BH} = v_{nb} \\ v_{\varphi} = v_n \alpha v_{n3} (v_{n3} - v_n)^{-1}, \end{cases} \quad (4.9)$$

где  $u_{нз}$  – максимальная скорость внедрения, обусловленная нагрузкой на электродвигатель коронки, м/с;

$a$  – относительный эквивалент вынимаемой мощности пласта, равен:

$$\alpha = H_{nl} \frac{\cos \alpha^o \alpha}{H_k} \quad (4.10)$$

Для непрерывного способа отбойки скорости  $u_n$  и  $u_{ВН}$  должны быть равными.

Параметрами, влияющими на выбор режима работы и способа отбойки, являются сопротивляемость пласта резанию, Кн/м, вынимаемая мощность пласта  $H_{nl}$  (или эквивалентный безразмерный коэффициент  $a$ ), скорость подачи  $u_{nl}$  (для режима с постоянной производительностью), а также конструктивные параметры манипулятора.

Выбор оптимального режима работы, прежде всего, предполагает максимальную теоретическую производительность, которая прямо пропорционально зависит от вынимаемой мощности пласта  $H_{nl}$  (или прослойка), ширины захвата рабочего органа  $B_3$  и скорости подачи машины вдоль забоя  $u_n$  (или в отсутствие холостого перегона стрелы манипулятора в начальное положение цикла – от скорости продвигания забоя):

$$Q_T = H_{nl} \cdot B_3 \cdot v_n \cdot 60, m/мин. \quad (4.11)$$

#### **4.9 Выбор эффективного способа обработки забоя горным автоматическим выемочным манипулятором ВМФ-5**

Основными достоинствами выемочных манипуляторов типа ВМФ-5 являются надежность, маневренность, небольшая масса (не более пяти тонн), наличие бесцепной системы подачи. Другим важным качеством является эффективность избирательной выемки, чем не обладают существующие очистные комбайны. Это обеспечивается манипулированием стрелы исполнительного органа. Реализация избирательной выемки осуществима за счет наличия у ВМФ-5, ВМФ-6 системы гидродомкратной подачи, механизма подъема-опускания и поворота стрелы (соответственно, для них  $u_n$  – скорость подачи,  $w_{n(o)}$  – скорость подъема-опускания и  $w_p$  – скорость поворота стрелы).

Различные сочетания скоростей  $u_n$ ,  $w_{n(o)}$  и  $w_p$  позволяют нам иметь большое количество вариантов способов обработки забоя. Тем не менее можно выделить четыре основных варианта:

- 1)  $w_{n(o)} = 0$ ,  $w_p = 0$ ,  $u_n \neq 0$
- 2)  $w_{n(o)} \neq 0$ ,  $w_p = 0$ ,  $u_n \neq 0$
- 3)  $w_{n(o)} \neq 0$ ,  $w_p \neq 0$ ,  $u_n = 0$

4)  $w_{n(o)} \text{ № } 0, w_p \text{ № } 0, u_n \text{ № } 0$

Первый способ характерен для выемочных машин со шнековыми исполнительными органами – так называемая существующая фланговая выемка. Второй способ реализован в выемочной машине ВМФ-4М (флангово-фронтально-избирательная выемка). Третий способ реализован в выемочной машине ВМФ-1 (ФАН) (фронтально-избирательная выемка). Четвертый способ – в выемочном манипуляторе ВФМ-4Н (флангово-фронтальная выемка).

Применительно к выемочным манипуляторам, как у проходческих комбайнов (ПК-3Р, ГПК), под исполнительным органом подразумевается резцовая коронка вместе со стрелой, имеющей три степени подвижности. Движение стрелы при втором способе обработки забоя характеризуется последовательным выполнением двух движений – подача вдоль забоя вместе с основным корпусом и вертикального качания, что соответствует одному циклу обработки угольного пласта при разрушении угля режущим исполнительным органом.

Поэтому этот способ назван как циклический, в отличие от первого способа, при котором движение стрелы непрерывно. Исследование эффективности работы исполнительного органа для первого и второго способов обработки забоев по критерию удельного пути резания резцов, а не коронки в целом показывает, что удельный путь для непрерывного способа обработки забоя меньше, чем для циклического. Поскольку скорость вертикального качания стрелы для циклического способа обработки забоя определяется из условий полной загрузки электродвигателя резцовой коронки, то для непрерывного – по условию совмещения скоростей подачи манипулятора вдоль забоя и вертикального качания стрелы при обеспечении максимальной производительности гидросистемы подачи, хотя резцы и схема их расстановки одинаковы. Следует отметить, что при непрерывном способе резцы постепенно включаются в процесс разрушения при подъеме-опускании стрелы, по мере заглубления коронки и нагрузки электродвигателя коронки увеличиваются от минимума до максимума.

Рассмотрим подробнее второй способ. Имеется два варианта флангово-избирательной выемки: непрерывный и циклический. Требуется их количественная оценка, а именно необходимо определить оптимальное соотношение скоростей  $v_n$  и  $\omega_{n(o)}$  с целью выбора эффективного способа обработки угольного пласта. Исходные данные для количественной оценки приведены в таблице 4.4.

Для расчетов примем  $m = 3,2$  м;  $Q = 3$  т/мин.

Для определения необходимой скорости перемещения исполнительного органа манипулятора необходимо выполнение следующего условия: в результате ведения непрерывной обработки угольного пласта (рис. 3.10, а) должно быть исключено образование гребешков у кровли и почвы пласта, то есть

$$\frac{\alpha}{v_n} \leq t_n + t_o, \quad (4.12)$$

где  $t_n, t_o$  – соответственно время на обработку пласта снизу вверх траектория движения отбойной коронки 1-2, 3-4... и сверху вниз (траектория 2-3, 4-5...).

Таблица.4.4 – Исходные данные для количественной оценки обработки забоя выемочным манипулятором

Наименование и единицы измерения	Условное обозначение	Величина
Степень подвижности выемочного манипулятора	$n$	5
Длина исполнительного органа, м	$\ell_{\max}$	2,7
Максимальные углы подъема и опускания стрелы, градус	$\alpha_n, \alpha_o^{\max}$	35;42
Угол поворота стрелы горизонтальной плоскости, градус	$\alpha_p$	168
Высота подвески стрелы, м	$h$	1,6
Вынимаемая мощность, м	$m$	1,8-3,2
Диаметр отбойной коронки, м	$\emptyset$	0,9
Величина захвата исполнительного органа, м	$\eta$	0,63
Величина заходки, м	$\alpha$	0,6
Угол падения пласта, градус	$\alpha$	55
Скорость подачи, м/мин	$v_n$	5
Скорость подъема-опускания стрелы, м/мин	$\omega_{n(o)}$	15
Производительность выемочного манипулятора, мин/т	$Q$	не менее 3

При внедрении коронки у почвы или у кровли резцы постепенно включаются в процесс резания, и на каждом обороте коронки практически не выходят из контакта с разрушаемым массивом. При вертикальном качании стрелы все резцы коронки участвуют в разрушении, угол обхвата на одном обороте коронки равен  $180^0$ . Кроме того, нагрузка на коронку уменьшается из-за наличия дополнительной обнаженной поверхности массива, что учитывается коэффициентом. Поэтому, хотя скорости  $v_n''$  и  $\omega_{n(o)}''$  определяются по номинальной нагрузке электродвигателя коронки, скорость  $\omega_{n(o)}''$  всегда больше, чем  $v_n''$  для одного и того же уровня нагрузки (мощности) электродвигателя исполнительного органа выемочного манипулятора.

Для второго способа выемки имеются два варианта режима работы манипулятора: непрерывный, при котором скорости подачи и подъема-опускания стрелы совмещаются во времени, и циклический, предполагающие последовательное выполнение во времени операции подачи машины и подъема-опускания стрелы.

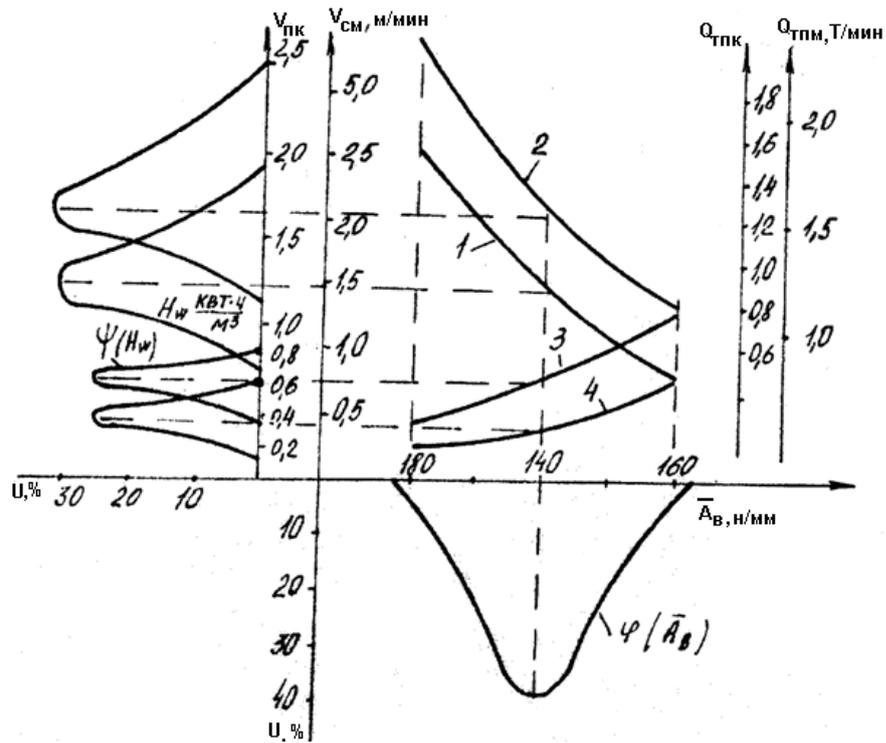


Рисунок 4.17 – Зависимость скорости качания ВМФ от производительности

При этом для непрерывного способа скорости  $v_n$  и  $\omega_{n(o)}$  должны быть согласованы из условия: за время подъёма опускания стрелы отбойная коронка должна внедриться в массив на величину  $\alpha$ , м.

$$\omega_{n(o)} = \frac{2m}{\alpha} v_n^H, \quad (4.13)$$

где  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м.

Эффективность использования одного из возможных вариантов отбойки определяется, прежде всего, теоретической производительностью  $Q$ , которая  $Q_T^H$  – для непрерывного и  $Q_T^u$  – циклического способов соответственно равна:

$$Q_T^H = m \cdot r \cdot v_n^H$$

$$Q_T^u = m \cdot r \cdot v_n^u \frac{1}{1 + \frac{m}{\alpha} \cdot \frac{v_n^u}{\omega_{n(o)}^u}}, \quad (4.14)$$

где  $r$  - ширина захвата исполнительного органа, м.

Коэффициент  $V_\alpha$ , показывающий выигрыш в производительности непрерывного способа отбойки по сравнению с циклическим, определяется соотношением:

$$V_{\alpha} = \frac{Q_{\Gamma}^H}{Q_n^H} = \frac{v_n^H}{v_n^H} \left( 1 + \frac{m}{\alpha} \cdot \frac{v_n^H}{\omega_{n(o)}^H} \right). \quad (4.15)$$

На рисунке 4.17 представлены области эффективного применения непрерывного (область 1) и цикличного (область 2) способов обработки пласта в зависимости от соотношения скоростей  $v_n^H/v_n^H$  и  $\omega_{n(o)}^H/\omega_{n(o)}^H$ .

Из формулы (4.16) следует, что при равенстве скоростей непрерывный способ дает выигрыш в производительности в 1, 2 раза. При равенстве только скоростей подачи непрерывный способ обеспечивает большую производительность при любой скорости подъема-опускания для цикличного способа. Если скорость подъема-опускания цикличного способа меньше в два раза (и более) соответствующей скорости непрерывного способа, то для любой скорости подачи непрерывный способ производительнее. Для достижения одинаковой производительности с непрерывным способом скорости цикличного способа  $v_n^H$  и  $\omega_{n(o)}^H$  должны в 1,2 раза превышать скорости непрерывного способа (рисунке 4.17.).

Скорости подачи машины и подъема-опускания стрелы выемочного манипулятора определяются производительностью гидросистемы подачи и регулируются по номинальной нагрузке на электродвигателе рабочей коронки при данной сопротивляемости пласта резанию  $A_p$ , кН/м, причем средние нагрузки непрерывного способа значительно ниже, чем цикличного, так как операции постепенного внедрения коронки при подаче манипулятора на забой совмещены с операцией подъема-опускания стрелы. С учетом ограничения скоростей движения манипулятора формула расчета коэффициента  $V_{\alpha}$  преобразуется в вид:

$$\frac{1 + \alpha \frac{m}{\alpha}}{1 + 2\alpha \frac{m}{\alpha}}, \text{ если } A_p \leq A_p^{\text{BH}} \min \left[ 1, \left( \frac{\alpha}{\beta} \right)^{5/6} \right]$$

$$\frac{1 + \beta \frac{m}{\alpha} \left( \frac{A_p}{A_p^{\text{BH}}} \right)^{6/5}}{1 + 2\alpha \frac{m}{\alpha}}, \text{ если } A_p \in A_p^{\text{BH}} \left[ \left( \frac{\alpha}{\beta} \right)^{5/6}, 1, \frac{\alpha}{\beta} < 1 \right] \quad (4.16)$$

$$\frac{\left( \frac{A_p}{A_p^{\text{BH}}} \right)^{6/5} + \alpha \frac{m}{\alpha}}{1 + 2\alpha \frac{m}{\alpha}}, \text{ если } A_p \in A_p^{\text{BH}} \left[ 1, \left( \frac{\alpha}{\beta} \right)^{5/6} \frac{\alpha}{\beta} > 1 \right]$$

$$\left(\frac{A_p}{A_p^{BH}}\right) \frac{1 + \beta \frac{m}{\alpha}}{1 + 2\alpha \frac{m}{\alpha}}, \text{ если } A_p \geq A_p^{BH} \max \left[ 1, \left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^{5/6} \right],$$

где  $\alpha = \chi_{dl}$ ,  $\beta = v_{np} / \omega_{n(o)p}$ ,  $v_{np}$ ,  $\omega_{n(o)p}$  – ограничение по нагрузке на рабочем органе скоростей подачи и подъёма-опускания стрелы для циклического способа, м/с;

$A_p^{BH}$ , кН/м – сопротивляемость пласта резанию, при которой ограничение скорости подачи при циклическом способе по нагрузке на рабочем органе равно максимально возможной по производительности гидросистемы  $v_{nr}$ , м/с.

Анализ выражения (4.16) показывает, если  $A_p < A_p^*$ , где критическое значение  $A_p$ , которое определяется по формуле при этом сопротивляемость пласта резанию меньше, чем  $A_p^*$ , производительнее циклический способ, а при больших значениях – непрерывный способ.

$$A_p^{BH} \left(\frac{2\alpha}{\beta}\right)^{5/6}, \text{ если } \frac{\alpha}{\beta} \leq 0,5$$

$$A_p^{BH} \left(\frac{1 + 2\alpha \frac{m}{\alpha}}{1 + \beta \frac{m}{\alpha}}\right)^{5/6}, \text{ если } \frac{\alpha}{\beta} > 0,5. \quad (4.17)$$

Вышеуказанные формулы (4.16, 4.17) определяют соотношение производительностей, а не скоростей  $v_n^H, v_n^U$ , так как это не одно и то же, потому что в эти формулы входят соотношения скоростей  $\omega_{n(o)}^U / \omega_{n(o)}^H$  вертикального качания стрелы манипулятора.

Таким образом, выбор эффективности применения циклического или непрерывного способа обработки угольного пласта выемочным манипулятором определяется сравнением теоретической производительности. Увеличение мощности электродвигателя рабочего органа, увеличивая  $A_p^{BH}$ , расширяет область эффективного применения циклического способа, а увеличение производительности гидросистемы подачи, уменьшая  $A_p^{BH}$ , расширяет область применения непрерывного способа. Если геометрические параметры стрелы и резцовой коронки манипулятора, а также резцов таковы, что выполняется условие  $\alpha/\beta \leq 0,5$ , то выбор эффективного способа не зависит от вынимаемой мощности пласта. В противном случае необходимо учитывать не только  $A_p$ , но и  $m$ .

Испытания выемочного манипулятора ВМФ-4КН на шахте «Гопарская» Карагандинского угольного бассейна ( $A_p=180$  кН/м,  $m=2,2$ м) показали, что применение непрерывного способа ( $v_n^H = 2$  м/мин.,  $\omega_{n(o)} = 13,4$  м./мин.,  $Q_T^H = 5,4$  т/мин.) дает выигрыш в производительности по сравнению с циклическим способом

( $v_n^u = 1,4 м / мин$ ,  $\omega_{n(o)}^u = 12,7 м / мин$ ,  $Q_T^u = 2,8 т / мин$ ) на 40%, при этом обеспечивается поточность технологии выемки в очистном забое.

Изложены циклы рабочего органа процесса разрушения при различных способах обработки забоя и выявлены отличительные особенности с использованием ВМФ-5, а также рассмотрены параметры, влияющие на выбор режима работы и способа отбойки.

Предложена методика выбора оптимальной организации рабочего процесса ВМФ-5 при работе с минимальной и с увеличенной шириной захвата для определения области режимов в зависимости от способов обработки забоя с учетом производительности ВМФ-5.

Произведен выбор эффективного способа обработки забоя ВМФ от соотношения скоростей при циклическом и непрерывном способах в зависимости от изменчивости сопротивляемости пласта.

Результаты шахтных испытаний показали, что применение непрерывного способа дает выигрыш в производительности по сравнению с циклическим способом на 40%, при этом обеспечивается поточность технологии выемки в очистном забое.

#### **4.10 Выбор конструкции и схемы управления автоматического выемочного манипулятора робототехнологического комплекса**

Опыт работы выемочных машин-манипуляторов типа ВМФ-5 в условиях шахт Карагандинского бассейна показывает [156], что на их базе можно создать автоматические выемочные манипуляторы. Автоматический выемочный манипулятор обеспечивает непрерывную отбойку полезных ископаемых за счет регулирования стреловидного исполнительного органа по мощности пласта. Дальнейшее совершенствование конструкции манипулятора позволяет создать робототехнические системы за счет использования микропроцессоров и компьютеров (рисунок 4.18).

Результаты натурных исследований режимных характеристик выемочного манипулятора ВМФ-5. Метод экспериментального исследования процесса разрушения угля заключается в исследовании режимов работы выемочной машины и установлении закономерностей их поддержания, как правило, проводится в шахтных условиях и предполагает совместное определение показателей сопротивляемости резанию, потребляемой мощности и скорости подачи с целью построения паспортов режима работы выемочного манипулятора ВМФ-5.

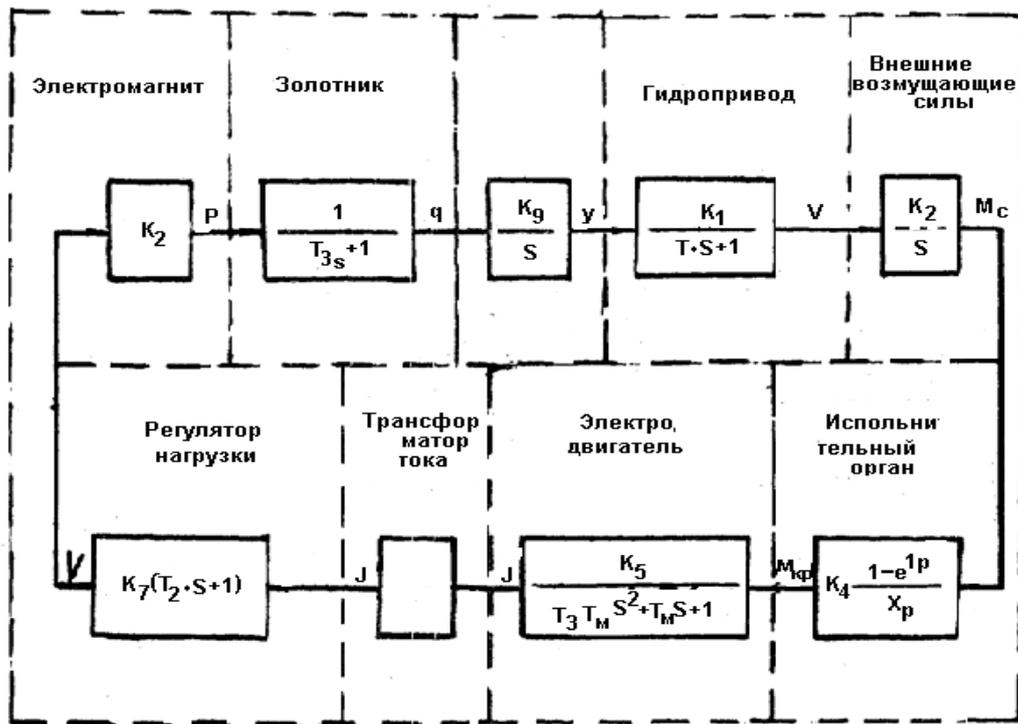


Рисунок 4. 18 – Структурная схема управления автоматическим манипулятором ВМФ-5

При работе выемочного манипулятора в конкретных условиях сопротивляемость резанию является существенно варьируемой величиной, что обуславливает соответствующее изменения режимных параметров. Оценивая влияние сопротивляемости резанию, рассмотрим работу в режиме, когда резание осуществляется с переменной средней толщины стружки, в частности, наиболее распространенный случай  $v_p = const$  и  $v_n = var$ . При этом режиме плотность распределения удельных энергозатрат определяется формулой:

$$\varphi''(H_{wz}) = \frac{1}{G_{AB \text{ и } .o}^-} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ \frac{1-\Pi}{CA} \sqrt{\frac{H_{wi} - \alpha'}{C^1}} \right] x \exp \left[ \frac{\left( \sqrt{\frac{H_{wi} - \alpha'}{C}} - \bar{A}_b \right)^2}{2G_{AB \text{ и } .o}^2} \right], \quad (4.19)$$

где  $G_{AB \text{ и } .o}^-$  – среднеквадратичное отклонение сопротивляемости резанию;

$A, C$  – постоянные коэффициенты.

Плотность распределения скорости подачи (производительности) определяется формулой:

$$\varphi''(v_{ni}) = \frac{1}{G_{AB} \cdot \sqrt{2\pi}} \left[ \frac{P}{Cdn v_{ni}^2} \sqrt{\frac{P}{d v_{ni}} - d'} \right] \exp x \left[ \frac{1}{C'} \left( \frac{P}{d v_{ni}} - \alpha' \right) - A_B \right]^2.$$

Сопrotивляемость угля резанию колеблется в соответствии с нормальным гауссовским законом распределения.

По распределению плотность энергоемкости разрушения, скорости подачи машины, скорости перемещения исполнительного органа определяется в зависимости:

$$H_w = f(\bar{A}_B), \quad v_{nM} = f(\bar{A}_B), \quad v_{nk} = f(A_B), \quad Q_T = f(AB). \quad (4.20)$$

Потребляемая мощность, удельные энергозатраты, скорость подачи машины и скорость качания исполнительного органа – наиболее часто применяемые характеристики для практической оценки режимов работы ВМФ-5.

Технические свойства выемочного манипулятора ВМФ-5 определяем графоаналитическим анализом результатов электрических измерений, названным методикой построения паспортов режимов работы.

В координатах  $P-v_{nM}$  и  $p-v_{nk}$  наносим экспериментальное поле точек, полученных при электрических измерениях. Экспериментальное поле ограничивается линиями при минимальном и максимальном значениях сопротивляемости резанию. Эти линии проводятся из одной точки полосы П с использованием данных о потребляемой мощности при  $v=0$ . На продолжении этих линий строим по экспериментальным данным распределение сопротивляемости резанию. Внутри экспериментального поля находится средняя точка  $P_{cp}$ ,  $v_{cp}$ . Проводя из точки  $v_{cp}$  прямую, параллельную оси координат, определяем граничные значения потребляемой мощности  $P_{min}$  и  $P_{max}$ . Определив по опытным данным среднее квадратическое отклонение мощности, в левом верхнем квадрате строим распределение мощности, которое обычно является нормальным.

Наибольшая скорость подачи или скорость качания исполнительного органа может быть при  $P_{max}$ , а наименьшая – при  $P_{min}$ . Проведя из этих точек линии, параллельные оси координат, определяем значения  $v_{nM} \max$ ,  $v_{nk} \max$  и  $v_{nM} \min$ ,  $v_{nk} \min$ .

Из приведенной схемы видно, что распределение скорости подачи ВМФ-4П  $v_{nM}$  и скоростей качания исполнительного органа  $v_{nk}$  в общем случае асимметричное. Если работа с большими скоростями зоны  $caf$  ограничена максимальным расходом регулируемого насоса НП-120, распределение скоростей  $v_{nM}$  и  $v_{nk}$  можно принять нормальным, гауссовским.

Из схем паспортов видно, что большой диапазон мощности изменяется при обеих схемах разрушения. Мощность изменяется от  $P_{\min}=15$  кВт до  $P_{\max}=30$  кВт.

Выбор принципиальной схемы автоматического управления выемочным манипулятором ВМФ- 5. Основной целью управления является получение наименьшей энергоемкости разрушения горного массива за счет полного использования мощности электродвигателя маслостанции манипулятора ВМФ- 5 [59, 60].

## **5 АДАПТИВНО-ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ, АГРЕГАТАМИ И МАШИНАМИ**

### **5.1 Система управления механизированными крепями**

Основная тенденция развития автоматизации забойного оборудования характеризуется совмещением дальнейшего конструктивного совершенствования горных машин с оснащением их встроенными средствами автоматизации на основе современной элементной базы, а также включая микропроцессорные средства, которые обеспечивают новое качество – многофункциональность устройств и систем, технико-экономических преимуществ за счет перестраивания гибких систем автоматизации соответственно конкретной технологии и техники угледобычи [61, 62].

Зарубежные системы управления механизированными крепями характеризуются возросшим уровнем автоматизации и использованием унифицированных элементов. При этом обеспечивается режим управления секциями крепи как с постов оператора в лаве, так и с центрального пульта управления на штреке.

Для автоматического управления крепью увеличилось применение многофункциональных систем с развитым оборудованием контроля и микропроцессоров. Такие системы обеспечивают автоматическое и дистанционное управление с пульта и переход на местное управление с отдельных секций. Микропроцессоры встраиваются и в секционные посты управления, что позволяет обрабатывать данные от более информативных аналоговых датчиков давления и положения секций крепи относительно конвейера, хотя во многих системах продолжают применять и датчики дискретного действия (реле давления и конечные выключатели). Механизированные крепи оснащаются средствами контроля и диагностики работоспособности отдельных узлов и систем с выдачей информации на пульт управления в виде сигналов цифровой или буквенной индикации, с возможной передачей информации на диспетчерский пункт шахты.

Электронной системой обеспечивают от 2-3 до 24 функций управления на одной секции. Достигнут определенный прогресс в создании исполнительных устройств электрогидроклапанов, отличающихся небольшими габаритами, высокими показателями унификации. Командная аппаратура, пульта управления, секционные электроблоки имеют хорошо воспринимаемую символику команд.

Основываясь на отечественном опыте разработки систем автоматизации забойного оборудования, заслуживают большего внимания задачи конструктивного исполнения средств управления, в частности, их органичное вписывание в конструкцию крепи, выполнение электрических соединений в виде

специальных шланговых кабелей в оболочке высокой механической прочности. Особое значение на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, имеет дистанционное управление с помощью беспроводной аппаратуры. При этом необходимо технологическое обоснование минимального безопасного расстояния от работающей машины по длине лавы. Это возможно только при достаточно высокой степени автоматизации машины, в частности, наличии средств автоматического регулирования скорости подачи, нагрузки двигателей, электрогидравлического управления положением режущих органов по мощности пласта, контроля орошения и других технических средств контроля.

В информационных источниках появляются более конкретные данные о параметрах зарубежных систем забойной автоматики и применяемой элементной базы. Однако применение в отечественной практике некоторых прогрессивных решений, алгоритмов управления и контроля не может быть использовано из-за отсутствия соответствующей технологии на заводах подотрасли забойной автоматики и отсутствия поставок предприятиями Минэлектропрома комплектующих элементов микроэлектроники, сопоставимых по параметрам с зарубежными аналогами.

Зарубежные разработки по внедрению микропроцессорных средств в управление горными машинами показывают, что данная элементная база нашла для этих целей практическое применение. Фирма «Атлас Копко» (Швеция) через «Атлас Копко Ярма» уже поставляет на внешний рынок ряд из 6 типоразмеров комбайна для проходки вертикальных и наклонных выработок, который может бурить выработки на глубине до 600 м. Основу привода составляет асинхронный двигатель, управляемый тиристорным преобразователем с помощью микро-ЭВМ. Контролируемые параметры воспроизводятся на дисплее.

Достоинства микропроцессорных систем и их универсальность при минимальных изменениях в аппаратной части: высокая степень гибкости за счет возможностей перепрограммирования; простор использования в системах с цифровым управлением; выполнение вспомогательных функций (диагностика и др.).

К настоящему времени средствами автоматизации или дистанционного управления в Республике Казахстан оснащаются 90% очистных и 24 % проходческих комбайнов, а также серийные струговые установки. Осваивается производство оборудования, работающего только в режимах автоматизированного или дистанционного управления: очистные комбайны К-103, КА-80, РКУ, КС-75, проходческие комбайны 4ПП-2М, буровые станки Б-100/200, струговые и скреперострусовые установки [64].

Сейчас в угольной промышленности начаты работы по созданию микропроцессорных систем управления и контроля. Такими системами в первую очередь оснащается следующее забойное оборудование:

- очистные комплексы для отработки пологих пластов, в том числе в сотрудничестве со странами СНГ разрабатывается очистной механизированный комплекс для пластов мощностью 0,85-1 м;
- автоматизированные агрегаты АФК, Ф-1 и АКД-2;
- проходческие комплексы и комбайны КП-25 и П -160;

– очистные комбайны унифицированного ряда РКУ10-25.

Отечественные микропроцессорные системы впервые проходили промышленные испытания на механизированной крепи М-138 на шахте «Распадская» производственного объединения «Южкузбассуголь» в комплексе с комбайном 2ГШ-68Б. Система управляла крепью по командам комбайна и оператора с центрального пульта, расположенного на штреке, или с постов на секциях крепи. Аппаратура автоматизации включала микропроцессорную систему управления и контроля 74 секциями крепи, управление комбайном осуществлялось с применением беспроводного инфракрасного канала. Для регулирования положения режущих органов комбайна была использована аппаратура «Квант-III» на базе радиоизотопного датчика границы «уголь - порода».

Несмотря на конструктивные особенности, все системы с электронным управлением предназначаются для увеличения объемов добычи и обеспечения безопасных условий труда. Создание кнопочных электронных систем управления немеханизированной крепью позволит оператору дистанционно осуществлять любую из многих функций управления крепью в любой последовательности. При этом оператор должен находиться не далее определенного расстояния от управляемой им секции крепи. Преимущества таких систем: быстрое действие, нахождение оператора в незапыленной зоне, непосредственное закрепление вновь обнаженной кровли, обеспечение прямолинейности забоя, возможность изменения рабочих циклов в крепи от конкретных условий [61].

Фирма «Эйкгофф» (ФРГ) испытала автоматическую систему управления механизированными крепями типа ISWO2e, которая включает в себя центральный блок управления, блок управления для каждой секции, систему передачи данных и блок электромагнитных клапанов. Центральный блок состоит из блока питания и стойки с блоками передачи, приема, отображения информации и микропроцессора. Вмонтированное в крышку прибора смотровое окно позволяет следить за положением комбайна. Кроме того, обеспечивается информация о взаиморасположении комбайна и секции крепи, а также о возможных неисправностях. Каждая секция крепи оснащается блоком управления. Импульсы положения комбайна передаются посредством системы с высокой несущей частотой по кабелю комбайна на штрек. В центральном блоке управления они передаются в управляющие сигналы для крепи, которые 16-битовым кодом передаются по трехпроводной линии передачи по всем секциям крепи. Имеется система диагностики неисправностей.

Фирма «Тиссен бергбаутехник» совместно с фирмой «Сименс» разработала систему управления забойным оборудованием типа AJQ1, распространяющуюся на все находящиеся в лаве машины и агрегаты и соединяющую их с семейством процессоров, подключенных к расположенному на штреке процессору. Центральный процессор собирает всю информацию как о ходе процесса, так и о неполадках и передает ее в участковую или шахтную диспетчерскую. Частью системы управления забойным оборудованием является система электрогидравлического управления механизированной крепью. Электронный

блок каждой секции крепи содержит микропроцессор, управляющий клапаном регулирования четырехходовыми трехпозиционными золотниковыми распределителями. Возможно управление почти любым числом операций по передвижке крепи. Каждая секция крепи оснащена датчиками для измерения давления в рукавах гидросистемы распора и датчиками перемещения в домкратах передвижки. Управление групповыми передвижениями секций крепи осуществляется в результате взаимодействия местных блоков управления и центрального пульта, расположенного на штреке. Команды на последовательное передвижение группы секций можно подавать с блоков управления секции или получать от комбайна.

Фирма «Вестфалия Люнен» для управления щитовой механизированной крепью применяет устройство управления «Симатик J5» фирмы «Сименс АГ», которое наряду с исполнением отдельных команд обеспечивает также управление последовательностью операций при передвижке секций крепи с правой или левой соседней секции. Несколько секций можно объединить в группу, а применение центрального устройства последовательного управления, соединенного с секционными устройствами управления через информационную шину, обеспечивает работу группы секции в автоматическом режиме. Установленная на поверхности УВМ способна осуществлять логическую связь между рабочими функциями секции щитовой механизированной крепи в зависимости от местоположения выемочной машины. На экране дисплея участковой диспетчерской индицируется информация о значении параметров, характеризующих работу всех секций, положение конвейера, величины подвигания лавы за определенный период выемки.

Электрогидравлическая система управления фирмы «Даути» может быть встроена в существующие механизированные крепи путем замены имеющихся гидравлических вентилях двойного действия. Благодаря наличию электронной системы управления с использованием ЭВМ на шахте «Холден», «Виргиния» (США) коэффициент готовности комбайна нередко превышает 97%.

Система управления крепью серии Ш на шахте «Элалонт» (Австралия) обеспечивает дистанционное управление следующими операциями: разгрузкой, передвижкой и распором секций крепи, передвижкой конвейера, выдвиганием и втягиванием гибкой консоли. Данная система основана на использовании слаботочной электронной аппаратуры в искробезопасном исполнении. Оператор может разгружать, передвигать и распирать секции крепи, а также передвигать конвейер.

Такое управление осуществляется дистанционно в пределах 25 секций крепи по обе стороны от управляемой в данный момент секции.

На шахте «Расподская» производственного объединения «Южкузбассуголь» испытывалась аппаратура дистанционного и автоматизированного управления крепью в составе экспериментального образца комплекса КМ 138, аппаратура беспроводного дистанционного управления комбайном с инфракрасным каналом типа УЗМ и аппаратура регулирования по гипсонетрии пласта с датчиком «порода– уголь» типа КВАНТ-Ш. При хронометражном наблюдении среднее время передвижения секции в

автоматизированном цикле составило 20,4 с, что на 32% меньше времени при ручном пооперационном управлении. При рабочем давлении 28-30 МПа средняя скорость передвижки в автоматизированном режиме составила 15,5 с. Опыт, полученный при испытании экспериментального образца института Донавтоматгормаш, использован при разработке рабочих чертежей аппаратуры автоматизации комплексов (ГМА и МА – комплексы КД80, УАК – комплекс КМ137А) с применением микропроцессорной техники.

Автоматизированные комплексы КМ-137А, КАМ и КМС (для пластов от 0,8-1,5 м), КМ138А (от 1,2-2,5 м), агрегаты АФК (от 0,65-0,9 м) и Ф-1 имеют аппаратуру автоматизации из нескольких самостоятельных или связанных информационных систем, позволяющих реализовать автоматический, дистанционный и автоматизированный (групповой или с соседней секции) по командам оператора режимы управления крепью. Возможно изменение оператором порядка передвижки секций (последовательная, шахматная) и величины групп. На центральном пульте имеется информация о состоянии комбайна, конвейера, магнитной станции.

Автоматизированные комбайны типа РКУ, КА, КАС оснащаются подсистемами слежения за границей «уголь-порода», имеют беспроводное радио или инфракрасное управление. Агрегат АФК управляется с пульта управления.

Институтом «Донавтоматгормаш» совместно с горнопромышленным объединением ЭМАГ (ПНР) создаются средства автоматизации добычного оборудования: гидравлические и электрогидравлические исполнительные устройства для автоматизации забойного оборудования; специализированная микро-ЭВМ для установки на очистных и проходческих комбайнах; лазерный датчик направления для ведения горных работ и система управления забойным оборудованием с использованием инфракрасного излучения.

## **5.2 Основные требования к системе управления с использованием микропроцессорной техники**

Система автоматизации механизированной крепи должна включать следующие подсистемы:

- дистанционное и автоматизированное управление гидрораспределителями;
- дистанционный контроль за полнотой передвижки секций, их распором, номером управляемой секции;
- автоматический контроль за прямолинейностью базы (конвейера, крепи);
- контроль за состоянием гидросистемы, регулирования сопротивления крепи и средств для передвижки секций с подпором.

Конструкция секций крепи и электрогидравлическая система управления должны позволять управление на запрограммированном расстоянии от выемочного манипулятора по сигналам датчиков или командам оператора.

Таблица 5.1 – Основные требования к системе управления с использованием микропроцессорной техники

Требования к системе управления	Требования к программному обеспечению
Обеспечение достоверности сигналов управления на уровне защитного отказа	Работа с энергонезависимой системой встроенного контроля-ЭСВК
Диагностирование внешних цепей и датчиков и контрольных точек горных машин	Выполнение защитного отказа и (или) выдача на цифровые индикаторы номера неисправности
Автоматическое восстановление работы, программ управления после перерыва в энергоснабжении	Использование ЗСВК в качестве энергонезависимой памяти
Продолжение нормальной работы при случайных сбоях	Повторение циклов опроса и сравнения до заданного числа раз
Привязка системы к конкретному объекту без использования языков программирования	Применение программных модулей, сведение привязки к подготовке данных автоматизации подготовки данных
Программирование на рабочем месте путем обучения в технологическом процессе или на его модели	Применение программы "ОБУЧЕНИЕ"

Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность ее с процессом выемки обеспечивается за счет применения электрогидроклапанов ЭКУ, датчиков положения и контроля секций крепи, давления и управляющих сигналов от микропроцессоров.

Перемещение забойного конвейера в зависимости от кривизны и положения секций крепи осуществляется применением датчиков прямолинейности конвейера и получаемых сигналов управления микропроцессора.

Конструирование аппаратуры управления комплекса основывается на принципах функциональной организации. Система управления комплексом должна обеспечивать работу комплекса и его составных частей в автоматическом режиме для различных режимов обработки забоя и изменяться в зависимости от горно-геологических условий сменой ячеек перепрограммируемого запоминающего устройства (ППЗУ).

Система управления конструктивно представляет собой стальной прямоугольной корпус в пылебрызгозащищенном исполнении. На лицевой панели установлены приборы индикации, переключатели команд, клавиатура ввода информации, контрольные клеммы. В корпусе блока предусматриваются разъемный и два неразъемных кабельных ввода. Несущими конструкциями являются монтажные выдвигные печатные платы, предназначенные для размещения конструктивного и электрического объединения [66-86].

Система автоматического управления комплексом имеет сменные наборы однократно программируемых и репрограммируемых запоминающих устройств серий К556 и К573 для записи подпрограмм управления режимами работы всех составляющих комплекса. ППЗУ выполнено на БИС К573РФ2, КР556РТ5.

Локальные системы управления строятся на основе применения микропроцессоров серий К1816РВЕ35 и КР580ВМ80А.

Пульт управления манипулятором и аппаратура управления манипулятора должны обеспечивать диагностику неисправностей. Пульт управления должен соединяться в лаве проводной линией связи. Подключение датчиков и исполнительных механизмов к каналам сигнализации должно осуществляться коммутирующими элементами ячеек.

Пульт управления выемочного манипулятора должен обеспечивать выполнение следующих операций:

- дистанционное отключение и включение пускателя двигателя исполнительного органа манипулятора;
- дистанционное включение и отключение пускателя конвейера;
- дистанционное отключение автоматического фидерного выключателя;
- дистанционное управление предохранительной лебедкой.

Локальная система управления крепью должна обеспечивать выполнение следующих операций:

- автоматическое управление операции секций крепи по заданной программе;
- получение информации о состоянии секций крепи;
- дистанционное и ручное управление перемещением секций крепи.

Управление крепью должно осуществляться по управляющим сигналам микро-ЭВМ, которая выдает управляющие сигналы на группу секций. Управление секциями крепи в группе осуществляется микропроцессором. Микропроцессоры, управляющие группами секций крепи, устанавливаются в искроо взрывобезопасные корпуса, размещаемые на базовой секции.

Подсистема управления крепью должна позволять устанавливать необходимый режим работы (выбор секции, передвижка, контроль за передвижкой секций и конвейера, контроль за предварительным распором стоек секций); повторять команду на передвижку секции, не выполнившей за заданное время цикл автоматической передвижки; устанавливать и при необходимости корректировать расстояние между секцией и выемочным манипулятором.

Информация с состояния секции крепи от датчиков переднего, заднего положений, предварительного распора через устройства выборки и хранения информации должна поступать на микропроцессор, который через преобразователь уровня управляет электрогидравлическим клапаном управления (ЭКУ) секции.

### **5.3 Разработка блок-схемы системы управления на примере угледобывающего манипулятора агрегата ВМФ-5**

Устройству управления горным комбайном со стреловидным исполнительным органом включает гидроцилиндры вертикального перемещения исполнительного органа, механизм подачи на забой, содержит два двухпозиционных гидравлических концевых выключателя верхнего и нижнего

положения, гидронасос, гидроуправляемый золотник, регулируемый дроссель с обратным клапаном, напорную и сливную магистрали.

Принципиальная гидравлическая схема управления перемещением рабочего органа манипулятора в вертикальной плоскости показана на рисунке 5.1.

Рассмотрим работу механизма перемещения исполнительного органа в вертикальной плоскости. Включаются гидронасосы, от рабочего насоса жидкость подается по магистрали через гидрораспределитель домкрата подъема стрелы манипулятора в поршневую полость гидроцилиндра, что вызовет перемещение рабочего органа вниз. При достижении рабочим органом крайнего нижнего положения при помощи датчиков положения домкратов через блок управления переключается электрораспределитель с управлением от двух электромагнитов, что вызовет в свою очередь переключение гидрораспределителя домкрата подъема манипулятора. Жидкость из рабочего насоса подается теперь в штоковую полость гидроцилиндра, что вызывает перемещение рабочего органа снизу вверх. Затем цикл повторяется. Начальное движение рабочего органа может быть в верхнем направлении, в зависимости от положения гидрораспределителя в начальный момент времени.

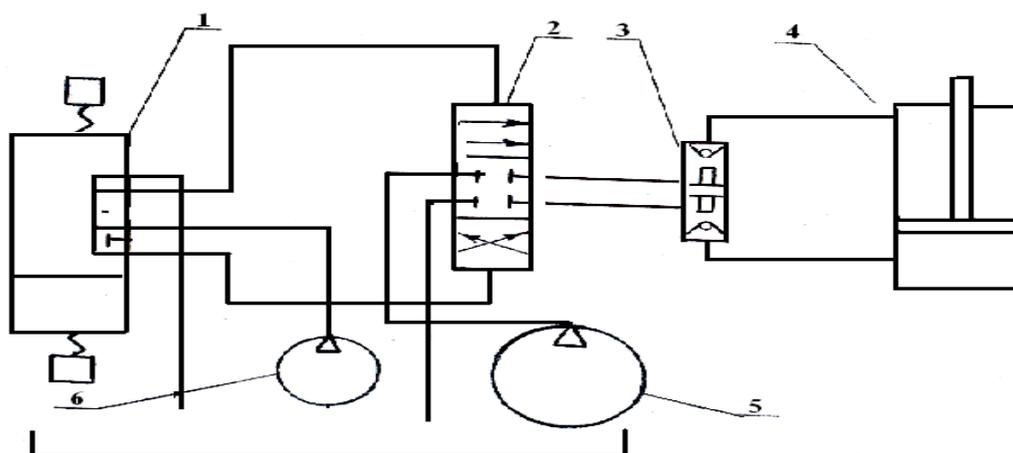


Рисунок 5.1 – Принципиальная гидравлическая схема управления работой гидродомкрата

Блок-схема данного процесса представлена (приложение С).

Рассмотрим теперь процесс регулирования заданной нагрузки на исполнительный орган манипулятора (рисунок 5.2).

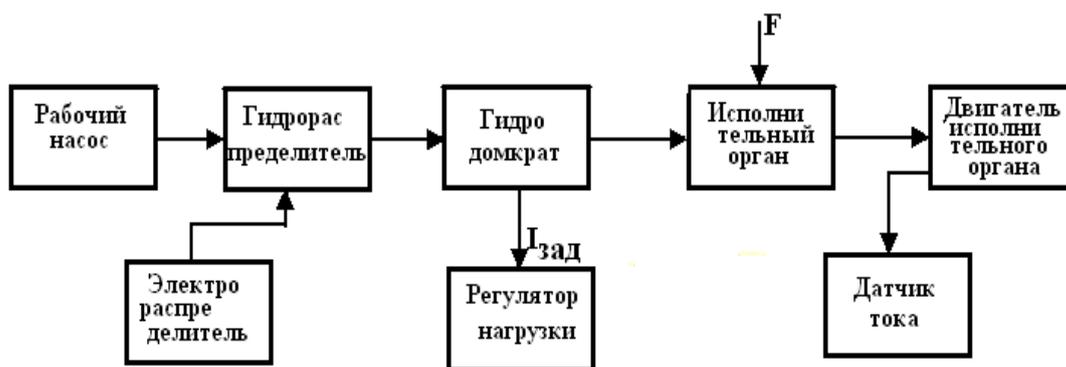


Рисунок 5.2 – Функциональная схема регулирования нагрузки на исполнительный орган

Для этого используем телескопичность трубы манипулятора. Движение выдвигаемой части трубы осуществляется гидродомкратами. Их и будем использовать для подачи на забой исполнительного органа. Тем самым скорость подачи самой машины остается равной определенному значению, т. е. исключаются динамические нагрузки, возникающие при изменяющейся скорости движения манипулятора.

При отклонении нагрузки двигателя рабочего органа (ДРО) манипулятора от номинального значения изменяется величина выходного сигнала измерительного устройства – датчика регулируемого параметра – датчика тока (ДТ). В регулятор (Р) от датчика тока подается значение, пропорциональное фактическому значению тока электродвигателя рабочего органа. Регулятор сравнивает значение тока с величиной тока, оптимальной для данных рабочих условий. Оптимальное значение закладывается в память регулятора.

Когда сигнал рассогласования превысит зону нечувствительности, он, через усилитель подается на зажимы катушек трехпозиционного электрогидрораспределителя РП-2. В зависимости от знака рассогласования гидрораспределитель переключается в положения «вперед» или «назад». До тех пор пока сигнал рассогласования не исчезнет, будет происходить движение исполнительного органа. Таким образом, происходит процесс стабилизации нагрузки электродвигателя рабочего органа за счет регулирования скорости перемещения исполнительного органа манипулятора. Функциональная схема регулирования нагрузки на исполнительный орган представлена на рис. 5.2. Блок-схема данного процесса показана на рисунке 5.2.

#### 5.4 Программа управления манипулятором ВМФ

Программа управления манипулятором ВМФ на ассемблере РМ-4 и порядок включения имитаторов мнемосхемы (приложение Т). Важным элементом автоматизации является использование промышленных компьютеров для управления работами в лаве. Из известных систем применяющихся в зарубежных, казахстанских и российских шахтах преобладают системы германских фирм «Тайсен бах» и «Марко» РМ-4, РМ-32 [63-131].

В шахтах Караганды используется комплекс оборудования «Глиник» оборудованный гидравлическими блоками, управляемыми процессорами РМ-4. В основном управление происходит с использованием 8 каналов, а в Германии – до 14 каналов, и, как указывают специалисты в основном из работ главного технологического цикла это касается системы передвижения крепи. Но процессор и гидравлическая система позволяют установку дополнительных датчиков и, соответственно, линий управления, что позволяет «интеллектуализировать» крепь. Операции по передвижке включают отслеживание положения в лаве комбайна, состояние конвейерной линии, состояние гидростоек и домкрата. При этом оператор ПК может выбрать один из режимов передвижения из нескольких. Фирма предлагает клиенту выбрать заранее список возможных функций. Состояние очистного забоя оценивает оператор. Например, он может выбрать последовательное передвижение секции, указав величину сжатия гидростоек при снятии с распора крепи, после достижения которой включается домкрат передвижения секции. Возможны и иные схемы. Система автоматической передвижки может быть мгновенно отключена оператором, в случае если она небезопасна. Естественно, что время передвижки, определяемое количеством и длительностью выполняемых операций по подготовке к передвижению и распору секции, зависит от того, на какие параметры сжатия гидростоек настроит секцию оператор. Т. е. от опыта оператора. Поэтому современные системы не роботизированные, а частично автоматизированные линии. Но секция крепи характеризуются большим количеством гидроприемников, например, имеются выдвижные борта, предотвращающие просыпание боковых пород в межсекционные зазоры. Секции наклоняются, изменяют угол базирования к забойному конвейеру, в результате чего возникают перекрытые зазоры, через которые прорывается порода. Эти вопросы автоматизации не решены, хотя и актуальны, но главным вопросом «интеллектуализации» работы крепи является индивидуальное управление горным давлением для каждой лавы. Например, наличие неустойчивой непосредственной кровли способно максимально уменьшить степень использования автоматических функций, хотя существуют и способы предотвращения прорыва пород за счет оставления в кровле угольной пачки. Многие вопросы на шахте необходимо решать на месте, но для этого системы не приспособлены по причине наложения запретов и отсутствия эффективного ПО, в частности по учету горного давления. С этой точки зрения разработки ряда фирм направлены на создание возможностей учета состояния массива для автоматизированных систем. Например, при передвижке секций следует учитывать состояние кровли над крепью. Так, величина сжатия гидростоек определяется наличием обрушенных кусков породы на перекрытие. Опускание перекрытия должно быть таким, чтобы секция не цепляла их и, соответственно, передвигалась плавно, без разворотов [91].

Как же поместить показания датчиков? Очевидно, что это лучше выполнить на базе, моделирующей структуру крепи и иерархические связи элементов структуры, узлов и подузлов, с четкой привязкой индексов записей между реальными датчиками и записанными показаниями. Это, имея схему

расположения датчиков, выполняем на основе алгоритмов многомерных классификаций АМК и соответствующей базы. Такие базы представляют собой возможность хранения и обработки тотальной информации о крепи в логической связи её узлов и могут составляться для проектирования крепи, её улучшения, а также для управления крепью в лаве, и в частности в автоматическом режиме, с применением промышленных компьютеров. Хотя в последнем случае её можно видоизменить и столбцы, относящиеся к этапам проектирования, извлечь для уменьшения памяти и повышения скорости обработки данных. Ниже представлен вариант отдельного размещения базы данных «Датчики», а также основные элементы таблиц для этой базы. Понятно, что по фиксациям показаний датчиков можно судить не только о геомеханическом управлении массивом, но и состоянии крепи, например её гидроприёмников. В свою очередь, сущность аварий (отказов тех или иных устройств) можно проверить по глобальным записям других датчиков, чьи работы функционально связаны с соседями, причём комплекс основных отказов их основных и косвенных (по замерам соседних датчиков) идентификационных параметров устанавливается в программах, обслуживания. Несмотря на автоматизацию работ, просто использования интеллектуальных программ ещё недостаточно, о чем говорит обслуживание 8 каналов управления на секции, когда их может быть в 3-4 раза больше. В этом случае, как в любых робототехнических устройствах, резко усилится роль перепрограммирования машин в зависимости от конкретных условий.

Роль перепрограммирования тем выше, чем сложнее машина, тогда для неё можно разработать новые варианты схем работы, включающиеся в ответ на проявления и изменения среды работы. Например, для секции крепи типа «Глиник» в рамках пая (группы секций, обслуживаемых одним компьютером) можно составить 3 - 4 схемы передвижки, соответственно, столько же моделей поведения секции всей группы крепи и столько же моделей управления крепью. Перепрограммирование же в частном в случае выполняется тогда, когда все программы не могут разместиться в памяти компьютера, или при решении принципиально новой задачи, возникшей в забое, например в аварийной ситуации. Иногда в рассматриваемом направлении необходимо сосредоточить основную интеллектуальную мощь робототехнических и компьютерных систем и даже исследовать некоторое надвигающееся событие или явление, создать для этого базу наблюдений, что возможно на основе алгоритмических подходов АМК.

Создано значительное количество новых программ, локализируются известные зарубежные пакеты. При этом зарубежные пакеты стоят в десятки раз дороже отечественных, что не всегда оправданно, так как их комплексный сравнительный технико-экономический анализ не проводился.

Система управления механизированными крепями очистных работ с электронным управлением предназначена для увеличения объемов добычи и обеспечения безопасных условий труда, для возможности управления оператором дистанционно осуществлять любую из функций управления механизированной крепью

в любой последовательности и по заданной программе. Схема сопряжения интерфейсом ввода – вывода информации (рисунок 5.3).

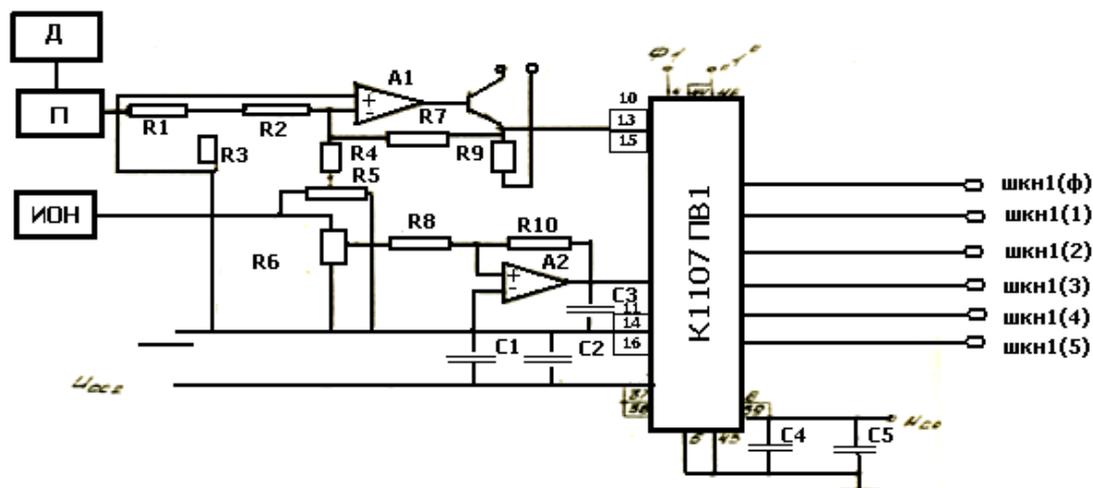


Рисунок 5.3 – Схема сопряжения интерфейсом ввода – вывода информации: Д – датчик; П – преобразователь; ИОН – источник опорного напряжения

Система должна обеспечивать автоматическое управление операциями секций крепи, получение информации о состоянии секций, дистанционное и ручное управление разгрузкой, передвижкой, распором секций, передвижкой конвейера.

Система автоматизации механизированной крепи включает следующие подсистемы:

- дистанционное и автоматизированное управление гидрораспределителя;
- дистанционный контроль над полнотой передвижки секций, их распором, номером управляемой секции;
- автоматический контроль за прямолинейностью базы (конвейера, крепи);
- контроль над состоянием гидросистемы, регулирование сопротивления крепи и средств передвижки секции с подпором.

Конструкция секций крепи и электрогидравлическая система управления позволяют управлять на запрограммированном расстоянии от выемочного манипулятора по сигналам датчиков или командам оператора. Автоматическая передвижка секций крепи и согласованность её с процессом выемки обеспечивается за счет применения электрогидроклапанов ЭКУ, датчиков положения и контроля секций крепи, давления и управляющих сигналов от микропроцессоров. Перемещение забойного конвейера зависит от кривизны и положения.

Управление крепью осуществляется по управляющим сигналам микроЭВМ, которая выдает управляющие сигналы на группу секций. Управление секциями крепи в группе осуществляется микропроцессором. Микропроцессоры, управляющие группами секций крепи, устанавливаются в искровзрывобезопасных корпусах, размещаемых на базовой секции [101-131].

Подсистема управления крепью позволяет устанавливать необходимый режим работы (выбор секции, передвижка, контроль над передвижкой секции и конвейера, контроль над предварительным распором стоек, секций); повторять команду на передвижку секции, не выполнившей в заданное время цикла автоматической передвижки; устанавливать и при необходимости корректировать расстояние между секцией и выемочным манипулятором.

Информация о состоянии секций крепи от датчиков переднего, заднего, предварительного распора через устройства выемки и хранения информации поступает на микропроцессор, который управляет электрогидравлическим клапаном управления (ЭКУ) секции.

Основные функции датчиков, применяемых для автоматизации крепи: защита от превышения усилий положения секционной группы; информация для управления: давление в гидросистеме, перемещение гидродомкратов секции крепи; применяемые датчики и устройства: датчик давления, предохранительный клапан, датчик положения.

### **5.5 Выбор и обоснование электрогидравлических устройств сопряжения и датчиков**

При выборе электромагнитных клапанов необходимо определить следующие моменты:

- источник питания переменного или постоянного тока;
- наличие колебаний напряжения и их величину;
- частоту переменного тока;
- импульсное или непрерывное управление;
- давление и температуру жидкости;
- расход (диаметр отверстия и т.д.);
- окружающая среда при эксплуатации (температура, пыль, агрессивная среда, взрывоопасная атмосфера и т.д.);
- требуемые функции;
- частота переключения (в Гц, мин<sup>-1</sup> и т.д.);
- надежность.

Электромагнитные клапаны управляют движением золотника и подают жидкость или газ под высоким давлением в исполнительный механизм. Кроме того, при перемещении золотника могут выполняться только переключения направления подачи рабочего тела по принципу «включено-выключено». В отличие от электромагнитных и электрогидравлических преобразователей посредством электромагнита осуществляется перемещение золотника, пропорциональное величине входного электрического сигнала.

Основные функции датчиков, применяемые для выемочных работ комплекса:

- для комбайна-манипулятора – стабилизация нагрузки, скорости движения, движение в заданном направлении относительно вмещающих пород; информация для управления – нагрузка для привода, скорость перемещения

комбайна, положение границы «уголь-порода»; применяемые датчики и устройства – датчик тока электродвигателя, датчик скорости движения комбайна, датчик контроля границы «уголь-порода»;

- для крепи – защита от повышения усилий положения секционной группы; информация для управления – давление в гидросистеме, перемещение элементов секции крепи; применяемые датчики и устройства – датчик давления, предохранительный клапан, датчик положения;

- для конвейера – защита от перегрузок привода конвейера; информация для управления – нагрузка привода; применяемый датчик – датчик тока электродвигателя.

## **5.6 Алгоритм управления механизированного комплекса при селективной выемке**

При работе выемочного манипулятора по челноковой схеме с разворотом стрелы исполнительного органа по концам лазы выемка пласта осуществляется качательным движением исполнительного органа. При первом проходе манипулятора вынимается породный прослой, затем, после разворота исполнительных органов, вынимается угольный массив на всю величину мощности пласта с передвижкой крепи и конвейера вслед. Уголь транспортируется из очистного забоя до погрузочного пункта при прямом ходе реверсивного штрекового конвейера. Порода подается забойным конвейером на штрековый реверсивный конвейер с переключателем на обратный ход. Порода подается далее в закладочный комплекс и после переработки через трубопроводы разбрасывается за секции механизированной крепи в выработанное пространство полосой в 20-40 м, вдоль конвейерного штрека, что позволяет повторно использовать выработку при отработке следующего выемочного столба. Программа управления крепью при челноковой схеме реализует следующие режимы работы комплекса:

– установление режима передвижки крепи (автоматический или дистанционный);

– установление режима работы (выбор секции, передвижка секции, контроль за передвижкой);

– контроль за предварительным распором стоек секций; повторение команд на передвижку секции при наличии невыполнения команды.

Для функционирования автоматизированной крепи в автоматическом режиме работы выемочного комплекса необходим обязательный контроль конечных положений секций крепи на шаге передвижки. После прохода выемочного манипулятора поступает сигнал на передвижку секции крепи, которая перемещается к конвейеру на шаг передвижки в переднее положение [66-86].

В момент распора секции возможен отход цилиндра гидродомкрата за счет выбора зазоров соединительной цепи, образовавшихся в процессе выдвигки гидродомкратов, и, таким образом, возможна потеря информации о положении секции в момент контроля. Когда шток и цилиндр полностью выдвинуты друг

относительно друга по окончании передвижки конвейера, фиксируется заднее положение секции крепи. Для обеспечения необходимой линии забоя, кроме прямолинейной, необходимо равномерное перемещение крайних секций крепи, для чего необходим контроль пути перемещения. Постоянный контроль необходим также для избегания сползания крепи по падению пласта вдоль забоя. Контроль всех данных параметров осуществляется с помощью датчиков положения (рисунок 5.4).

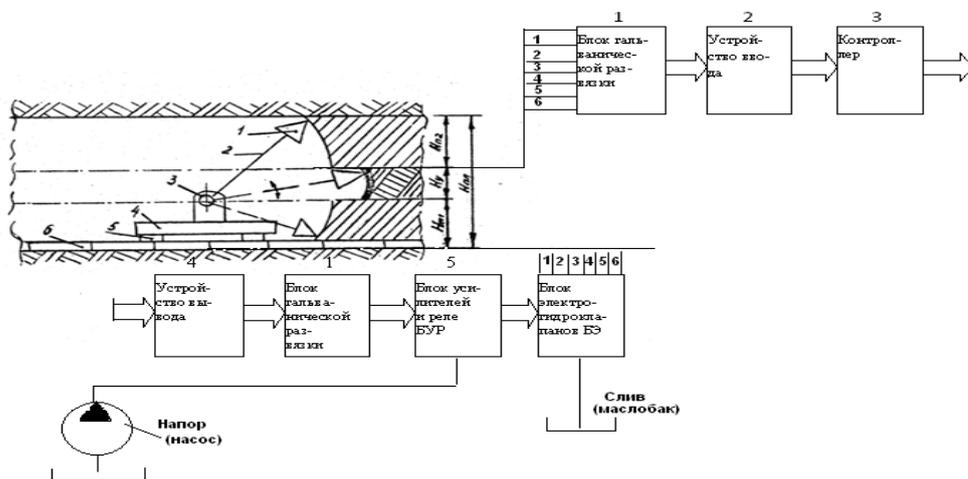


Рисунок 5.4 – Функциональная схема системы управления механизированными крепями 2ОКП-70

Для создания роботизированного комплекса для селективной выемки угольных пластов с оставлением породы в шахте КРС разработана микропроцессорная система управления, предназначенная для автоматического и дистанционного управления выемочным манипулятором ВМФ, механизированной крепью 2ОКП-70 и лавным конвейером СКУ-45 при добыче угля без постоянного присутствия людей в очистном забое.

Основные функции системы управления:

- автоматическое управление выемочным манипулятором ВМФ по заданной программе ;
- управление механизированной крепью 2ОКП-70 по заданной программе;
- управление реверсивным конвейером СП-63М на штреке;
- управление забойным конвейером типа СКУ-45;
- управление закладочным комплексом «СТАРТ»;
- автоматическое регулирование нагрузки при различных диаметрах резцовых коронок ВМФ;
- изменение программы работы комплекса в зависимости от горно-геологических условий;
- дистанционное управление ВМФ;
- дистанционное управление крепью 2ОКП-70;
- обеспечение необходимых видов защиты и блокировок.

Система управления включает локальные системы управления ВМФ и крепью 2ОКП-70, устройства передачи и приема информации, управляющее устройство.

Микропроцессорная система управления роботизированным комплексом для селективной выемки выполнена на основе центрального процессора КР580СИК80А, модуль схем сопряжения реализован на микросхемах серий К155 и К589, оперативное запоминающее устройство изготовлено на микросхемах 565 серии, перепрограммируемое устройство – на БИС КР573РФ2.

Системная магистраль позволяет подключать устройства сопряжения для автоматического управления комплексом. Набор таких устройств и соответствующая различным схемам обработки забоя программа управления, помещаемая в модуле программируемого запоминающего устройства, служат для проведения работы комплекса в различных режимах выемки угля с учетом гипсометрии пласта.

В настоящее время создание роботизированных комплексов в угольной промышленности предполагает постепенный переход к применению комплекса технических средств многофункционального назначения (микропроцессоры, микро-ЭВМ). Аппаратура автоматизации очистного оборудования позволит повысить безопасность труда обслуживающего персонала за счет обеспечения управления операциями добычных процессов на расстоянии нахождения обслуживания в безопасном пространстве. В целях ускорения технического перевооружения угольных шахт необходимо создание и внедрение роботизированных угледобывающих комплексов, а также очистных агрегатов для добычи угля без постоянного присутствия людей в очистном забое. Общей целью управления комплексами с использованием микропроцессорных систем является обеспечение максимальной производительности труда при минимальном времени пребывания людей в зоне выемки.

Разработанная микропроцессорная система управления выемочным комплексом предназначена для автоматического и программного управления выемочным манипулятором, механизированной крепью и лавным конвейерам при ведении селективной выемки. В состав устройства входят локальные системы управления манипулятором типа ВМФ и механизированными крепями типов СКП-70, М130. Выемочные манипуляторы с тремя степенями подвижности позволяют избирательно обрабатывать угольный массив, на чем и основывается селективная технология выемки. Выдаваемая из лавы порода закладывается в выработанное пространство закладываемой части лавы [63, 64].

На основе экспериментальных исследований и литературных источников подготовлены исходные данные на создание флангово-фронтальных технологических поточных процессов при селективной выемке.

В цифровой технике, в частности микропроцессорной, получила распространение двоичная система счисления, что связано с удобством представления информации. К примеру, высокий уровень электрического сигнала воспринимается как единица – 1, а низкий или уровень в 0 вольт – как 0. Основанием двоичной системы счисления служит число 2. Двоичный код числа, эквивалентный привычному десятичному, выглядит следующим образом:

Таблица 5.2 – Система счисления

Десятичный	Двоичный
0	Ø
1	1
2	1Ø
3	11
4	1ØØ
5	1Ø1
6	11Ø
7	111
8	1ØØØ
9	1ØØ1
10	1Ø1Ø

В двоичном представлении число  $721 = 7 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0$  можно записать:

$721 = 1 \cdot 2^9 + Ø \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + Ø \cdot 2^5 + Ø \cdot 2^4 + Ø \cdot 2^3 + Ø \cdot 2^2 + 1 + 2^1 + Ø \cdot 2^0$  или  $721_{10} = 1Ø11ØØØØ1Ø_2$ , где числа-индексы - основания систем счисления.

Над числами, представленными в двоичной системе счисления, можно выполнять арифметические действия, причем правила сложения, вычитания, умножения и деления, в принципе, не отличаются от правил десятичной арифметики.

Помимо арифметических действий над двоичными числами выполняются логические операции, такие как двоичная логика, или Булева алгебра. К логическим относятся следующие операции: И, ИЛИ, НЕ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Так, при выполнении операции И над числами  $Ø11Ø1_2$  и  $Ø1Ø11_2$  результатом будет  $Ø1ØØ1$ . Действия производится поразрядно, т.е.

"1" И "1" дает "1"

"1" И "Ø" дает "Ø"

"Ø" И "1" дает "Ø"

"Ø" И "Ø" дает "Ø".

При выполнении операции ИЛИ - результат  $Ø1111_2$ , т.е.

"1" ИЛИ "1" дает, "1"

"1" ИЛИ "Ø" дает "1"

"Ø" ИЛИ "1" дает "1"

"Ø" ИЛИ "Ø" дает "Ø".

При выполнении операции ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ результат  $11ØØ1$ .

При выполнении операции НЕ над числом  $Ø11Ø1$  - результатом будет  $1ØØ1Ø$ , т.е. Ø заменится "1", а "1" - "Ø".

В процессе работы ЭВМ в качестве управляющей (контроллер) результаты опросов датчиков обрабатываются процессором. В зависимости от показаний

датчиков принимается решение о дальнейших действиях механизма и управляющие воздействия выдаются на исполнительные устройства.

Рассмотрим процессы, происходящие в системе управления. Для простоты примем за управляемый механизм гидродомкрат (рис. 5.5). Датчиком в данном случае может служить концевой выключатель, или геркон (сокращение от «герметичный контакт»), тогда при крайнем левом по рисунку положении штока гидродомкрата будет замкнут датчик 1, и датчик 2 разомкнут, а при крайнем правом – разомкнут датчик 1, и датчик 2 замкнут. Замкнутый датчик будет давать на выходе уровень 1, разомкнутый – уровень Ж. На входе устройств ввода в первом случае будет присутствовать двоичный код 1Ж, во втором – Ж1. Тогда в ходе выполнения программы контроллер считает один из указанных кодов с устройства ввода и выделит замкнутый датчик. Выделение замкнутого датчика производится выполнением логической операции над полученным из УВ кодом и числом, отражающим ожидаемый результат опроса датчиков. Скажем, контроллер подал команду на выдвижку домкрата и находится в ожидании окончания выдвижки (шток движения вправо). Программист при составлении программы управления заведомо знает, что результатом выдвижки домкрата должен явиться код из УВ «Ж1», что он и закладывает в программу, в команде А Ж1<sub>2</sub>, чисто в поле оператора – маска (логическое И над числом, указанным в команде, и числом, полученным из УЗ), в результате выполнения которой Ж1<sub>2</sub> получится только при замыкании датчика 2. Если результат не Ж1<sub>2</sub>, то выдвижка не окончена. Если результат Ж1, то выдвижка не окончена. Если результат Ж1, то выдвижка окончена, и можно перейти к следующей операции.

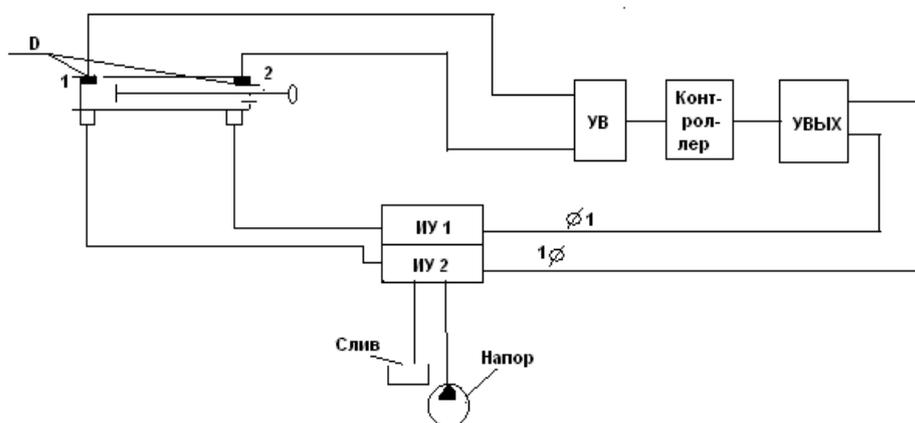


Рисунок 5.5 – Схема управления исполнительными механизмами (гидродомкратами, гидростойками) механизированной крепи

Управляющее воздействие на управляемые механизмы выдается контроллером через устройство вывода также в двоичном коде. Исполнительными устройствами в нашем случае служат электрогидроклапаны, которые управляют потоками жидкости коммутацией линий напор-слив.

В условиях корпуса реализована система управления четырьмя секциями крепи.

Она предусматривает считывание кодов датчиков секции крепи контроллером через оптронную гальваническую развязку и устройство ввода с шифрацией кодов, контроллер, устройство вывода с дешифратором и фиксацией управляющих воздействий, блок усилителей и реле и блок электрогидроклапанов.

Система работает с использованием принципов, описанных выше.

Таблица 5.4 – Программа автоматического управления секциями механизированной крепи

Метка	Мнемокод	Код	Комментарий
	TITLE	CONTROL	
	DS	00000H	
	JMP	00003H	
	MVI	A,82H	
	STA	0FF03H	Инициализация
	MVI	D,02H	
	LXI	H,MEM1	
	MVI	A,98H	
	STA	0F803H	
	MVI	A,0IH	Выбор объекта управления
	STA	0F802	
	JMP	M13	Переход на программу управления
M14:	LXI	H,MEM2	
	MVI	A,02H	Инициализация
	STA	0F802H	Выбор объекта управления
M13:	MOV	A,M	Передвинуть конвейер
	STA	0F80IH	
M3:	LDA	0F800H	Ожидание исполнения
	ANI	04H	
	JNZ	M3	
M4:	LDA	0F800H	Ожидания исполнения
	ANI	08H	
	JZ	M4	
	INX	H	Опустить стойки и козырек секций крепи
	MOV	A,M	
	STA	0F80IH	
M1:	LDA	0F800H	Ожидание исполнения
	ANI	02H	
	JNS	M1	
M2:	LDA	0F800H	
	ANI	0IH	
	JZ	M2	
	INX	H	Передвинуть секцию крепи
	MOV	A,M	

	STA	ØF8ØIH	
M8:	LDA	ØF8ØØH	Ожидание исполнения
	ANI	Ø8H	
	JNZ	M7	
	LDA	ØF8ØØH	
	ANI	Ø4H	
	JZ	M8	
	INX	H	Распереть секцию крeпи
	MOV	A,M	
	STA	ØF8ØIH	
M10:	LDA	ØF8ØØH	Ожидание исполнения
	ANI	ØIH	
	JNZ	MIØ	
M11:	LDA	ØF8ØØH	
	ANI	Ø2H	
	JZ	MII	
	DOR	D	Перейти к управлению следующим объектом или закончить работу
	MVI	A,ØIH	
	ANA	D	
	JNZ	MI4	
	MVI	A,Ø2H	
	STA	ØF8ØIH	
M15:	NOP	ØØ	
	JMP	H15	
MEM1:	DB	5IH,8IH,6IH,7IH	Банк слов управления секциями
MEM2	DB	52H,82H,62H,72H	

Алгоритм, представленный блок-схемой, предусматривает: в блоках «Начало и инициализация» происходит начальная установка регистров микропроцессора; в блоке «Передвижка секции конвейера» выдается команда на передвижку, выполнение которой контролируется блоком 4; в блоке 5 выдается команда на снятие распора, что контролируется блоком 6; в блоке 7 – команда «Передвинуть секцию», исполнение контролируется блоком 8; 9 – распор секции с контролем 10. Далее контроллер производит оценку состояния счетчика передвинутых секций, реализованного на одном из регистров микропроцессора или на отведенной под счетчик ячейке памяти, и если последняя из группы секций уже передвинута, то цикл передвижки заканчивается. Для повтора цикла в нашем случае требуется вмешательство оператора (рисунок 5.6).

### **5.7 Разработка алгоритмов и управляющих программ для управляющей системы на базе МПК серии РМ-4**

Управление вышеприведенными процессами можно передать системе управления на базе МПК. Алгоритмы управления в данном случае будут иметь следующий вид (рисунок 5.7).

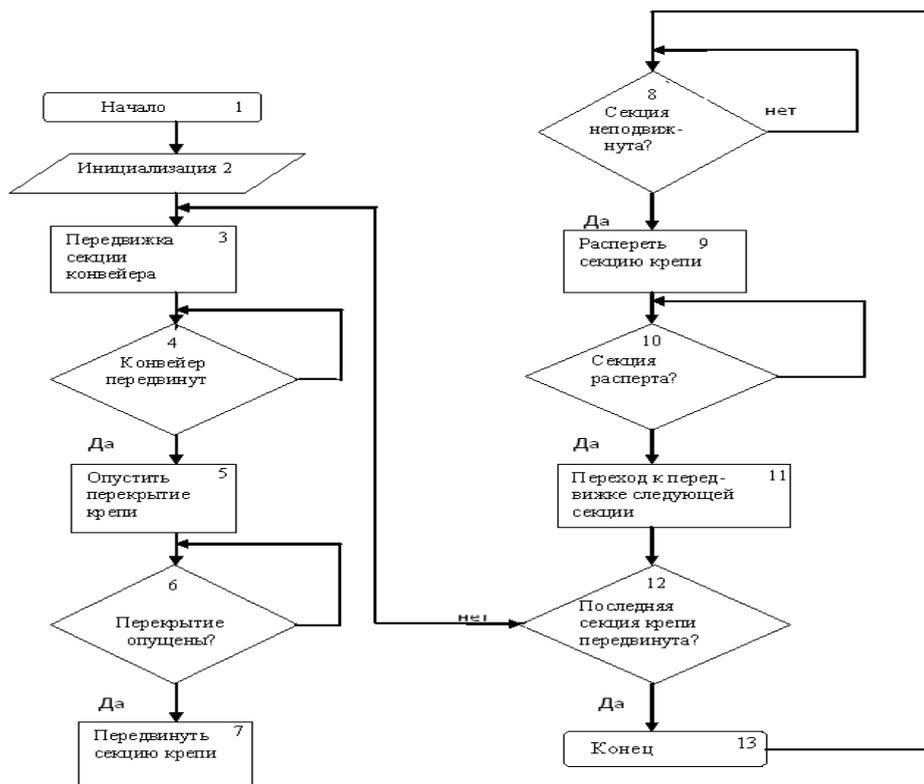
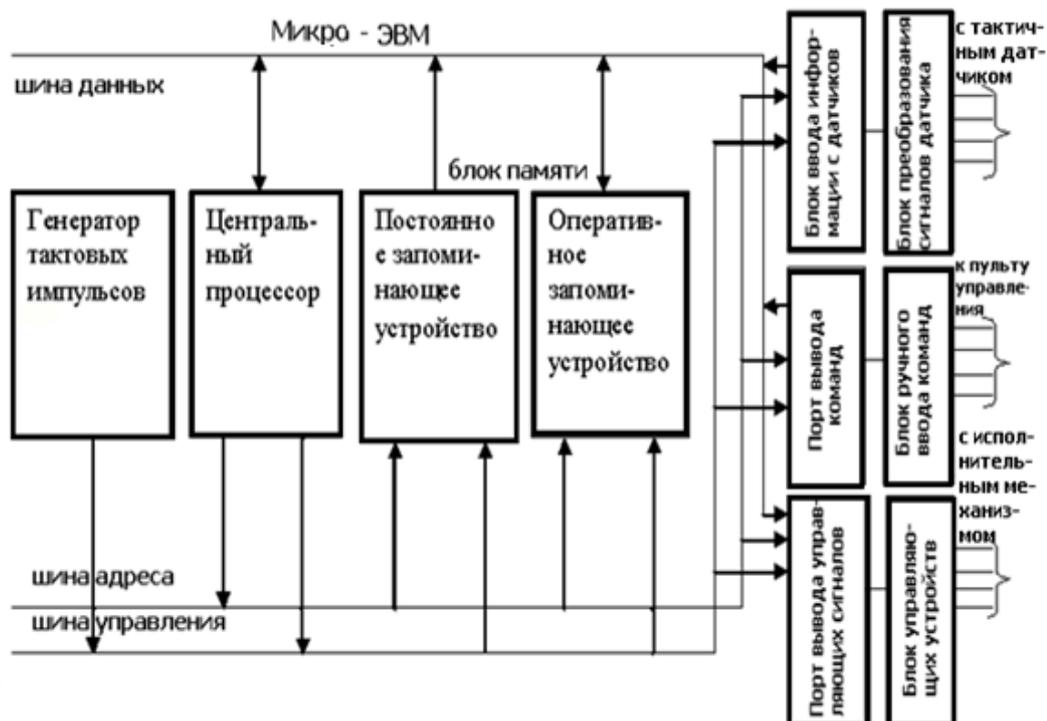


Рисунок 5.6 – Блок-схема управления механизированными крепями 20КП-70



### Рисунок 5.7 – Микропроцессорная система управления ВМФ-5

Сигнал с датчика тока, преобразованный соответствующим устройством в цифровую форму, поступает на вход МПС. МП сравнивает этот сигнал величиной, заложенной в его памяти, и в зависимости от результата передает управление соответствующим исполнительным органам, в данном случае электрораспределителю, осуществляющему поступательное движение исполнительного органа. После выдачи сигналов управления на выходной порт 2 о движении исполнительного органа или в случае, если ток нагрузки не выходит из заданных пределов, МП запрашивает другой входной порт о наличии сигналов с датчиков положения исполнительного органа манипулятора. В случае, если сигнал поступает, МП в зависимости от его вида выдает соответствующий сигнал на подъем или опускание стрелы исполнительного органа. Затем идет проверка по нагрузке исполнительного органа. Алгоритм управления построен таким образом, что все операции управления выполняются последовательно. Это связано с тем, что МП серии РМ-4 не в состоянии одновременно выполнять обработку двух или нескольких операций, что было бы желательно в данном процессе управления. Приоритет какой-либо части алгоритма нежелателен в связи с возможностью «зацикливания» программы по этой части. Быстродействие же вычислений МП позволяет создать систему управления без ущерба для выполнения технологических операций.

Для реализации данного алгоритма управления необходимо составить программу обработки данных и выдачи управляющих сигналов для МПК серии РМ-4.

Для написания программы используем язык ассемблера. Он ассемблера имеет следующие достоинства:

- символические ссылки;
- легко вносить изменения с повторной трансляцией;
- символические коды легко воспринимать;
- предусматриваются средства облегчения программирования;
- величины могут задаваться как параметры;
- предусматривается контроль ошибок.

К недостаткам можно отнести:

- требуется система ассемблера (аппаратура проектирования, терминал);
- необходимо изучить правила и форматы языка ассемблера.

Из сказанного выше видно, что для данной системы управления этот язык приемлем.

МПК серии РМ-4 имеет около 100 команд. Формат команд может изменяться от 1 до 3 байт.

В МП РМ-4 заложено четыре основные адресации. Метод прямой адресации позволяет запомнить непосредственно содержимое аккумулятора или пары регистров  $H - L$  в ячейке памяти с адресом, определенным двумя байтами информации, считываемой последовательно из двух ячеек памяти, адрес которых на «+1» отличается от адреса самой команды. Возможна такая прямая загрузка аккумулятора и регистров  $H, L$ .

Таблица 5.5 – Программа системы управления манипулятором

Метки	Мнемокоды команд	Комментарии
BEGIN	IN 2	(INP PORT) – А
	CPI 11	Сравнить 1 с (А)
	JP M1	Если результат сравнения строительный – перейти на метку M1
	MVI A.21	А – (Z1)
	OUT 2	(А) – OUT PORT 2
	JMP M3	Перейти на метку M3
M1	CPI 12	
	JM M2	Если результат сравнения положительный – на метку M2
	MVI A.22	
	OUT 2	
	JMP M3	
M2	MVI A.20	
	OUT 2	
M3	IN 1	(INP PORT1) А
	ANI 00000013	Сравнить данный байт с содержимым манипулятора
	JNZ M4	Если результат сравнения не нулевой – перейти на метку M2
	MVI A.23	
	OUT 1	(А) OUT PORT1
	JMP BEGIN	
M4	ANI 00000010B	
	JMZ BEGIN	
	MVI A.24	
	OUT 1	
	JMP BEGIN	
11	EOU X	Кодированное значение нижнего порога тока нагрузки
12	EGU Y	Кодированное значение верхнего порога тока нагрузки

Метод непосредственной адресации позволяет передать в любой регистр или пару регистров данные, считываемые из ячеек памяти, расположенных за той ячейкой, из которой была считана команда. Подразумеваемая адресация используется при адресации регистров. Индексруемая адресация позволяет использовать содержимое пар регистров D-E или *H-L* или *N* в качестве 16-разрядных индексов для данных, вводимых в память или хранимых в ней. При выполнении стековых операций используется инкрементная и декрементная адресация содержимого регистра-указателя стека.

По имеющемуся алгоритму составляем программу для реализации системы управления (таблица 5.5). Рассмотрим последовательность команд, приведенных в программе. Изменение нагрузки на валу двигателя исполнительного органа фиксируется на входном порте №2 и заносится в аккумулятор командой IN2.

Затем эта величина сравнивается с уставкой тока, занесенной в память МП. В случае, если действительное значение тока меньше заданного, подается управляющий сигнал на выходной порт о движении исполнительного органа вперед. В случае, если действительное значение больше заданного, управление передается команде с меткой М1. На этом этапе действительное значение тока сравнивается с верхним значением уставки. В случае, когда действительное значение не превышает рамок уставки тока, подается управляющий сигнал на отключение домкратов подачи исполнительного органа. Если это условие не выполняется, после выполнения соответствующей операции подачи вперед-назад исполнительного органа управление передается на команду с меткой М3. На этом этапе проверяется движение исполнительного органа в вертикальной плоскости. Проверка идет по содержимому байта, поступившего с входного порта №1. В случае совпадения содержимого заданный управляющий сигнал подается на выходной порт, а затем происходит передача управления на начало программы.

### **5.8 Разработка функциональных схем управляющей системы манипуляторов агрегата ВМФ-5**

После того как завершено создание рабочей программы и в тот момент, когда эта программа выполняется на МП, для которого она предназначена, возникает задача обеспечения взаимодействия МП с различным периферийным оборудованием типов аналого-цифровых преобразователей, исполнительных реле, датчиков и т. П .

Так как каждое периферийное устройство характеризуется своим особым набором действий, совершаемых при вводе-выводе, средства интерфейса, т. е. сопряжения между микроЭВМ и периферией, в каждом случае также должны быть различны. В нашем случае под интерфейсом понимаем систему связей между входным оборудованием (датчиками) и микроЭВМ, а также между микроЭВМ и выходными устройствами (электромагнитами и электрогидрораспределителями).

С датчиков положения исполнительного органа поступает сигнал в виде импульса. Необходимо, чтобы эти сигналы были переданы в микроЭВМ и запоминались в триггере. Содержимое триггера может быть опрошено, когда это требуется по программе. После этого триггер может быть сброшен при помощи сигнала, вырабатываемого микро-ЭВМ. Таким образом, реализуется периодическая проверка положения исполнительного органа под управлением программы.

Опрос буферного триггера производится через входной порт №1, который передает данные в аккумулятор, где над ним выполняются логические и арифметические операции. Входной порт вводит информацию только тогда, когда имеется сигнал разрешения ввода. Разрешение ввода – это сигнал, который вырабатывается микроЭВМ, когда в программе встречается команда ввода. Адрес в этой команде задает номер порта.

Таким образом, мы выбрали следующий вариант обмена между микро-ЭВМ и периферийными устройствами – обмен данными, проходящими в процессе программируемого ввода-вывода. В этом случае момент времени, в который должен начаться обмен данными, определяется ходом выполнения рабочей программы. Конкретный вид команды ввода-вывода, появившейся в рабочей программе, обуславливает организацию нужной последовательности управления в системе.

С датчика тока поступает аналоговый сигнал. Для того чтобы он поступил на входной порт МП в виде, удобном для обработки, в цепь включается аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Уровень нагрузки преобразуется в электрическую форму датчиком тока. Если выходные сигналы датчика недостаточно высоки для работы со схемами обработки, для увеличения их уровня применяются усилители, входящие в состав АЦП. Активные фильтры удаляют из сигналов высоко – и низкочастотные составляющие сигналов, а специальные электронные схемы используются по необходимости для сжатия сигналов. Отфильтрованные сигналы переключаются аналоговыми мультиплексорами и передаются в аналоговые накопители. Мультиплексор объединяет сигналы от множества источников аналоговых сигналов. Аналоговый накопитель поддерживает полученный уровень сигнала постоянным в течение заданного интервала времени. Поэтому АЦП получает на входе постоянный уровень сигнала, подлежащий преобразованию. Преобразованные данные в цифровой форме передаются в периферийный интерфейсный адаптер и затем через информационную магистраль в МП (рисунок 5.8).

Параллельный периферийный адаптер является однокристалльным интерфейсным устройством ввода-вывода. Он предназначен для сопряжения МП с различными устройствами ввода-вывода и имеет 24 линии ввода-вывода, которые могут быть запрограммированы в соответствии с используемыми устройствами ввода-вывода (УВВ).

Буфер данных (БД), входящий в состав параллельного периферийного адаптера (ППА), служит для связи внутренней шины ППА с системной шиной микроЭВМ. Обмен информацией осуществляется по командам ввода (IN) и вывода (OUT).

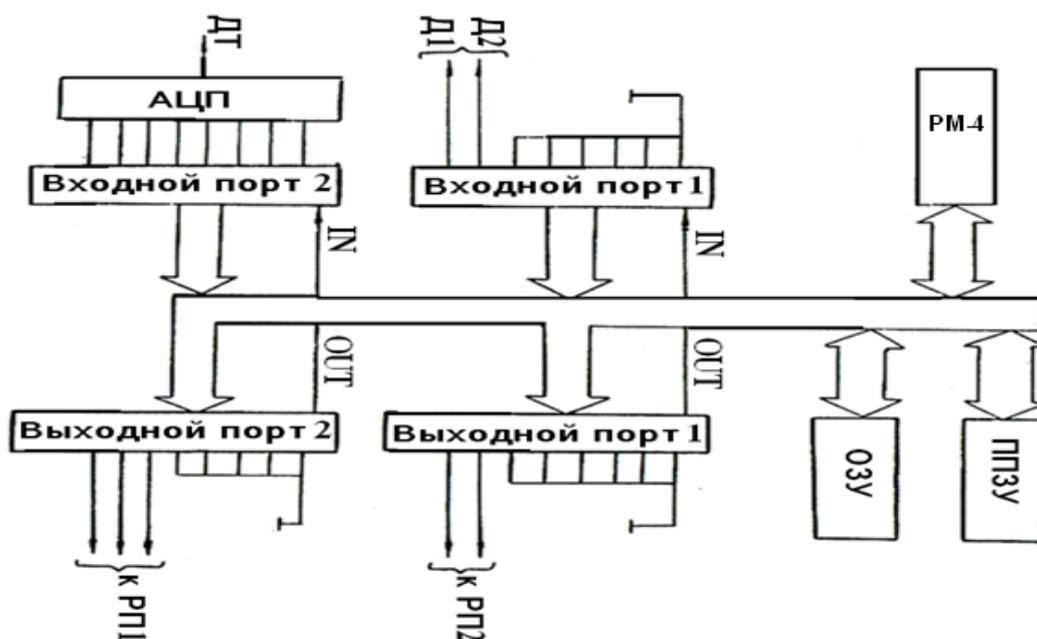


Рисунок 5.8 – Микропроцессорная система алгоритма управления ВМФ-5

Устройство управления записью и чтением предназначено для управления всеми внутренними и внешними передачами информации.

МП выдает в ППА управляющее слово, которое содержит информацию о режиме работы каналов, направлении обмена, необходимости установки и сброса отдельных разрядов и некоторую другую.

Каждое из устройств управления каналами получает управляющее слово из внутренней магистрали и выдает управляющие сигналы в связанные с ним каналы.

В ППА возможны три режима ввода-вывода: основной (режим 0), управляемый (режим 1) и двунаправленной магистрали (режим 2). Режим работы задается управляющим словом, засылаемым в регистр управляющего слова с помощью команды вывода (*OUT*) перед основной операцией ввода и вывода. Для изменения режима необходимо в управляющий регистр занести новый код.

С помощью управляющего слова можно устанавливать или сбрасывать отдельные разряды управляющего регистра, что приводит к формированию соответствующих сигналов на линиях канала, используемых в качестве управляющих.

В режиме 0 содержимое аккумулятора по команде вывода записывается в буферный регистр канала, адрес которого указывается в этой команде и одновременно появляется на выходной шине этого канала. Если выполняется команда ввода, то входная информация из соответствующего канала заносится в аккумулятор МП.

В режиме 1 каждому каналу А и В придается по три линии канала С для передачи управляющих сигналов. Назначение трех управляющих линий различно для ввода и вывода.

В режиме 2 канал А позволяет подключить УВВ с двунаправленной магистралью, по которой производится ввод – вывод информации.

При работе канала А в режиме 1 или 2 канал В может быть запрограммирован на режим 1 или 0. При этом направление передачи информации (ввод – вывод) устанавливается при настройке ППА произвольно и независимо.

Использование канала С в режиме Т или в режиме 2 для приема и передачи управляющих сигналов позволяет выполнением команды ввода (*IN*) содержимого канала С вызвать в МП состояние ППА, совпадающее с текущим значением управляющих сигналов или вырабатываемых признаков.

Устройство датчиков положение следующее (рисунок 5.9).

Для согласования уровня напряжений датчиков и входных устройств МП, а также выходных устройств и исполнительных механизмов используем схемы усилителей, построенных на транзисторах.

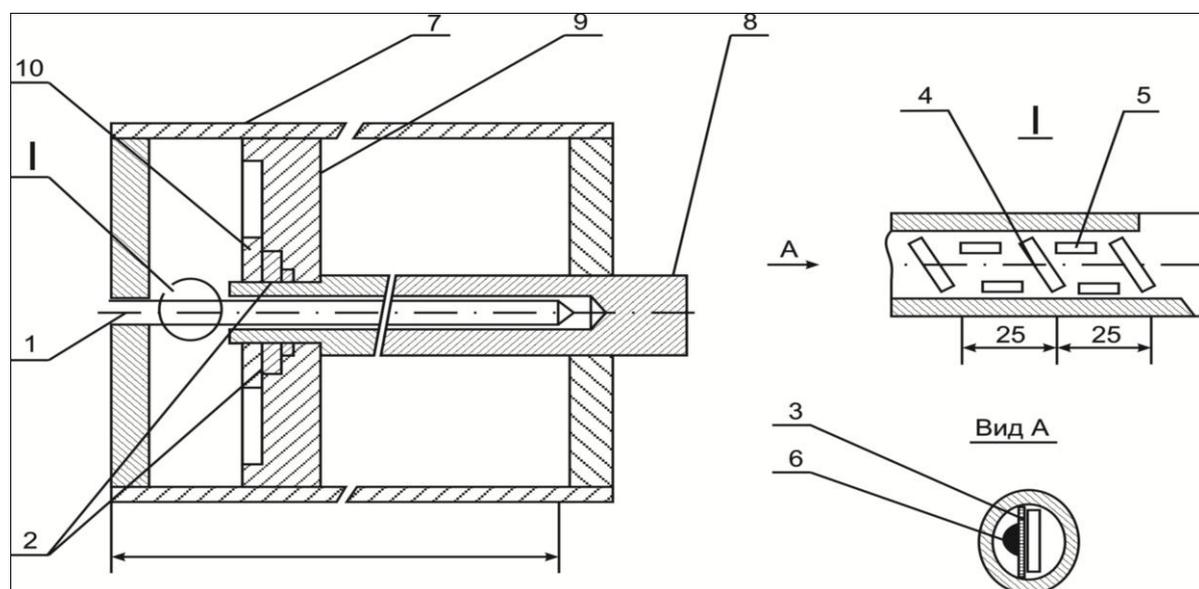


Рисунок 5.9 – Датчик положения гидроцилиндра

Датчики положения гидродомкрата встроены в гидродомкрат, содержат герконы. Вся инструкция датчика собирается в гильзе 1 на плате 3 и включает в себя герконы 4 и шифратор, собранный на диодах 5. Количество проводов в жгуте 6 равно  $n = 2K + 1$ , где  $K=2$  – количество герконов, зависящих от длины гидроцилиндра. Гильза в сборе крепится на дно гидроцилиндра 7 посредством вкручивания с уплотнением. В штоке 8 сверлится отверстие, большее по глубине, чем длина гильзы 1, выполненной из немагнитного материала. Взаимодействие геркона с магнитом 2, установленным на штоке 8 с поршнем 9 и закрепленным гайкой 1, дает сигнал о движении штока гидродомкрата в текущий момент работы. Шаг квантования датчика – 20 мм.

Для согласования уровня напряжений датчиков и входных устройств МП, а также выходных устройств и исполнительных механизмов используем схемы усилителей, построенных на транзисторах.

Полученная схема управляющей системы будет выглядеть следующим образом (рисунок 5.10). Сигналы от тактильных датчиков через соответствующие усилители подаются на вывод входного порта МП. Сигнал с датчика тока преобразуется в АЦП и, преобразованный, поступает со входного порта. Таким образом, используются два входных порта. С выходных портов сигналы, преобразованные транзисторными усилителями, поступают на соответствующие электромагниты электрогидрораспределителей, с помощью которых и происходит управление включением и выключением работы гидродомкратов.

Для сопряжения датчиков и исполнительных механизмов с портами ввода-вывода МПС применяем стандартные микросхемы 9 (рисунок 4.7). Характеристика микро – ЭВМ в значительной степени определяется организацией обмена информацией между МП, основной памятью и внешними устройствами.

В процессе вывода информации схемы ввода-вывода выполняют следующие операции:

- по заданному МП адресу порта производится селекция того порта вывода, который должен принять решения, передаваемые из МП;
- по команде **1N** данные передаются из МП в порт вывода;
- порт принимает данные, после чего они становятся доступными для исполнительных механизмов.

Порт вывода представляет собой регистр, в котором данные не изменяются до тех пор, пока не будет выполнена новая операция вывода информации.

Выполнение команды вывода информации **OUT** распадается на два цикла: цикл выборки команды и цикл выполнения команды ввода-вывода. Почти аналогично выполнение команды ввода. МП может обращаться также не только к портам ввода-вывода, но и к ячейкам памяти ОЗУ и ППЗУ. МП в начале каждого цикла выдает 8 разрядов состояния на шину данных. Это производится в течение интервала времени, когда 16-разрядный адрес подается на адресную шину. Данные разряды фиксируются при помощи выдаваемых процессором синхроимпульсов и присутствуют в течение оставшейся части функционального цикла для использования при выборе и управлении подсистемами. В частности, состояния «ввод» и «вывод» применяются непосредственно для отпириания соответствующих подсистем в течение циклов ввода и вывода.

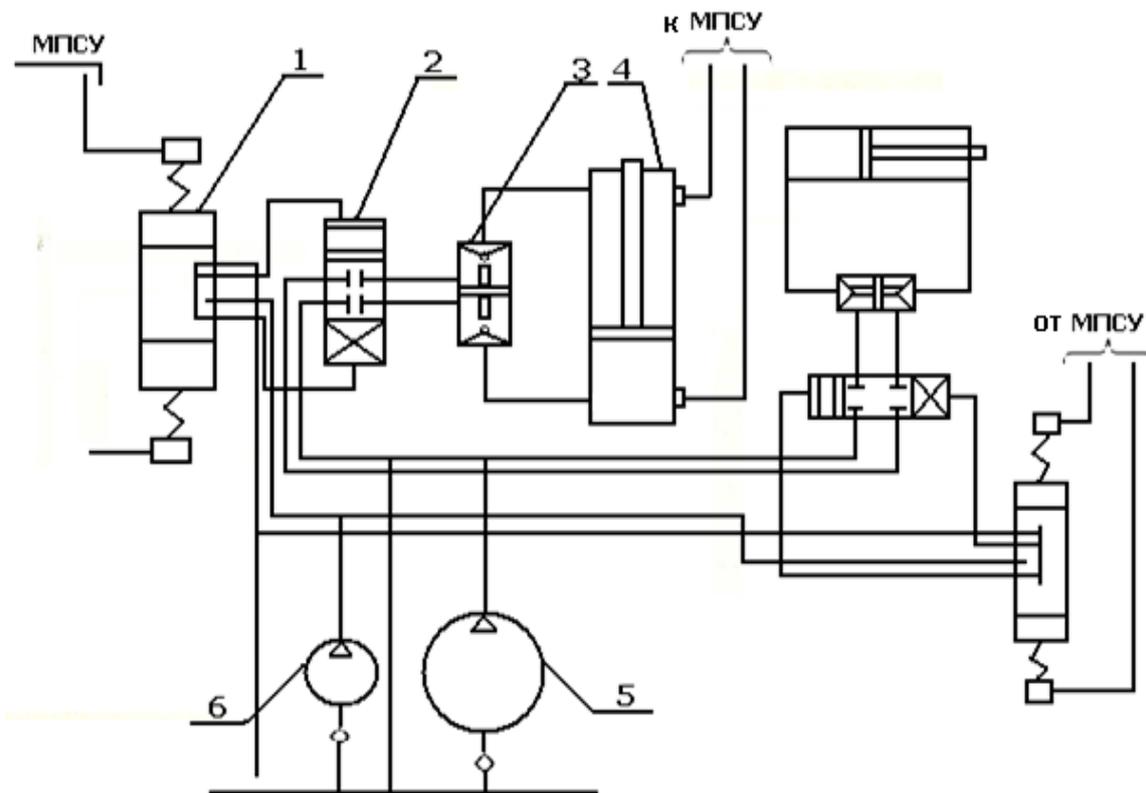


Рисунок 5.10 – Схема подключения датчиков

Эти сигналы дешифрируются процессором, и для их использования необходим лишь фиксатор.

Дешифрирование адреса обычно производится в самом кристалле памяти и непосредственно внешними дешифраторами портов ввода-вывода, второй байт команд ввода-вывода содержит 8-разрядный адрес порта ввода-вывода, к которому обращаются. Ввод-вывод осуществляется при тех же временных соотношениях, что и обмен с памятью.

После выборки кода операции команды *INPUT* содержимое (с приращением) счетчика команд снова передается в память в течение следующего цикла и по содержимому разряда состояния «чтение памяти» выбирается подсистема памяти.

Содержимое разряда состояния «ввод» равно 0. Эти разряды используются для предварительного отпираания схемы выборки данных из памяти и подсистемы ввода для представления данных в МП. По сигналу синхронизации ввода *DVIN* определяются элемент памяти, выбранный во втором цикле, и подсистема ввода, заблокированная сигналом 0 состояния ввода. Затем из памяти выбирается номер порта, который хранится во втором байте команды ввода, и временно запоминается в регистре МП. Далее выдачей на шину данных битов состояния цикла ввода начинается последний цикл.

При помощи этих битов деактивируется предварительное отпираание подсистемы ввода. Затем по сигналу *DVIN* данные поступают на шину данных, и МП загружает их в аккумулятор.

МП использует адресную шину для передачи адресов памяти одному из устройств ввода-вывода (УВВ). Для этого используется 16 внешних выводов  $A_0 - A_{15}$  (рис. 5.11).  $D_0 - D_7$  – выходы двунаправленной шины данных. Так как шина данных является двунаправленной, эти выходы используются для передачи информации и в МП, и из него;

$\Phi_1, \Phi_2$  – тактовые входы. На них подаются сигналы тактирования. Для нашего МП сигналы тактирования генерирует внешняя схема, выполненная на Д-триггерах;

*SYNC* – выход синхронизации. С этого вывода снимается сигнал синхронизации. Он оповещает память и УВВ о начале нового машинного цикла, что обеспечивает согласование работы этих устройств с работой МП во времени;

Через соответствующие выходы МП подключается к источникам питания +12, -5, +5В и к общей точке *GND*.

*REZED* – вход гашения. По этому входу сбрасывается счетчик команд и затем передается в регистр адреса нулевой адрес первой исполняемой команды.

*WR* – выход сигнала «запись». Информация передается по шине в двух направлениях: из МП в память или порт выхода либо в противоположном направлении. Поэтому МП информирует память или порт УВВ о выполнении им операции записи (*WRITE*) или чтения (*READ*).

*READY* – вход сигнала готовности. Память или порт УВВ посылает на этот вход сигнал готовности о том, что время доступа истекло. После этого начинается обмен данными между памятью или УВВ и МП.

*WAIT* – выход сигнала ожидания. МП указывает, что он находится в состоянии ожидания путем подачи сигнала на этот вход.

*DVIN* – выход сигнала «шины данных в режиме ввода». Путем генерации сигнала на этом выводе указывается, что в МП передаются данные при считывании их из памяти или при выполнении операции ввода.

*HOLD* – вход сигнала захвата шин и *HLDA* – выход сигнала подтверждения захвата шин. Подачей сигнала на ввод *HOLD* МП отключается от шин адреса и данных. Информация с внешних устройств передается непосредственно в основную память. После отключения МП от своих шин он подает сигнал на выход *HLDA*.

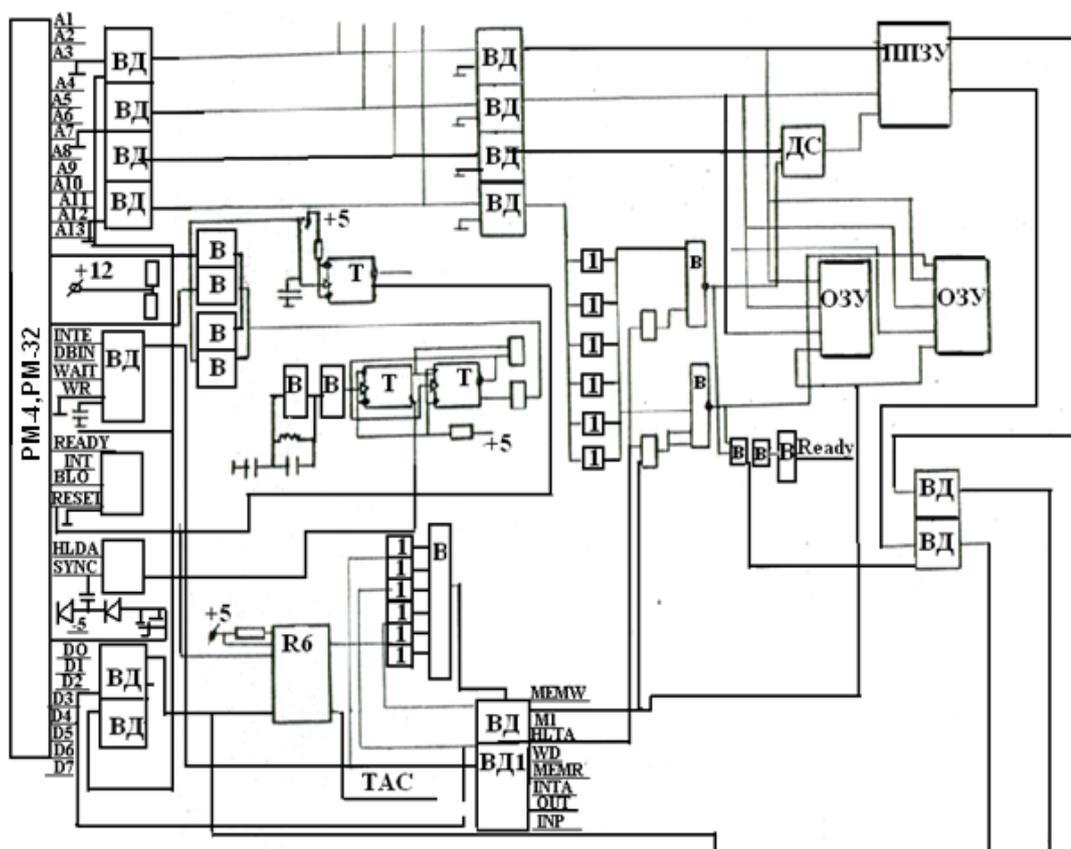


Рисунок 5.11 – Схема микропроцессора РМ-4

Источники вторичного электропитания. Для вторичного электропитания системы управления секциями крепи необходимо два уровня напряжения:

- искробезопасное 36 В для питания электрогидроклапанов; по этой линии передаются сигналы, вырабатываемые генератором частоты выбора секции крепи; генератор управляется по сигналам штрековой ЭВМ;

- искроопасное-стабилизированное 5 В на каждой секции крепи. Данное напряжение автономное на каждой линейной секции трансформируется от осветительной сети через трансформатор и мостовой выпрямитель в стабилизированное напряжение для электропитания линейного контроллера.

## 6 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСТАНОВЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ ФЛАНГОВО- ФРОНТАЛЬНОЙ ВЫЕМКИ

### 6.1 Общие сведения, цели и анализ состояния эффективных средств механизации на крутонаклонных пластах

Анализ состояния технологии и механизации очистных работ на крутонаклонных пластах в СНГ и за рубежом позволяет выявить основные направления в совершенствовании и создании эффективных способов выемки и определить наиболее актуальные для условия Карагандинского, Челябинского, Кузнецкого бассейнов. Ими являются: а) создание эффективных средств механизации и автоматизации процессов в очистном забое при отработке крутонаклонных пластов; б) совершенствование и разработка новых технологических схем очистных средств механизации и автоматизации локальных участков угольных пластов; в) создание нового способа обработки очистного забоя с использованием очистного роботизированного комплекса с автоматическими манипуляторами.

Из-за разнообразия горно-технических условий различных пластов и участков месторождений с забалансовыми запасами (сложная конфигурация целиков, гипсометрия пласта, изменчивость по мощности и т.д.), как показал анализ технологии выемки пластов со сложными условиями, отработка их затруднена, так как в настоящее время отсутствуют достаточно эффективные и универсальные средства их выемки. Создание автоматических выемочных манипуляторов фронтально-избирательного действия ВМФ, маневренных, легковесных, надежных и удобных в эксплуатации, и их внедрение позволит в значительной мере решить вопрос отработки крутонаклонных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое [12, 13, 16].

Вопросы создания эффективных средств механизации основных и вспомогательных процессов и их внедрение тесно переплетаются с совершенствованием, изысканием и разработкой новых технологий, сочетающих различные способы отработки забоя – фланговый и фронтально-избирательный. Создание и разработка технологических схем флангово-фронтальной выемки на научной основе связаны с исследованием ряда вопросов, решение которых позволяет обосновать параметры и область эффективного ее применения в Карагандинском и других угольных бассейнах стран СНГ.

Возможность и эффективность отработки крутонаклонных пластов связана с созданием и разработкой новых способов отработки забоя [14] и технологий выемки – фланговой, фронтальной, а также комбинированной [26, 30]. Установление основных параметров и области эффективного применения флангово-фронтальной технологии в Карагандинском бассейне требует проведения комплекса экспериментальных и теоретических исследований ряда вопросов, направленных на создание и разработку новых высокоэффективных технологических схем без постоянного присутствия людей в очистном забое.

С учетом вышеизложенного научным направлением является разработка новых поточных технологических схем выемки крутонаклонных пластов за счет применения высокоманевренных стреловидных исполнительных органов на базе фронтальных агрегатов с автоматическими манипуляторами и робототехнологическими комплексами при среднесуточной добыче до 15 000 тонн и удельных энергозатратах 0,3-0,45 кВт ч/т.

## **6.2 Опыт работы выемочных манипуляторов ВМФ**

## с различными конструктивными схемами

В процессе экспериментальных исследований, лабораторных и стендовых испытаний основных конструктивных элементов на базе созданных [18] флангово-фронтальных выемочных машин типа ВМФ необходимо было установить следующее: а) эффективность и работоспособность исполнительных органов выемочных автоматических манипуляторов типа ВМФ в шахтных условиях; б) влияние горно-технологических условий и параметров технологии выемки на работоспособность и параметры конструктивных схем ВМФ в различных режимах манипулирования; в) определение технических возможностей и условий, а также области применения выемочных манипуляторов для разработки локальных участков угольных пластов [18, 19]; г) готовность фронтального выемочного манипулятора ВМФ для промышленного внедрения на шахтах бассейна; д) определение исходных данных по основным элементам и параметрам ВМФ для создания на базе нового способа отбойки угля [27, 28] новых поточных технологических процессов флангово-фронтальной и фронтальной выемки локальных участков угольных пластов.

**Исследование работоспособности манипуляторов и устойчивости их работы в шахтных условиях.** Манипуляторы ВМФ-1 (ФАН) и ВМФ-2 состоят из резцовой коронки 1 со встроенным в нее гидродвигателем, телескопической трубы 2, направляющей трубы 3, боковых гидродомкратов для подачи 4, опорно-поворотной и распорной стойки 5. Поворот стрелы и горизонтальной плоскости производится гидродомкратами 6, а в вертикальной плоскости – гидроцилиндром 7, транспортирование угля из забоя осуществляется конвейером 8 (рисунок 6.1).

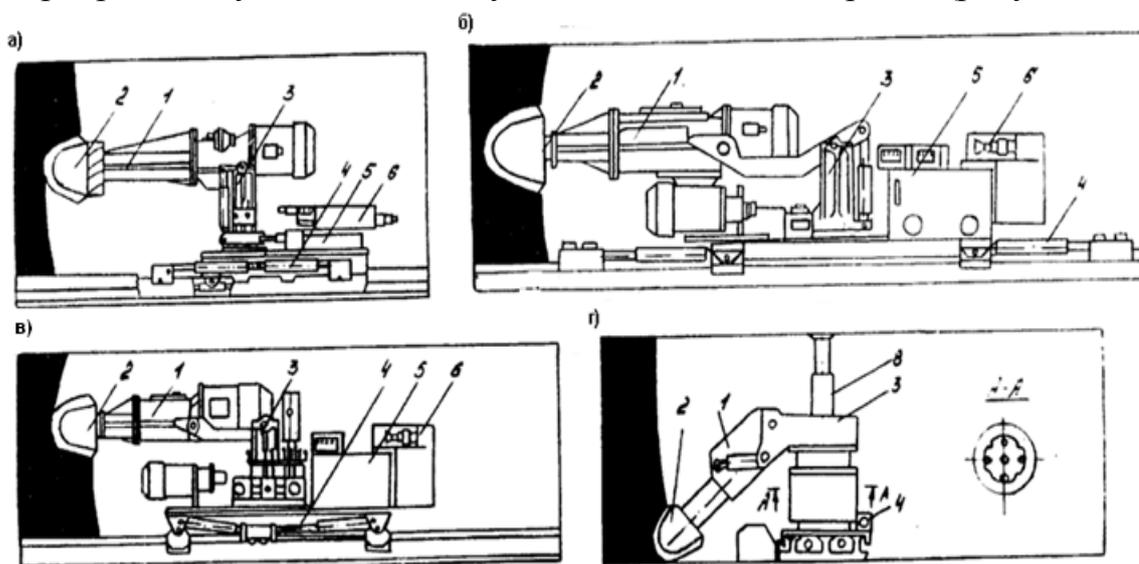


Рисунок 6.1 – Конструкция выемочных манипуляторов: а - ВМФ-2(4); б - ВМФ-4КН; в - ВМФ-4Н(М); г - ВМФ-5: 1 – стрела с редуктором и электродвигателем, 2 – резцовая коронка, 3 – турель для подъема и опускания поворота стрелы, 4 – механизм подачи, 5 – маслобак, 6 – магнитная станция для управления

Манипулятор ВМФ-2 с дисковым рабочим органом состоит из стреловидного телескопического рабочего органа 4, турели 14, гидродомкратов 10, 12, основания 15, жестко соединенного с четырьмя направляющими лыжами 13, распорной стойки 1, домкратов передвижения 3, и пульта управления 9. Исполнительный орган соединен с внутренней трубой 5 и режущим диском 4, перемещается по наружной трубе 8. Вращение режущего диска обеспечивается посредством длинного шлицевого вала от гидро- или электродвигателя 16 через редуктор 11. Такое устройство рабочего органа позволяет плавно удлинять стрелу во время работы до 1,0 м. Гидравлическая распорная стойка 1, установленная на двух направляющих лыжах 2, служит для перемещения манипулятора вдоль очистного забоя посредством гидродомкратов передвижения двойного действия 3 (рисунок 6.2, а).

Выемочный манипулятор ВМФ-3 состоит из резцовой коронки 1, погрузочного шнека 2, стрелы 3, электродвигателя 4, турели 5, магнитной станции 6, гидродомкратов поворота стрелы 7, гидродомкратов подъема и опускания стрелы 3, основания 9, гидродомкратов 10, направляющей лыжи 11, конвейера 12, ползунов 13, направляющей рейки с пазами 14 и кабелеукладчика 16. Перемещение машины вдоль забоя производится механизмом бесцепной подачи, состоящим из гидродомкрата 10, ползуна 13 и направляющей рейки с пазами 14 (рисунок 6.2, б).

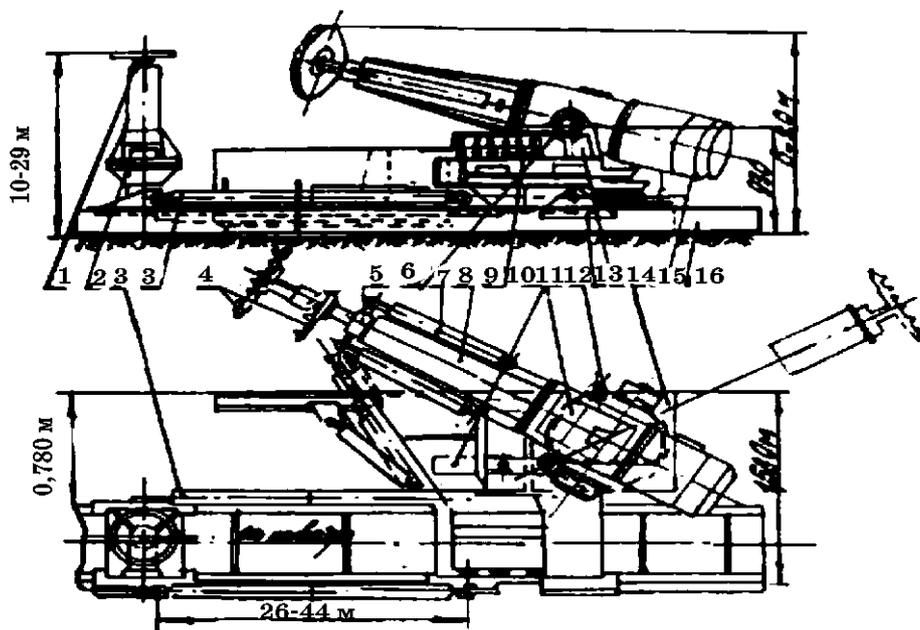


Рисунок 6.2, а – Машина ВМФ-2 с дисковым исполнительным органом

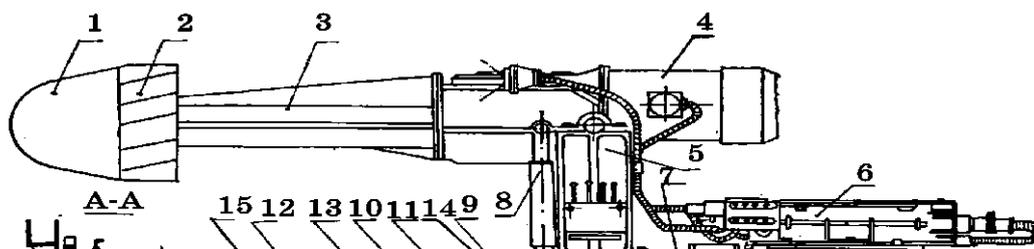


Рисунок 6.2, б – Выемочная машина флангово-фронтального действия ВМФ-4М

Манипулятор ВМФ-4М состоит из исполнительного органа избирательного действия 1, поворотного устройства исполнительного органа вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  2, опорно-подающего механизма перемещения 3, погрузочного устройства 4, маслостанции 5, рамы 6, пульта управления 7 и магнитной станции 8. Исполнительный орган с турелью и режущей коронкой принят от проходческого комбайна ГПК-1. Резцовая коронка оснащена резцами типа РСК. Поворотное устройство состоит из рамы 1 поворотной, на которой шарнирно крепятся исполнительный орган и гидродомкрат подъема 2. К корпусу (турели) 3 рамы приварено кольцо 4 с отверстиями для фиксирующих пальцев гидрозажима 5, шарнирно соединенного с гидродомкратами поворота 5 (рисунок 6.2, в)

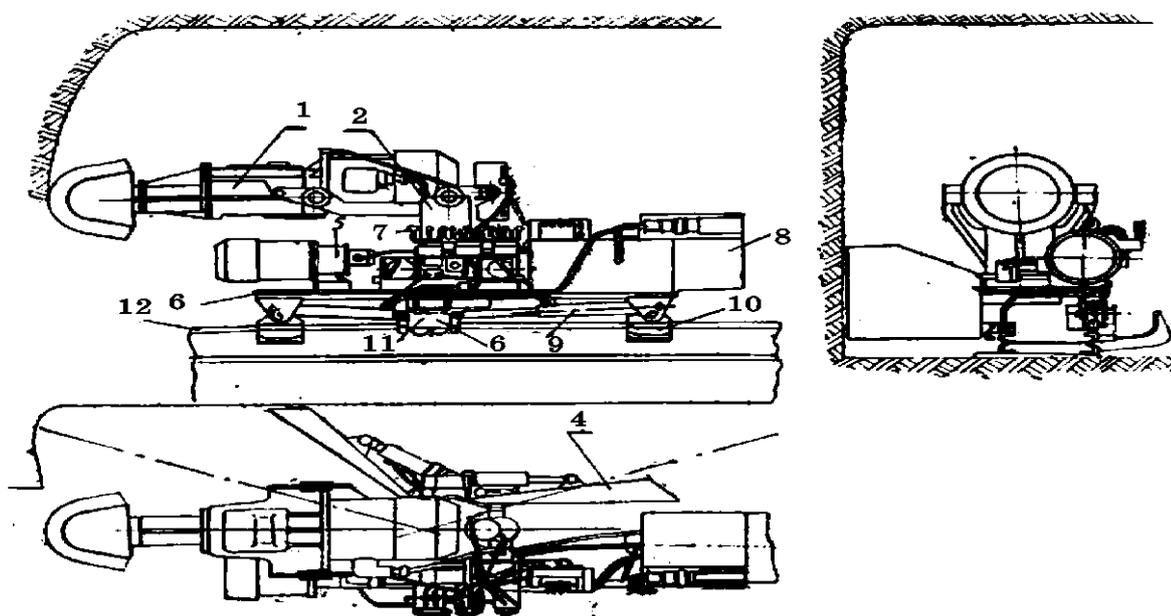


Рисунок 6.2, в – Выемочная машина флангово-фронтального действия ВМФ-4М

Опорно-подающий механизм перемещения состоит из захвата домкратов подачи 9, лыжи забойной опоры 10. Гидрозахват 11 состоит из корпуса сварной

конструкции и двух поршней с выступами, взаимодействующими с круглой направляющей конвейера 12.

При подаче давления в штыковую полость захвата 11 происходит прижатие к круглой направляющей, домкратом подачи 9, связанным с захватом и корпусом, манипулятор перемещается вдоль забоя. Упоры препятствуют выходу захватов при перехватывании. Наличие двух гидродомкратов, установленных встречно, позволяет развивать одинаковое усилие подачи при перемещении манипулятора вдоль забоя. Механизм подачи установлен под основанием манипулятора, что сокращает общую длину. Забойная лыжа скользит по раме конвейера и имеет обратный захват. Завальный захват направляющей – полузахватный, поэтому не может выскочить из направляющей.

Погрузочное устройство 4 предназначено для погрузки отбитого угля, остающегося на почве после прохода исполнительного органа, и состоит из двух лемехов, направленных в противоположные стороны, двух гидроцилиндров для поворота лемеха в рабочее и транспортное положение.

Фиксирование лемехов осуществляется при помощи гидрозамков. Управление лемехами осуществляется со стационарного пульта управления.

Маслостанция состоит из электродвигателя КОФ 22-4 мощностью 20 кВт и насоса НШ-80, закрепленных на раме манипулятора болтами. Маслобак сварной конструкции установлен и закреплен на раме манипулятора. К маслобаку крепятся магнитная станция, пульт управления.

Гидравлическая система манипулятора обеспечивает поворот, подъем и опускание исполнительного органа, поворот лемехов и перемещение (подачу).

Экспериментальные и промышленные испытания манипуляторов ВМФ-1 и ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4М были проведены в условиях шахт им. Костенко, «Долинская» и «Топарская», объединения «Карагандауголь», при разработке пластов К<sub>12</sub> – «Верхняя Марианна» (верхний слой), К<sub>4</sub> – «Нижнесредний», Д<sub>6</sub> – «Долинская» [2,3] и К<sub>14</sub> – крутонаклонный пласт шахты «Топарская» [4].

Испытания выемочного манипулятора ВМФ-1 в комплексе КМ-813 проводились на шахте им. Костенко в верхней нише 3-й восточной лавы пласта К<sub>12</sub> – верхний слой участка № 4. Пласт К<sub>12</sub> на данном участке разрабатывался с применением слоевой системы разработки с отработкой каждого слоя длинными столбами по протиранию при длине лавы 300 м. Верхний слой пласта К<sub>12</sub> с вынимаемой мощностью 3,15 м обладает большой вязкостью и крепостью. Сопrotивляемость угля резанию, установленная прибором ДСК-2, равна 290-320 Н/мм. Выемка угля комбайном КШ-3М осуществлялась по челноковой схеме. Вслед за продвижением комбайна производилась передвижка секции механизированной крепи 2М-819 согласно паспорту крепления. Одновременно с работой комбайна осуществлялась подготовка верхней и нижней ниш для выемки очередного цикла. При подготовке верхней ниши применялся манипулятор ВМФ-1, установленный на 4-й секции крепи М-819.

После выемки комбайном очередной стружки производились передвижки конвейера к забою и маневрирование комбайна с самозарубкой с целью подготовки к выемке следующей полосы угля. Крепление сопряжения лавы с

конвейерными и вентиляционным штреками осуществлялось крепью сопряжением М-819.

Испытания манипулятора ВМ-2 в комплексе с КМ-879 были проведены на этой шахте в 3-й восточной лаве пласта К<sub>4</sub> участка № 7 при выемке межлавного целика длиной 9-16 м и верхней части забоя протяженностью 20 м. Для разработки пласта К<sub>4</sub> принята столбовая система разработки с обратным порядком отработки столбов от границ с центральным уклоном при этажной схеме подготовки с делением этажа на два подэтажа при длине лав 190 м, вынимаемой мощности пласта 1,9-2,0 м, угле падения 8-11°. Сопrotивляемость угла резания, установленная прибором ДСК-2, – 240-260 Н/мм. Выемка угля производилась комбайном 2К-52 по челноковой схеме.

На шахте «Долинская» производственного объединения «Карагандауголь» по пласту Д<sub>6</sub> проведены промышленные испытания двух комплексов экспериментальных ВМФ-2 и двух опытных ВМФ-4 образцов манипуляторов совместно с механизированной крепью 2М-819 и скребковым конвейером КМ-81-02В.

Пласт Д<sub>6</sub> имеет мощность 4,2 м. Породные прослойки представлены аргиллитом мощностью 0,02-0,03 м. Пласт малосклонен к самовозгоранию и относится к группе 11. По угольной пыли – опасный, газа метана в пласте нет. Зольность пласта колеблется в пределах 20-22%. Рабочая влага составляет 8,5-9,5%. Углы падения пласта – 8-140°, по фланговым выработкам – до 2-8°. Непосредственной кровлей пласта является слой аргиллита 1-2 м слабой устойчивости, для поддержания которого необходимо оставлять угольную пачку не менее 0,60 м. Выше залегает слой алевролита слабой устойчивости мощностью до 1,5 м. Основание кровли слабообводнено и представлено песчаником до 8-10 м средней устойчивости. Почва пласта представлена слабым аргиллитом мощностью до 0,5 м.

В условиях шахты «Топарская» были проведены шахтные испытания при разработке крутонаклонного пласта К<sub>14</sub> ВМФ-4КН. В шахтных условиях была проведена проверка работоспособности основных конструктивных элементов манипуляторов ВМФ-1, ВМФ-2, ВМФ-4, ВМФ-4КН. Результат этих исследований и промышленных испытаний отражен в работах [156, 58]. Следует отметить, что наиболее значительное влияние на работоспособность конструктивной схемы манипуляторов ВМФ, а следовательно, и на параметры технологических процессов очистной выемки оказывает фактор устойчивости.

### **6.3 Аналитические и экспериментальные исследования устойчивости работы выемочных манипуляторов ВМФ**

Устойчивость работы манипулятора ВМФ-1, как видно из его конструктивной схемы, определяется усилиями подачи  $R_{pсT}$ , создаваемыми исполнительным органом, моментом сил  $M_{kp}$  и распором несущей стойки  $R_{2n}$ , в шахтных условиях были проведены наблюдения и замеры указанных силовых

параметров ВМФ-1 для установления степени влияния их на устойчивость работы выемочного манипулятора в целом.

Установлено, что влияние создаваемого исполнительным органом момента на устойчивость сил даже при наличии значительных «всплесков» практически незначительно. Действительно, из расчета моментов сил, а также результатов стендовых испытаний момент сил от реакции распора стойки  $R_{pcT}$  в 8-10 раз превышает момент сил  $M_{kp}$ , создаваемых в конечной точке при максимальном вылете стрелы исполнительного органа манипулятора ВМФ-1 [34].

При расчете устойчивости ВМФ-1 [36, 37] необходимо учитывать, что телескопический исполнительный орган должен обеспечивать максимальные усилия резания на резцовой коронке при отбойке угля с учетом следующих конструктивно-технических параметров:

- число степеней подвижности до 5;
- максимальный вылет стрелы до 5,0 м;
- вынимаемая мощность пласта 2,5-5,0 м;
- ширина захвата 63 мм;
- угол падения пласта  $35^\circ$ .

Исходя из этих условий, при расчете устойчивости за расчетные усилия на резцовой коронке при максимальном вылете стрелы можно принимать максимальные усилия на резах, соответствующие опрокидному моменту гидродвигателя исполнительного органа. В этом случае, если домкраты поворота или подъема стрелы развивают на резцовой коронке усилия меньше, чем при опрокидывании гидродвигателя, то при расчете устойчивости нужно принимать максимальные усилия, развиваемые домкратами.

Коэффициент грузовой устойчивости стреловидных исполнительных органов по методике [36] составит:

$$K_y = \frac{M_{bac}}{M_{onp}} \geq 1,05 \div 1,1, \quad (6.1)$$

где  $M_{onp}$  – момент от внешних сил, действующих на ВМФ-1 с секции крепи относительно оси, по отношению к которой производится проверка устойчивости ВМФ-1;

$M_{bac}$  – момент от силы веса манипулятора с секции крепи относительно этой же оси.

Однако формула для определения устойчивости ВМФ-1 не учитывает усилия, создаваемые горным давлением. Запас устойчивости манипулятора ВМФ-1 с учетом горно-геологических конструктивно-технических параметров определяется отношением момента сопротивления повороту  $M_c$  к моменту внешних нагрузок относительно точки опоры  $M_o$ , то есть:

$$K_y = \frac{M_c}{M_o}. \quad (6.2)$$

Наиболее опасным по устойчивости является усилие, создаваемое в процессе рабочей подачи исполнительного органа в горизонтальном направлении. В этом случае устойчивость работы ВМФ-1 обеспечивается при условии, что горизонтальные усилия подачи не превышают усилия от реакции распора стойки  $R_{pcT}$ .

В результате статистического анализа и обработки экспериментальных данных установлено, что влияние  $R_{2n}$  и  $R_{pcT}$  удовлетворительно аппроксимируется нормальным законом распределения.

Статистические функции распределения имеют вид:

а) для горизонтальных усилий подачи  $R_{2n}$ :

$$F(R_{2n}) = \frac{1}{2,97\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{R_{2n}} \ell \frac{(R_{2n}-4,72)^2}{2,2,97^2} dR_{2n}, \quad (6.3)$$

где  $R_{2n}$  – случайная величина горизонтального усилия подачи, т;

2,97 – среднеквадратичное отклонение величины  $R_{2n}$ , т;

4,72 – среднее значение горизонтальных усилий подачи  $R_{pcT}$ , т;

б) для усилий распора стойки:

$$F(R_{pcT}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 5,43} \int_{-\infty}^{R_{pcT}} \ell \frac{(R_{pcT}-19,6)^2}{2,5,43^2} dR_{pcT}, \quad (6.4)$$

где  $R_{pcT}$  – случайная величина вертикального усилия распора, т;

5,43 – среднеквадратичное отклонение  $R_{pcT}$ , т;

19,6 – среднее значение усилий распора  $R_{pcT}$ , т.

Проверка по критерию «Х<sup>2</sup>-Пирсона» позволила установить непротиворечивость принятой гипотезы о нормальном распределении величин  $R_{2n}$  и  $R_{pcT}$ .

Надежность устойчивой работы ВМФ-1 можно количественно оценить как вероятность того, что за заданный базовый период времени в процессе выемки усилие подачи  $R_{2n}$  не превысит усилия распора  $R_{pcT}$ . Эта вероятность может быть определена как композиция нормальных законов распределения:

$$F(R_{2n} \leq R_{pcT}) = \frac{1}{\sqrt{(G^2 R_{2n} + G^2 R_{pcT})} 2\pi} \int_{-\infty}^{\Delta R} \ell \frac{(R_{2ncp} - R_{pcT,cp})^2}{2(G^2 R_{2n} + G^2 R_{pcT})} d\Delta R, \quad (6.5)$$

где  $\Delta R$  – случайная величина разности усилия подачи и распора, т.

При непрерывной работе экспериментального образца ВМФ-1 в течение смены возможно нарушение устойчивого положения машины не более 2,8 раза.

При увеличении среднего значения усилий распора несущей стойки надежность устойчивого положения манипулятора будет еще выше.

При конструктивных схемах ВМФ-2, ВМФ-3 и ВМФ-4, ВМФ-4КН для устойчивой работы манипулятора в процессе отбойки угля характерны особенности, значительно отличающиеся от схемы работы ВМФ-1. При работе ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4, ВМФ-4КН устойчивое положение определяется состоянием равновесия относительно центра тяжести манипулятора в целом. Методика расчета устойчивости конструктивных схем для проходческих комбайнов типов ПК-3, ПК-9, ГПК разработана Н.А. Малевичем [10, 19]. Однако при расчете устойчивости критерий устойчивого положения конструкции определяется некоторым, наперед заданным значением коэффициента грузовой устойчивости. В свою очередь, эти коэффициенты в зависимости от тех или иных конструктивных схем задаются произвольно, и анализ устойчивого положения по этому критерию позволяет лишь качественно оценить устойчивость работы выемочного манипулятора в целом.

В конструктивной схеме манипуляторов ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4 и ВМФ-4КН можно рассматривать в отдельности продольную устойчивость в поперечном направлении. В процессе экспериментов были испытаны конструктивные схемы с расположением выемочного манипулятора на конвейере, передвигающемся с помощью распорных стоек.

При шахтных испытаниях конструктивной схемы ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4 было установлено незначительное влияние продольной грузовой устойчивости на надежность манипуляторов. В этом случае при динамических нагрузках горизонтально расположенные гидродомкраты распорных стоек не позволяли опрокинуться манипулятору в продольном направлении. Расчеты, приведенные в работах [19, 20], показали практически высокую надежность продольной грузовой устойчивости. Для конструктивных схем с опорой манипулятора на конвейер можно достигнуть коэффициента грузовой устойчивости свыше 3,5-4,7, а при расположении на специальной направляющей балке – свыше 3,8-8,3.

Устойчивость ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4КН, ВМФ-4Н, ВМФ-4П в поперечном направлении, как показали данные экспериментов, в значительной мере определяется динамическими нагрузками, создаваемыми на резцовой коронке исполнительного органа. В свою очередь, эти нагрузки носят случайный характер, что обусловлено разнообразием и изменением физико-механических свойств и крепости угля по мощности пласта и по длине лавы. Соответственно, усилия подачи момента силы, создаваемые на резцовой коронке исполнительного органа, также являются случайными.

В процессе экспериментальных исследований были получены данные по усилиям подачи – вертикальной и горизонтальной составляющим. Учитывая то, что горизонтальные усилия подачи весьма малы по сравнению с реакцией несущих элементов конструкции (направляющей балки, конвейера и т.д.), проверка по ним не представляет практического интереса. При экспериментальных исследованиях эти предположения подтвердились [3, 4, 5, 12].

Вертикальные усилия подачи исполнительного органа  $R_{Bn}$ , как показали наблюдения, стремятся развернуть систему «ВМФ-2 – несущий элемент» в горизонтальной плоскости. Частые отказы системы в этом случае связаны с отсутствием надежных конструктивных соединений на стыках направляющих балок.

Частота отказов из-за возможных опрокидываний системы «ВМФ-2 – несущий элемент» зависит от того, как часто момент сил, создаваемый на резцовой коронке вертикальными усилиями подачи, превышает уравновешивающий момент сил от веса всей конструкции.

Это условие можно записать так:

а) при движении стрелы снизу вверх :

$$R_{Bn, \text{дон}} \ell_{uo} \leq \left[ (G_n - G_{uo}) \frac{B}{2} - G_{uo} \ell_{uTuo} \right], \quad (6.6)$$

где  $R_{Bn \text{дон}}$  – предельно допустимое вертикальное усилие подачи;

$\ell_{uo}$  – расстояние от точки приложения резцовой коронки до передней точки опоры С;

$G_m, G_{uo}$  – соответственно все машины исполнительного органа;

$B$  – расстояние между точками опоры выемочного манипулятора;

$\ell_{uTuo}$  – расстояние между центром тяжести исполнительного органа и передней точкой опоры С;

б) при движении стрелы сверху вниз:

$$R_{Bn \text{дон}} (\ell_{uo} + B) \leq \left[ (G_m - G_{uo}) \frac{B}{2} + G_{uo} (B + \ell_{uTuo}) \right]. \quad (6.7)$$

Для вертикальных усилий подачи  $R_{Bn}$ , как показали экспериментальные исследования и замеры, характерна значительная неравномерность. В свою очередь, неравномерность усилий обусловлена как разнообразием физико-механических свойств пласта, так и случайным характером траектории резцовой коронки по мощности пласта.

Проведением статистических анализов экспериментальных данных усилий  $R_{Bn}$  установлено их эмпирическое распределение в виде нормального закона:

$$F(R_{Bn}) = \frac{1}{1,89\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{R_{Bn}} \ell \frac{(R_{Bn} - 3,16)^2}{2 \cdot 1,89^2} dR_{Bn}, \quad (6.8)$$

где 3,16 – среднее значение вертикального усилия подачи, т;

1,89 – среднеквадратичное отклонение величины  $R_{Bn}$ , т.

Проверка по критерию «Х<sup>2</sup>-Пирсона» позволила установить непротиворечивость принятой гипотезы о нормальном распределении величины  $R_{Bn}$ , которую можно записать так:

$$F(R_{Bn}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi G^2 R_{Bn}}} \int_{-\infty}^{R_{Bn\dot{\omega}on}} \ell \frac{(R_{Bn\dot{\omega}on} - R_{Bn\dot{\omega}cp})^2}{2G^2 R_{Bn}} dR_{Bn\dot{\omega}on}, \quad (6.9)$$

где  $R_{Bn\dot{\omega}cp}$  – среднее значение  $R_{Bn}$ .

Значение  $R_{Bn\dot{\omega}on}$  зависит от направления движения стрелы исполнительного органа и определяется из условий:

а) при движении стрелы снизу вверх:

$$R_{Bn\dot{\omega}on} \leq \frac{(G_m - G_{u.o}) \frac{8}{2} \cdot C_{u.o} \ell_{\text{иГ.и.о}}}{\ell_{u.o}}, \quad (6.10)$$

б) при движении стрелы сверху вниз:

$$R_{Bn\dot{\omega}on} \leq \frac{(G_m - G_{u.o}) 2 + G_{u.o} (B + \ell_{\text{иГ.и.о}})}{\ell_{uo} + B}. \quad (6.11)$$

Для различных конструктивно-технических параметров (длины стрелы, веса конструкции и т.д.) и горнотехнических условий, определяющих усилия подачи, построены номограммы, позволяющие выбрать ВМФ-1, ВМФ-2, ВМФ-3, ВМФ-4, ВМФ-4КН с наиболее устойчивой конструктивной схемой.

#### **6.4 Стендовые испытания выемочных манипуляторов для флангово-фронтальной выемки**

Основным элементом ВМФ-1, ВМФ-2, ВМФ-3 и ВМФ-4, ВМФ-4КН, ВМФ-4П, обеспечивающим эффективность процесса отбойки угля, является телескопический исполнительный орган фронтально-избирательного действия. С целью проверки работоспособности этого узла машины, в последующем предназначенного для экспериментальных и промышленных испытаний в шахтных условиях, были проведены стендовые испытания на специально оборудованном углепородоцементном блоке. Геометрические и силовые параметры испытуемого на стенде исполнительного органа соответствовали параметрам в натуре, что повышает надежность и достоверность используемых результатов стендовых испытаний в последующем при проведении экспериментальных исследований в шахтных условиях (рисунок 6.4).

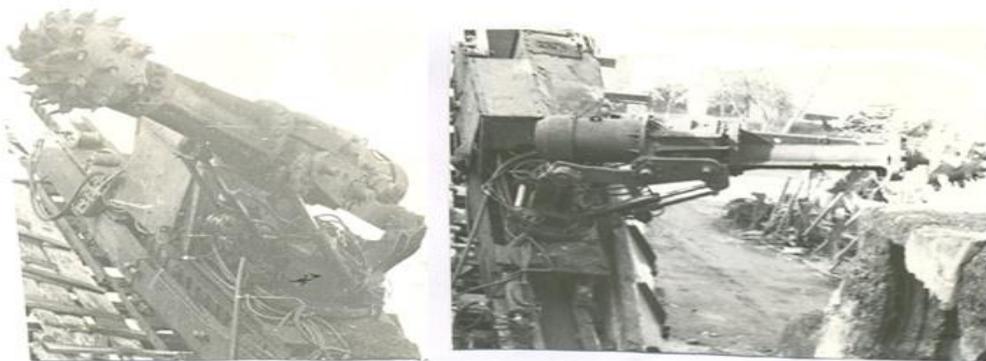


Рисунок 6.4 – Общий вид выемочных манипуляторов на стенде

Углеродоцементный блок размером  $6,5 \times 2,0 \times 2,5$  м имитировал угольный пласт с сопротивляемостью резанию 260-340Н/мм. С помощью осциллограмм и измерительной аппаратуры были проведены замеры потребляемой мощности, крутящего момента на валу режущей коронки или диска, усилий подачи, поворота и подъема стрелы и т.д. Были проведены исследования на работоспособность исполнительных органов со встроенным гидродвигателем типа ВЛГ-400А на резцовых коронках ПК-3М, ПК-3И, 4ПУ и с фрезерными дисками (с отрывником).

Исследования показали, что нагрузки, воспринимаемые исполнительным органом, носят четко выраженный динамический характер со случайными «всплесками». Периодические составляющие динамической нагрузки определяются конструктивными особенностями манипулятора ВМФ-1 и параметрами исполнительного органа: скоростью вращения коронки или диска, усилиями подачи, схемой расстановки резцов на коронке, способом расположения исполнительного органа относительно центра тяжести машины и т.д.

Для конструкции резцовых коронок с радиальной группировкой резцов характер и количество «всплесков» нагрузки на осциллограмме мощности гидродвигателя за один ее оборот приведены на рисунке 6.2. При этом в виде отдельных пиков нагрузки прослеживается работа единичных резцов, входящих в группы. Полученные в результате анализа осциллограмм частоты колебаний нагрузки в диапазоне 4-12 мм (120-380 кол/мин) наблюдаются при работе группового и единичного инструментов резцовых коронок. Установлено, что колебания нагрузки, отражаемые осциллограммами мощности, прослеживаются и на осциллограммах крутящего момента. Последние содержат также четко выраженные периодические колебания нагрузки в диапазоне более высоких частот (порядок 4,5-50 Гц). Частота этих колебаний постоянна и не зависит от скорости вращения коронки и абсолютных значений нагрузки. Указанные высокие частоты колебаний нагрузки по крутящему моменту на валу режущей коронки соответствуют собственным частотам крутильных колебаний динамических систем гидропривода, с увеличением максимального вылета стрелы до 5,0 м частота этих колебаний растет до 90-95 Гц.

Записи мощности при малых скоростях протяжки осциллографической ленты до 10 мм/с позволили выявить также низкие частоты колебаний рабочей нагрузки в диапазоне 0,3-1,0 Гц, соответствующие одному колебанию за оборот, и пропорциональное скорости вращения коронки. Эти колебания объясняются несовершенством схемы расположения резцов в конструкциях исследуемых коронок и значительной неравномерностью их работы. Значения установленных частот колебаний рабочей нагрузки для исследуемых типов исполнительных органов в соответствии с представленными осциллограммами даны в таблице 6.1.

В таблице 6.2 приведены результаты измерений, полученные после обработки исследуемых режимных характеристик и конструктивных рабочих исполнительных органов выемочных манипуляторов типа ВМФ.

На основании результатов стендовых испытаний были получены исходные данные для расчета ожидаемой теоретической производительности фронтальной выемочной машины при номинальной мощности высокомоментного гидродвигателя.

В процессе экспериментальных испытаний в шахтных условиях исполнительного органа ВМФ-1 и ВМФ-2 и ВМФ-4 с различными типами резцовых коронок и дисков, как и при стендовых, была установлена работоспособность этого элемента машины при отбойке угля от массива. В среднем показатели, характеризующие работоспособность исполнительных органов в шахтных условиях, практически мало отличаются от результатов стендовых испытаний. Как видно из данных таблицы 6.3, для параметров исполнительных органов характерен значительный разброс фактических показателей.

Результаты обработки данных замеров показали, что средняя скорость подачи стрелы на неотжатом участке забоя составила 8,85 м/мин. при среднеквадратичном отклонении 1,15 м/мин. Значение средней потребляемой мощности составило 29,8 кВт при среднеквадратичном отклонении 2,9 кВт. Опрокидывание электродвигателя проходило при скорости подачи 8,8-9,9 м/мин. при пиковом значении потребляемой мощности 30 кВт.

Таблица 6.1 – Значения установочных частот колебаний рабочей нагрузки

Исполнительный орган	Рабочее давление, МПа	Частота вращения коронки дика, об/мин	Количество групп резцов, шт.	Частота колебаний нагрузки, Гц		
				низкие	средние	высокие
Резцовые коронки ПК-3М	8,0	75	5	$\frac{0,5}{0,75}$	$\frac{2,2}{0,75}$	$\frac{45}{64,3}$
ПК-3Р	8,0	80	4	$\frac{0,5}{0,67}$	$\frac{2,67}{4,17}$	$\frac{45}{63,3}$
4ПУ	8,0	75	5	$\frac{0,58}{0,75}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{45}{63,3}$

фрезерный диск с отрывником	7,0	75	5	$\frac{0,33}{0,67}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{26,7}{46,7}$
ПК-9Р с электроприводом	-	60	9	1,0	9	30

Примечание: в числителе - показания при минимальном (2,3 м) вылете телескопической стрелы выемочного манипулятора, в знаменателе – при максимальном (5,0 м).

Таблица 6.2 – Результаты измерений

Показатели	Резцовые коронки со встроенным гидродвигателем ВЛГ-400А			
	ПК-3М	ПК-3И	4ПУ	Фрезерный диск с отрывником
Мощность, кВт	22	24	26	19
Частота вращения, об/мин	30	75	75	70
Усилие подачи, кН	47	54	40	32
Скорость поворота стрелы, м/мин	2,13	2,69	2,56	2,46
Крутящий момент, Н/м	3400	4000	3600	3200
Удельные энергозатраты, кВт.ч/т	0,56	0,67	0,88	0,32
Производительность, т/мин.	1,25	1,45	1,96	0,78

На отжатом участке средняя скорость подачи стрелы составила 6,0-6,8 м/мин при среднеквадратичном отклонении 0,81 м/мин, а средняя потребляемая мощность – 18 кВт при среднеквадратичном отклонении 2,8 кВт.

Опрокидывание электродвигателя происходило при скорости подачи 9,0-9,8 м/мин. и пиковом значении потребляемой мощности 30 кВт (табл. 6.4).

Таблица 6.3 – Фактические показатели параметров исполнительных органов

Типы резцовых коронок манипуляторов	Мощность, кВт	Скорость вращения, об./мин.	Усилие подачи, Н	Скорость подачи, м/мин	Крутящий момент, КН/м	Удельные энергозатраты, кВт/т	Производительность, т/мин

ПК-3М	24	78	ВМФ - 1	3,5-	3200-	0,56-	1,29-
			33600-	4,8	3600	0,62	1,32
4ПУ (ПК-7)	27	78	56000	3,8-	3400-	0,63-	1,35-
			45000-	4,8	3800	0,63	1,42
Диск с отрывом	20	80	67000	3,9-	3000-	0,27-	1,83-
			28000-	4,9	3300	0,30	1,91
			30000				
ПК-3М	26	110	ВМФ – 2	8,5-	3400-	0,72-	1,7-
			48000-	9,5	3800	0,79	1,9
ПК-3Р	28	110	50000	9,5-	3300-	0,68-	2,1-
			49600-	10,2	4100	0,71	2,3
Диск с отрывом	20	110	52000	8,5-	2500-	0,29-	1,23-
			32000-	9,5	3100	0,30	1,28
			41000				
Комбини рованный	32	109	ВМФ-3	9,5	4100	0,71	1,8-
			38000				2,5
ПК-9Р	32	109	ВМФ-4	9,5	4200	0,74	1,9-
			38000				2,8
ГПК	32	110	ВМФ-4Н	4,5	4200	0,34	3,4-
			38000				4,2

При средней скорости подачи 6,85 м/мин удельные энергозатраты на неотжатом участке составили 0,42 кВт/т, на отжатом – 0,36 кВт/т. Объем отжатого угля в среднем составил 35%.

### 6.5 Стендовые испытания исполнительного органа – диска с отрывом манипулятора ВМФ

Стендовым испытаниям подвергается исполнительный орган, состоящий из фрезерного диска с зубками РК-8Б, отрывника и кронштейна со встроенным гидродвигателем ВЛГ-400А. Диск, оснащенный резцами с твердосплавными пластинами, вращающийся от гидродвигателя, врезается в массив угля на глубину захвата до 400 мм. Затем при его вращении с одновременным перемещением, определяемым радиусом телескопической стрелы ВМФ, образуется сферическая цель в плоскости забоя. Отрывник при движении телескопической стрелы от забоя отделяет уголь от массива пласта.

Таблица 6.4 – Состояние исполнительного органа

Состояние исполнительного органа	Потребляемая мощность исполнительных органов (кВт) при различных типах коронок			
	ПК-3М	ПК-3Р	4ПУ	диск с отрывом
1	2	3	4	5

Холостой ход	3,8	3,9	3,8	2,9
Фронтальная подача на забой	26,4	25,7	26,9	22,7
Поворот стрелы с зарубкой вправо	24,7	25,2	25,9	16,5
Поворот стрелы с зарубкой влево	20,6	20,3	20,7	14,8
Подъём стрелы с зарубкой	24,9	25,7	25,6	18,9
Опускание стрелы с зарубкой	3,6	23,9	24,1	13,6
Флангово-фронтальная зарубка	28,7	27,9	29,9	26,7
Погрузка угля с подачей на завал	6,7	6,6	6,9	3,8

Стендовые испытания исполнительного органа отрывного действия выемочного манипулятора ВМФ-1 проводились на углепородоцементном блоке.

В процессе разрушения блока диском с отрывником регистрировалась потребляемая мощность при различных режимах работы (самопишущим ваттметром В-346 с трансформатором тока УТТ-5Н) через преобразователь мощности П004 на осциллограф Н-700, а также измерялись усилия подачи, подъема поворота через тензометрические датчики ТДД.

Замеры показали, что мощность исполнительного органа на холостом ходу составляет 1,2-2,2 кВт. Усилия при холостой подаче стрелы в лоб забоя достигли 1,2 т при потребляемой мощности 1,4-1,6 кВт. При обработке забоя усилия подачи увеличивались с ростом нагрузки на забой. Так, при выемке мощности блока 1,7 м они были 0,8-2,2 т, при мощности блока – 1,3-1,5 м – 0,8-1,1 т.

Среднее значение мощности, потребляемой электродвигателем исполнительного органа при резании, составило 10,9-16,5 кВт, максимальное – 30 кВт.

Замерами установлено, что скорость подачи вдоль забоя (блока) при прочных равных условиях влияет на величину удельных энергозатрат резания. Так, с увеличением скоростей подачи вдоль забоя с 0,9 до 2,4 м/мин. удельные энергозатраты снизились с 1,48 до 0,55 кВт/т, а мощность, потребляемая двигателем, возросла с 16,2 до 32 кВт.

Увеличение скоростей подачи связано с возрастанием шага резания. Зависимость потребляемой мощности от толщины отрываемого целика носит линейный характер. В диапазоне увеличения толщины целика до 16 см потребляемая мощность возрастает до 14 кВт, при глубине стружки  $h = 8$  см – до 18 кВт, при  $h = 14$  см, а в диапазоне шага резания до 18 см мощность возросла до 28 кВт, при  $h = 20$  см – до 32 кВт, при  $h = 26$  см и выше – 32 кВт.

Увеличение глубины снимаемой за один проход стружки приводит к возрастанию потребляемой мощности и зависимости, близкой к линейной, и снижению удельных энергозатрат резания. Так, при шаге резания  $t = 18$  см с увеличением глубины стружки с 12 до 24 см потребляемая мощность увеличивалась с 15,5 до 25,5 кВт, удельная энергия резания снижалась с 1,46 до

0,49 кВт/т, причем при дальнейшем увеличении толщины стружки с 24 до 32 см величина энергии резания стабилизировалась. В диапазоне изменения сечения среза от 8 до 18 см потребляемая мощность пропорционально возрастала от 12 до 22 кВт, а удельные энергозатраты снизились от 1,7 до 0,33 кВт; ч/т. Оптимальное сечение среза находилось в пределах 48-66 см<sup>2</sup>. Зависимость усилий резания аппроксимируется прямой линией вида, равной 15-25,5. Испытания исполнительного органа показали, что режущий диск, который с торца имеет резцы, обеспечивает самозарубку при подаче на забой.

Удельные энергозатраты резания при работе в оптимальном режиме ( $V_n = 4,0$  м/мин.,  $V_p = 3$  м/с,  $h = 18$  см,  $t = 5$  см) составили 0,32 кВт ч/т, что в пересчете на сопротивляемость угля разрушению, равную  $A = 150$  кгс/см, соответствует удельной энергии резания 0,54 кВт/т при резцовой коронке МК-3М.

### 6.6 Шахтные испытания манипуляторов для флангово-фронтальной выемки угольных пластов

Флангово-фронтальная технология представляет собой комбинированный способ фланговой и фронтальной выемки пласта в пределах одного очистного забоя. При флангово-фронтальной технологии выемки применяется сочетание осциллограмм, комбинированных по способу выемки пласта машин фронтального выемочного манипулятора на концевых частях лавы и основного (узкозахватного) комбайна или струга в машинной (или фланговой) части забоя (рисунок 6.5).

Технологический процесс во фронтальной части забоя состоит из следующих операций:

- отбойка, навелка и погрузка угля за счет манипулирования фронтальными выемочными манипуляторами на концевых частях лавы до подхода основного (узкозахватного) комбайна; б) фронтальная передвижка узкозахватного комбайна с конвейерной линией без «самозарубки» или «заездов»;

- вспомогательные работы за счет манипулирования на сопряжениях лавы с выработкой с помощью фронтальных выемочных манипуляторов (подрыв кромки-почвы, выравнивание боков выработки, извлечение рамной крепи и т.д.).

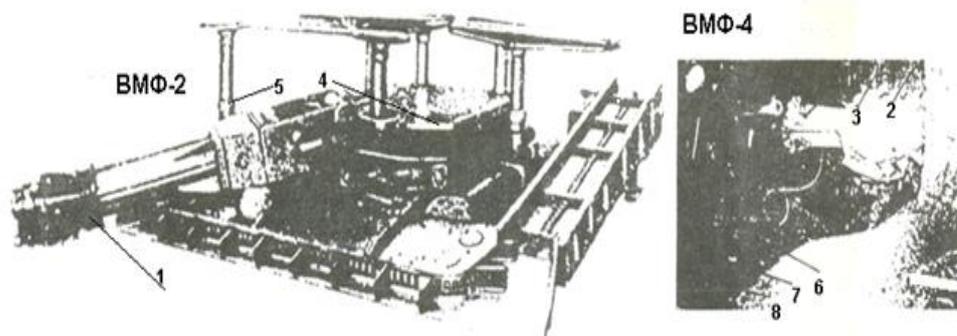


Рисунок 6.5 - Шахтные испытания ВМФ-2, ВМФ-4

Эффективность процессов отбойки, навалки и погрузки, а также вспомогательных операций на концевых частях лавы в значительной мере зависит от компоновочных схем выемочных манипуляторов в лаве. На основе экспериментальных исследований доказана возможность эффективной работы следующих вариантов компоновочных схем манипуляторов:

- ВМФ-1 с привязкой к несущей секции крепи; б) ВМФ-3, подвижно установленного на конвейерной линии;

- ВМФ-2 между конвейерной линией и секциями механизированной крепи;

- ВМФ-4 между забойной стороной и конвейерной линией;

- ВМФ-4Н на специальной направляющей балке.

Манипулятор ВМФ-2 к секции крепи 2М-813 при шахтных испытаниях в 3-й восточной лаве верхнего слоя пласта К12 устанавливался с завальной стороны конвейерной линии на четвертой секции крепи от сопряжения лавы. Технологический процесс флангово-фронтальной выемки с применением ВМФ-1 показал следующую последовательность операций:

- подготовка ниши манипулятором ВМФ-2; фронтальная передвижка основного комбайна в нишу с конвейерной линией без самозарубки или «заездов»;

- начало выемки угля узкозахватным комбайном из ниши; передвижка конвейерной линии и манипулятора ВМФ-2 и одновременно начало подготовки следующей ниши для нового цикла выемки основным комбайном.

Манипулятор ВМФ-2 за время выемки одного цикла подготавливал нишу длиной до 9,0 м на глубину захвата до 1,3 м. Такая глубина захвата позволяла комбайну иметь всегда в резерве подготовленную нишу. За время шахтных испытаний было подготовлено 350 ниш. Техничко-экономические показатели работы участка при флангово-фронтальной выемке, где проводились испытания ВМФ-2, приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Техничко-экономические показатели работы участка ВМФ-2

Показатели	3-я восточная лава К <sub>12</sub> – верхний слой	
	до применения ВМФ-1	при применении ВМФ-1
Среднесуточная добыча, т	1568	2175
Среднемесячное подвигание лавы, м		
Трудоемкость концевых операций, чел. – смен/1000т.	40,9	93,5
Производительность труда рабочих по лаве, т/мес.	4,7	1,4
Участковая себестоимость, руб/т	293	355
	1,12	1,05

При испытании манипулятора ВМФ-2 в 3-й восточной нижней лаве К4 в комплексе КМ-873 были проведены эксперименты с установкой его на

конвейерной линии и с расположением на почве между конвейерной линией и забоем.

После выхода комбайна из ниши начинается процесс выемки манипулятором ВМФ-2. В этом случае фронтальный манипулятор, перемещаясь по конвейерной линии, устанавливается в исходное положение для подготовки ниши. Распорная стойка в исходном положении при максимально выдвинутом штоке гидродомкратов распирается между почвой и кровлей. Затем выемочный манипулятор подтягивается до выдвижения штоков гидродомкратов. В процессе движения за счет манипулирования производится отбойка, погрузка и зачистка угля. Затем распорная стойка отталкивает манипулятор с разворотом телескопических стрел в сторону целика, производя снова выемку (отбойку, погрузку, зачистку) до минимальной величины выдвижения штока гидродомкратов. После этого распорная стойка освобождается и подтягивается к манипулятору до минимального хода выдвижения штока гидродомкратов.

Распорная стойка вновь распирается, и за счет отталкивания от нее производится выемка угля манипулятором ВМФ-2. Таким образом, производится выемка целика до откаточного штрека. Последовательность операций по выемке отережного цикла ВМФ-2 повторяется. В промежутке между выемкой целика и подготовкой ниши с помощью ВМФ-2 производятся за счет манипулирования вспомогательные работы на сопряжение с выработкой.

Очистной комбайн, находящийся в верхней нише, подготовлен к фронтальной передвижке без самозарубки или «заездов». Затем производится фронтальная передвижка комбайна и ВМФ-2 с конвейерной линией и начинается процесс выемки нового цикла узкозахватным комбайном.

Вариант с установкой ВМФ-2 с забойной стороны от конвейерной линии по составу технологических операций аналогичен варианту с расположением на конвейерной линии. Схема приемлема при устойчивой непосредственной кровле.

Технико-экономические показатели работы участка № 7 шахты им. Костенко при флангово-фронтальной выемке с применением ВМФ-2 приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6

Показатели	3-я восточная нижняя лава К <sub>4</sub>	
	до применения ВМФ-2	при применении ВМФ-4
Среднесуточная добыча, т	596	1278
Среднемесячное подвигание лавы, м	18,7	38,9
Трудоемкость концевых операций, чел. – смен/1000т.	5,8	1,9
Производительность труда рабочих по лаве, т/мес.	182,7	252,2
Участковая себестоимость, тенге / т	1270	1030

Установка ВМФ-1 с завальной стороны конвейерной линии предусматривает применение специальной направляющей балки, конструкция которой обеспечивает автоматизированную равномерную передвижку

фронтального манипулятора вдоль очистного забоя. В этом случае забойный конвейер постоянно находится в забое, а телескопическая стрела с механизмом поворота и подъема подвижно установлена на этой балке, имеющей специальный механизм перемещения [19, 25]. Процесс отбойки и погрузки угля на конвейер во фронтальной части забоя при установке ВМФ-2/4 на балке производится следующим образом.

На ширину фронта обработки забоя (заходки) вдоль лавы устанавливается ВМФ-2, который, манипулируя, обрабатывает забой непрерывно в любой последовательности на глубину захвата до 300-400 мм. Порядок и последовательность манипулирования обработки забоя, определяющие схему отбойку угля, зависят от ряда горнотехнических факторов: физико-механических свойств массива пласта кровли, газоносности, газообильности, мощности пласта, структурных особенностей массива и наличия геологических нарушений и т.д.

Эффективность очистной выемки во фронтальной части забоя зависит не только от горнотехнических условий разработки пласта, но и технических возможностей фронтальных манипуляторов ВМФ-1 и ВМФ-2/4. В свою очередь, эти возможности определяются как теоретической производительностью манипуляторов, так и эффективностью их во времени, характеризуемой коэффициентом исследования технической производительности  $K_{mex}$ . Этот коэффициент учитывает интенсивность протекания во времени отдельных составных операций по выемке угля, и его можно принять в качестве временной характеристики технологического процесса во фронтальной части забоя.

Коэффициент использования технической производительности выемочного манипулятора фронтально-избирательного действия определяется по формуле:

$$K_{mex} = \frac{1}{\frac{1}{K_2} + \frac{60T_{np}}{L_{uo}} \cdot V_{pn}}, \quad (6.12)$$

где  $K_2$  – коэффициент готовности ВМФ-1 или ВМФ-2/4;

$T_{np}$  – время технически регламентированных перерывов выемочного манипулятора за рабочий цикл, связанное с маневровыми операциями, заменой зубков, профилактикой и т.д., мин.;

$L_{uo}$  – путь, проходимый исполнительным органом за рабочий цикл, м;

$V_{pn}$  – рабочая скорость подачи исполнительного органа, м/мин.

Время регламентированных перерывов  $T_{np}$  манипуляторов ВМФ в общем случае состоит из следующих слагаемых:

$$T_{np} = T_{m.o.} + t'_{m.o.} + t''_{m.o.} + t_{3.u.}, \quad (6.13)$$

где  $T_{m.o.}$  – затраты времени на подачу исполнительного органа на забой в пределах захвата, мин.;

$t_{м.о.}$  – удельные затраты времени на маневровые операции, связанные с подачей исполнительного органа от забоя для замены изношенных резцов, мин/цикл;

$t_{м.о.}$  – удельные затраты времени на маневровые операции, связанные с передвижкой секций крепи после выемки очередного цмкла, мин/цикл (для ВМФ-2 =0);

$t_{з.и}$  – удельные затраты времени на замену резцов, мин/цикл.

Подвигание исполнительного органа фронтального манипулятора за рабочий цикл:

$$L_{и.о.} = H_b \cdot \left( \frac{B_H}{2dk} - 1 \right), \quad (6.14)$$

где  $H_b$  – путь исполнительного органа по мощности пласта, м;

$B_H$  – фронт отработки забоя одним манипулятором ВМФ, м;

$dk$  – диаметр коронки исполнительного органа, м;

Коэффициент готовности, по статистическим данным работы фронтальных манипуляторов, принимаем: а) для ВМФ-1 – 0,910; б) для ВМФ-2 – 0,944.

Оценка затрат времени по отдельным операциям в процессе подготовки верхней ниши проведена на экспериментальном участке в период испытания ВМФ-1 на основе хронометражных наблюдений в течение девяти добычных смен.

Затраты времени на маневровые операции, связанные с подачей телескопического исполнительного органа в забой на величину  $B=0,6$  м.

$$T_{о.м} = \frac{B}{V_{п.п.}} \quad (6.15)$$

Затраты времени на маневровые операции, связанные с подачей телескопической стрелы от забоя, для замены изношенных резцов:

$$t'_{м.о.} = \frac{L_{и.о.} \cdot m_{сл} \cdot B \cdot d_n \cdot n_y}{V_{ноб} \eta'_g N}, \quad (6.16)$$

где  $m_{сл}$  – мощность вынимаемого слоя угля коронкой, м;

$d_n$  – величина подачи исполнительного органа манипулятора от забоя (для замены резцов), м;

$n_y$  – удельный расход резцов, шт./м<sup>3</sup>;

$\eta'_g$  – допустимый процент выхода резцов из строя;

$N$  – количество резцов на исполнительном органе, шт;

$V_{ноб}$  – скорость поворота стрелы, м/мин.

Удельные затраты времени на замену резцов:

$$t_{3.u.} = L_{u.o.} \cdot m \cdot B \cdot n_y \cdot t_p, \quad (6.17)$$

где  $t_p$  – время, затрачиваемое на замену или перестановку одного резца, мин.

Время простоев манипуляторов ВМФ за рабочий цикл:

$$t_{np.u.} = T_{m.o.} + t'_{m.o.} + t_{3.u.}, \quad (6.18)$$

На основе экспериментальных данных, а также нормативных требований [18, 19, 20] установлен коэффициент использования технической производительности выемочных манипуляторов при флангово-фронтальной выемке: а) для ВМФ-1 – 0,72-0,78; б) ВМФ-2 – 0,78-0,84.

Техническая производительность фронтальных выемочных манипуляторов при флангово-фронтальной выемке с учетом теоретической производительности и установленных коэффициентов  $K_{tex}$  есть: а) для ВМФ-1 – 94,3-98,7 т/ч; б) для ВМФ-2 – 108,2-114 т/ч.

В конечном счете, для выемочных манипуляторов ВМФ-1 и ВМФ-4М с учетом экспериментальных испытаний основных конструктивных элементов и режимов их работы, а также установленных коэффициентов с использованием технической производительности можно считать обоснованной техническую производительность: а) для ВМФ-1 и ВМФ-2 с целью подготовки ниш – 1,57-1,645 т/мин; б) для ВМФ-4М с расположением на конвейере при флангово-фронтальной выемке – 1,803-1,91 т/мин.; в) для ВМФ-4НС с расположением на направляющей балке при флангово-фронтальной выемке – 1,86-1,97 т/мин. Эти показатели установлены и приняты в техническом задании на создание образцов опытно-промышленной партии, в процессе их конструктивно-технического усовершенствования следует ожидать увеличения их теоретической и технической производительности.

На основе шахтных экспериментальных испытаний различных типов выемочных манипуляторов ВМФ:

- обоснованы конструктивно-технические параметры и схемы ВМФ-1, ВМФ-2 по устойчивости и режимам их работы. Установлено, что работоспособность и надежность конструктивной схемы ВМФ-2, ВМФ-4, ВМФ-4М, ВМФ-4КН, ВМФ-4Н необходимо проверить по поперечной грузовой устойчивости;

- разработаны практические рекомендации по повышению надежности и устойчивости ВМФ с различными конструктивными схемами.

На основе теории вероятностей получены расчетные формулы для определения надежности работы ВМФ, которыми доказано, что при увеличении среднего значения усилий распора несущей стойки надежность устойчивого положения манипулятора повышается.

Экспериментально подтверждено, что для различных конструктивно-технических параметров стрелы, массы несущих конструкций, усилия распорных механизмов и других горнотехнических условий работы ВМФ является схема

обработки забоя, позволяющая выбрать наиболее устойчивую схему на основе построенных номограмм.

Результаты обработки данных замеров ВМФ на базе резцовых коронок ПК-3Р показали, что средняя скорость подач – 8,8 м/мин, при среднеквадратичном отклонении – 1,15 м/мин, значение средней потребляемой мощности составило 29,8 кВт при среднеквадратичном отклонении 2,9 кВт. Опрокидывание электродвигателя происходило при скорости подачи 8,8-9,9 м/мин., при пиковом значении потребляемой мощности 30 кВт, при этом удельные энергозатраты составили 0,42 кВт ч/т для средней сопротивляемости резанию угля 280 Н/мм, а при испытании исполнительного органа диска с отрывом удельные энергозатраты снизились до 0,33 кВт ч/т.

Исследование различных типов резцовых коронок от проходческих комбайнов типа ПК-3М, ПК-3Р, ГПК и др. установило, что техническая производительность колеблется в следующих диапазонах:

- для ВМФ-1, ВМФ-2 – от 1,57-1,646 т/мин.;
- для ВМФ-4М, ВМФ-4КН, ВМФ-4Н – от 1,803-1,97 т/мин.

Установлено, что спектрально-корреляционные характеристики работы ВМФ на различных резцовых коронках показывают, что дисперсия процесса изменения мощности распределения – в интервале частот от 5 Гц до 16 Гц, причем это распределение неравномерно: примерно 0,5 дисперсии приходится на диапазон высоких частот – от 14 до 40 Гц.

Анализ выражений (91-94) показал, что 25% дисперсии приходится на область, близкую к угловой частоте вращения коронки  $7,6\text{с}^{-1}$ , а 52% связаны с наличием удвоенной угловой частоты, обусловленной двумя причинами: это частота, равная зубковой частоте забурника, имеющего два режущих зубка (при работе коронки в режиме внедрения в массив); при работе коронки в режиме обработки забоя как частоту второй гармоники в разложении периодической составляющей. И, наконец, 23% дисперсии связаны с наличием частоты  $23,5\text{с}^{-1}$ , близкой к устроенной угловой частоте, что связано с конструктивно-кинематическими особенностями режущей коронки.

## **6.7 Исследование параметров следящих приводов автоматизированного управления выемочного манипулятора ВМФ-4П**

Выбор привода автоматического выемочного манипулятора АВМ-4П зависит от характера выполняемых очистных работ в подземных условиях. Так, специализированные и координатные манипуляторы с дистанционным кнопочным управлением оборудуются приводами с постоянной скоростью движения (П) или приводами с регулируемой скоростью движения (РП). В выемочных манипуляторах с учетом горно-геологических и технических условий необходимо программное управление с использованием микропроцессоров и микро-ЭВМ, а также следящих приводов (СП) для управления перемещением секции базы и механизированной крепи роботизированного комплекса КРСБЭ.

Универсальные копирующие манипуляторы, управляемые дистанционно человеком-оператором, оборудуются СП или обратными следящими приводами (ОСП) с отражением сил [76, 103]. Универсальные манипуляторы с программным или микропроцессорным управлением с использованием микро-ЭВМ снабжаются следящими приводами, хотя в отдельных случаях у них имеется дополнительный канал управления для отражения сил, например, операций передвижки секции механизированной крепи (распор, освобождение от распора стоек и передвижка).

Методы проектирования разомкнутых приводов П и РП для объектов управления, обладающих самыми разнообразными свойствами, общеизвестны [4, 6, 8]. Методы проектирования замкнутых приводов СП и ОСП для горных выемочных манипуляторов и роботов необходимо подробно разработать с учетом горно-геологических условий применения.

Создание СП и ОСП, имеющих хорошие конструктивные и эксплуатационные свойства, связано с решением сложного комплекса проблем. Поэтому нужно обеспечить все возможности для успешного проведения расчета конструктивных элементов привода ОСП, в результате чего можно создать горный выемочный манипулятор с заданными оптимальными характеристиками.

Проектирование СП и ОСП целесообразнее начинать с выбора типа и мощности силовых элементов (двигателей), ибо конструктивные характеристики двигателей должны строго соответствовать предполагаемым горно-геологическим условиям эксплуатации, а энергетические характеристики должны обеспечивать заданное быстродействие при оптимальных параметрах привода. Методика выбора типа и мощности исполнительных двигателей для СП и ОСП была подробно изложена в работах [18, 19, 20].

Выбор двигателей предопределяет номенклатуру функционально необходимых элементов привода, структурную схему и возможные корректирующие средства, необходим для улучшения статических и динамических характеристик. Для обеспечения заданных оптимальных характеристик привода необходимо иметь  $n-1$  – независимый корректирующий элемент, где  $n$  – число, определяющее порядок характеристического уравнения предварительно скомпонованного СП или ОСП [40, 42]. При выборе корректирующих средств целесообразно обратить внимание на отрицательные регулирующие обратные связи, которые просты по конструкции и надежны в работе.

Регулирующие связи увеличивают стабильность работы приводов, линеаризуют в определенной степени характеристики охваченных или нелинейных элементов и при правильном их применении не увеличивают порядка характеристического уравнения, так как увеличение  $n$  всегда требует увеличения корректирующих средств, если рассматривать вопросы в оптимальных системах автоматического управления. В итоге появляются структурная схема привода и математическое описание его движения.

В процессе проектирования нужно осуществлять синтез дифференциального уравнения движения и определение передаточной функции оптимальной системы, обеспечивающей заданное быстродействие и заданную

форму кривой переходного процесса при некотором типовом управляющем воздействии. Методика синтеза дифференциальных уравнений была изложена в работах [50, 51]. Для синтеза дифференциального уравнения движения необходимо знать предварительно только его порядок.

Передаточную функцию оптимальной системы сравнивают с фактически существующей передаточной функцией предварительно скомпонованного привода и в результате сравнения определяют параметры выбранных ранее корректирующих средств, для чего используют метод сравнения соответствующих коэффициентов.

Если предельно возможный вращающий момент (сила) исполнительного двигателя ограничен и допустим при переходных процессах, то в этом случае вместо сравнения передаточных функций (оптимальной и фактической) можно сравнивать соответствующие характеристические уравнения. В процессе сравнения в структуру приводов вносят соответствующие коррективы. Изложенный выше метод синтеза приводов иллюстрируется в [18, 19] на конкретных примерах.

В заключение скорректированный привод подвергают поверочному анализу. Поверочный анализ подтверждает результаты исследований и позволяет исследовать поведение привода при других режимах работы, которые не учитывались при конструировании.

В некоторых случаях, когда исполнительный двигатель обладает нелинейными характеристиками или когда нелинейные характеристики заложены в других звеньях системы, при аналитических исследованиях устанавливают возможности возникновения автоколебаний и принимают меры к их предупреждению.

## **6.8 Программное управление автоматическим манипулятором типа ВМФ-4П**

Разработанная технология выемки пластов предполагает использование специальных манипуляторов типа ВМФ, имеющих исполнительный орган избирательного действия.

Судя по ведущимся конструктивным проработкам, создаваемый манипулятор должен быть мобильным, и особенно в условиях крутонаклонных пластов, что накладывает на величину его веса ограничение и в значительной мере определяет способ обработки забоя.

По принципу обработки забоя разрабатываемый манипулятор приближается к проходческим комбайнам с исполнительными органами избирательного действия. В настоящее время уже накоплен определенный опыт автоматизации таких комбайнов, что позволяет подойти к автоматизации манипуляторов типа ВМФ именно с позиции накопленного опыта.

Рассмотрим основные принципы построения и функционирования системы автоматизации управления исполнительным органом как системы программного управления.

Системы программного управления исполнительным органом по способу задания программы можно разбить на два вида:

- с дискретным сложением;
- с непрерывным сложением.

Системы с дискретным сложением обеспечивают задание программой движения исполнительного органа с помощью программонаборщиков, имеющих запоминающие устройства на ограниченное число команд. Такие системы имеют недостаточную гибкость задания программы, малую разрешающую способность и небольшой объем программ. Этот способ задания программы, благодаря своей простоте, нашел широкое применение в металлорежущих станках при обработке несложных деталей.

Ввиду того, что при обработке очистного забоя требуется относительно частое изменение формы, особенно при выходе манипулятора из секции крепи, применение для манипулятора ВМФ системы программного управления с дискретным сложением оказывается малоэффективным [58, 61].

Наиболее перспективными являются системы программного управления с непрерывным сложением, позволяющие задавать траекторию движения исполнительного органа любого вида и в любом количестве.

В качестве программносителей могут быть использованы микропроцессоры МПК-580, перфокарты, перфоленты, магнитные ленты, магнитные барабаны, спираи и т.п. [24, 25]. Каждый из этих программносителей имеет свои достоинства и недостатки, определяющие его выбор, исходя из условий надежности, возможности выполнения заданной траектории, обеспечения достаточно простой конструкции для работы в тяжелых условиях.

Системы программного управления проходческими комбайнами разрабатывались ВНИИ гидроуголь, КузНИУИ, «Автоматгормаш», «Гипроуглегормаш», Копейским машзаводом им С.М. Кирова, Прокопьевским заводом шахтной автоматики и др.

В ВНИИ гидроуголь разработана и испытана в шахтных условиях система программного управления комбайном К-56МГ [47, 48]. Задание программы осуществляется с помощью 152 многопозиционных и 76 малогабаритных тумблерных переключателей, расположенных на панели программонаборника. С помощью этих переключателей создается условная сетка, разбивающая сечение забоя на 19 равных частей по горизонтальной и вертикальной осям. Программнонаборником можно производить коррекцию и набор программы непосредственно на рабочем месте. Однако промышленные испытания показали, что система эта характеризуется недостаточной гибкостью принятого способа задания программы, ее небольшим объемом, ограниченной разрешающей способностью.

КузНИУИ разработан и испытан в шахтных условиях экспериментальный образец аппаратуры программного управления контактно-релейного исполнения и жестким заданием программы на специальном коммутаторе, в качестве которого используются многоконтактные штекерные разъемы. Забой выработки разбивается условной координатной сеткой на 17 равных частей по горизонтальной и вертикальной осям. С помощью этой координатной сетки может быть набрана любая траектория из 17 перемещений режущего органа. Для последовательного задания величин и направления этих перемещений служит

распределитель, выполненный на базе шагового искателя типа ШИ-17 [46, 48]. Промышленные испытания экспериментального образца показали, что аппаратура имеет те же недостатки, что и система управления, разработанная институтом ВНИИ гидроуголь.

Гидравлическое программирование в Чехии [18, 19] предусматривает обработку забоя с помощью копировального шаблона. Машинист комбайна обрабатывает забой вручную, но для получения более точных оконтуривающих размеров выработки на рукоятку управления устанавливается копировальное устройство таким образом, что длинное плечо двухплечевого рычага перемещается в регулируемом копировальном шаблоне, а его короткое плечо управляет золотниковым гидроцилиндром подачи. Изменение размеров выработки осуществляется перемещением копировального шаблона относительно оси поворота рукоятки управления.

Недостатком этого устройства является то, что машинист комбайна не освобождается от управления комбайном и подъем невозможен, так как смещение программы обработки забоя вверх или вниз от оси комбайна приводит к искривлению проекции траектории на вертикальную плоскость, определяющую точность обработки забоя.

Институтом «Автоматгормаш» разработана и испытана в шахтных условиях система программного управления проходческого комбайна ПК-9РА [47, 48].

В качестве программноносителя в данной системе применен магнитный барабан. Выполнение логических операций, связанных с управлением блоком магнитной памяти и электрогидроусилителями в режиме программной обработки забоя, осуществляется блоком автоматического управления.

Работы по созданию автоматических регуляторов нагрузки при ходе резания проходческих комбайнов с исполнительным органом избирательного действия в настоящее время ведутся в ограниченных объемах.

Институтом «Гипроуглегормаш» создание проходит стадию промышленного освоения аппаратуры программного управления исполнительным органом проходческого комбайна. Функции, которые выполняет аппаратура на проходческом комбайне, сводятся к автоматизации перемещения коронки исполнительного органа в соответствии с некоторой заранее составляемой программой. Одновременно обеспечивается ограничение величины нагрузки привода двигателя.

Поскольку аппаратура института «Гидроуглегормаш» является наиболее современной, доведенной до практического применения и наиболее подходит к следящим приводам с двухкаскадным усилителем, целесообразно для разрабатываемого манипулятора ВМФ использовать ее в качестве основной элементной базы, а конкретная реализация программного управления должна быть проведена с учетом специфических особенностей манипулятора ВМФ.

**Особенности манипулятора ВМФ как объекта программного регулирования. Характерные геометрические характеристики исполнительного органа и возможные варианты его управления.** Манипулятор типа ВМФ состоит из стреловидного телескопического органа,

турели, гидродомкратов, основания, шарнирно соединенного четырьмя направляющими лыжами, механизма перемещения и пульта управления. Предположим, что  $s$  – расстояние от точки опоры на корпусе горизонтального гидроцилиндра до точки закрепления его штока при втянутом положении действия и золотниковым управлением в динамическом отношении эквивалентно двухкаскадному звену. Определим параметры этого звена. Скорость движения интегрирующего звена определяется выражением:

$$\dot{\chi}_{вых} = \frac{K_1}{T} \int_0^t \chi_{вых} dt, \quad (6.19)$$

где  $s_{вых}$  – скорость перемещения штока гидроцилиндра;

$s_0$  – расход жидкости;

$K_1$  – коэффициент пропорциональности;

$T$  – постоянная времени.

Для определения  $K_1/T$  воспользуемся выражением:

где  $S$  – площадь поперечного сечения поршня.

Кроме коэффициента передачи самого гидроцилиндра, необходимо знать коэффициент передачи механизма подачи ( $K_M$ ). Для определения  $K_M$  графическим путем определим зависимость горизонтального и вертикального угла поворота от перемещения штока. Результаты сведены в таблицах 6.7 и 6.8.

Таблица 6.7 – Зависимость горизонтального угла поворота исполнительного органа от перемещения штока гидроцилиндра

Град	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
мм	500	517,5	537,5	556	582,5	60,75	535	660	685	710	735	770
мм	0	17,5	37,5	56	82,5	102,5	135	160	185	210	235	270

Таблица 6.8 – Зависимость вертикального угла поворота исполнительного органа от перемещения штока гидроцилиндра

Град	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
мм	580	610	645	685	730	765	810	850	882	915
мм	0	30	65	195	150	185	230	275	302	335

**Точность задания положения исполнительного органа и расчет профилированных кулачков.** Для того, чтобы уменьшить удельный вес потерь по мощности, необходимо спроектировать данную систему таким образом, чтобы максимальная погрешность не превышала 5 см, чему соответствует точность задания положения исполнительного органа, равная 1000.

Задание положения исполнительного органа осуществляется с помощью профилированных кулачков. Для построения профилей кулачков [18, 19] необходимо, чтобы был задан закон изменения угла отклонения коромысла в зависимости от угла  $j_2 = f(j_1)$  поворота кулачка. Построим графики изменения

горизонтального и вертикального угла, а также длины телескопической стрелы во времени. Для этого разобьем схемы обработки забоя на участки.

Проведем расчет для первой программы, для участков 1-2, 10-11:

$$L(t) = \sqrt{(Y_1 - Y_2)^2 + (X_1 - X_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}, \quad (6.21)$$

где

$$Y_1 = 1; Y_2 = V_n t; V_n = 10 \frac{M}{мин} = 0.161 \frac{M}{с}$$

Для определения горизонтального угла воспользуемся уравнением:

$$\rho_i \cos \psi_i = P_i$$

где  $P_i$  – перпендикуляр, опущенный на прямую:

$$P_i = \sqrt{1,5^2 + (1,5 - V_{ii})^2}$$

Тогда

$$\varphi = \arcsin \frac{P_i}{L(t)_i} \quad (6.22)$$

Для определения вертикального угла воспользуемся также уравнением линии:

$$\rho \cos \varphi_i = C_i,$$

где

$$C_i = \sqrt{1,5^2 + (1 - V_{ii})^2} \quad (6.23)$$

$$\varphi_i = \varphi + 90^0$$

Для проектирования кулачкового механизма необходимо определить минимальный радиус кулачка с целью получения минимальных габаритов профиля кулачка.

Для его определения зададимся максимальным углом давления. Для кулачковых механизмов с коромыслом он принимается равным  $d_{max} = 45 - 50^0$ . Примем  $d_{max} = 45^0$ . Также примем полный угол поворота коромысла, равный:

- для кулачка длины стрелы  $d_c = 42^0$ ;
- для кулачка горизонтального угла  $d_T = 50^0$ ;

– для кулачка вертикального угла  $d_b = 45^\circ$ .

Принимаем длину коромысла, равную  $l = 10$  см. После того, как выбраны все исходные данные, производим построение профиля кулачка, исходя из его минимального радиуса. Для этого по заданному закону движения  $j_2 = f(j_1)$  производится разметка положения точек коромысла.

Пусть это будут точки  $B_1, B_2, B_3...$  Разметку производим как для фазы подъема, так и для фазы опускания. Далее на лучах  $EB_2, EB_3...$  от точек  $B_2, B_3, B_4$  откладываем отрезки  $(B_1C_1), (B_3C_3)$ , равные:

$$B_2C_2 = \left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right)_2 \ell_2 \quad B_3C_3 = \left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right)_3 \ell_2,$$

где  $\left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right)_2 \left( \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} \right)_3$  – соответствующие передаточным отношениям положения.

При этом  $\omega$  рад./с для программы 1:

$$\omega_1 = \frac{6.28}{100} = 0,063,$$

для программы 2:

$$\omega_1 = \frac{6.28}{112} = 0,0475,$$

для программы 3:

$$\omega_1 = \frac{6,28}{96} = 0,0656.$$

Отрезки  $(B_2C_2), (B_3C_3)$  для фазы подъема откладываем от точек  $B_2, B_3$  вправо, а для фазы опускания – влево от точек.

Если далее, например, через точку  $C$  провести прямую под углом ( $\alpha_{max} = 90^\circ$ ) к направлению  $EC$ , то данная прямая является геометрическим местом возможных положений оси  $A$  кулачка.

Проведя такие лучи от равных точек, можно найти некоторую область, заштрихованную на листе, в пределах которой можно располагать ось кулачка.

Для построения профиля кулачка определяем  $r_o, l_3, j_o$ . Обращая движение механизма, находим положение точек  $C_2, C_3$  от оси вращения коромысла. Соответственно, на окружности радиуса определяются точки  $B^{II}, B^{III}$ . От полученных направлений  $C_2B^{II}, C_3B^{III}$  откладываем углы, взятые в диаграммы  $j_2 = f(j_1)$ . Тогда определяются точки  $B_2, B_3, B_4$  центрального профиля кулачка. По представленной методике производим расчеты на ЭВМ для всех трех программ.

В результате проведенных исследований:

- предложены системы электрогидравлического (профилирующего) программного управления автоматического ВМФ-4П, которое обеспечивает заданное программой движение с помощью программонаборщиков, имеющих запоминающие устройства на ограниченное число команд;

- получена данная передаточной функции для двухкаскадного звена, входным параметром является напряжение питания катушки СП, а выходным параметром является расход жидкости согласно [19], обеспечивается точность воспроизведения с учетом величины ошибок [18,19];

- доказано, что влияние различных типов корректирующих звеньев на качество системы программного управления наиболее полно удовлетворяет комбинированную коррекцию, представляющую собой последовательно соединенное интегрирующее звено, согласно формулам [51, 52];

- получены логарифмические амплитудные характеристики (ЛАХ) для определения координаты контрольной точки с целью построения запретной зоны при работе корректирующего звена, которое обеспечивает точность движения исполнительных механизмов при отработке забоя ВМФ [58, 61];

- динамические свойства исполнительного органа выемочной машины ВМФ таковы, что имеется возможность использовать в качестве подсистем регулирования аппаратуру, разработанную Карагандинским институтом «Гипроуглегормаш» с использованием СП и двухкаскадного усилителя;

- в случае применения телескопического исполнительного органа необходимо разработать датчик величины вылета стрелы исполнительного органа, а к аппаратуре «Гипроуглегермаша» добавить соответствующую следящую подсистему с интегрирующими звеньями Для удобства перенастройки машины ВМФ при селективной выемке угольных пластов необходимо использовать СП подсистемы качания вертикальной плоскости, введя в канал системы звено с легкоизменяемым коэффициентом передачи датчика или задатчика;

- предусмотреть взаимную блокировку распорных средств ВМФ-4П и СП, исключающую возможность функционирования подсистем при незакрепленной части очистного забоя с учетом обработки его в программном режиме роботизированного комплекса.

## **6.9 Выбор и обоснование системы управления роботизированного комплекса с автоматическими манипуляторами**

**Определение динамических характеристик манипулятора ВМФ-4П как объекта автоматизации.** Манипулятор ВМФ-4П как объект автоматического управления характеризуется наличием переменных параметров, нелинейностей и обратных связей, в том числе перекрестных, поэтому синтез систем управления аналогическими методами не обеспечивает необходимой точности, а часто вообще искажает динамические характеристики процесса в силу неизбежных при этом методе расчета линеаризации и упрощений.

При изучении различных технологических процессов широкое применение получили статистические методы исследований, которые во многих случаях являются единственными для определения динамических характеристик, в частности передаточных функций. Осциллографические записи скоростей перемещения коронки и подачи, токов нагрузки электродвигателя исполнительного органа, перемещения коронки и подачи манипулятора получены в рабочем режиме МФ-4Н с автоматическим манипулятором. Стендовые испытания проводились на углцементном блоке с сопротивляемостью резанию, равной 200 кН/м, и при угле наклона 35°. Осциллограммы скоростей и токов получены с помощью осциллографа НО-30, усилителя 8АНЧ, преобразователя мощности ПО226, измерительных трансформаторов УТТ-5, тахогенераторных датчиков.

Предварительный анализ показал, что реализации являются стационарными и эргодическими функциями. Для ввода в вычислительную машину данные непрерывных функций были представлены в дискретной форме квантованием по времени. Шаг квантования принят равным из расчета 5-7 точек на период наиболее высокочастотной составляющей процесса. Длина реализации определена из расчета 10 периодов низкочастотной составляющей процесса.

С помощью цифрового преобразующего устройства ЦПУ дискретные значения случайных функций преобразовали в перфоленты. Исходные данные с помощью перфоленты ввели в цифровую вычислительную машину ЕС-1022. Вычисления оценок основных статистических характеристик производились по следующим формулам.

Дисперсия:

$$G^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left( \chi_t - \bar{\chi} \right)^2. \quad (6.25)$$

Корреляционная функция:

$$K(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-\tau} \left( \chi_t - \bar{\chi} \right) \left( \chi_{t+\tau} - \bar{\chi} \right),$$

где  $t$  – интервал между сечениями случайной функции.

Спектральная плотность:

$$C_{xx}(f) = \frac{\Delta}{N} \left| \sum_{t=n}^{n-1} \chi_t e^{-j2\pi f t \Delta} \right|^2, \quad (6.27)$$

где  $D$  – шаг разбиения реализации случайной функции.

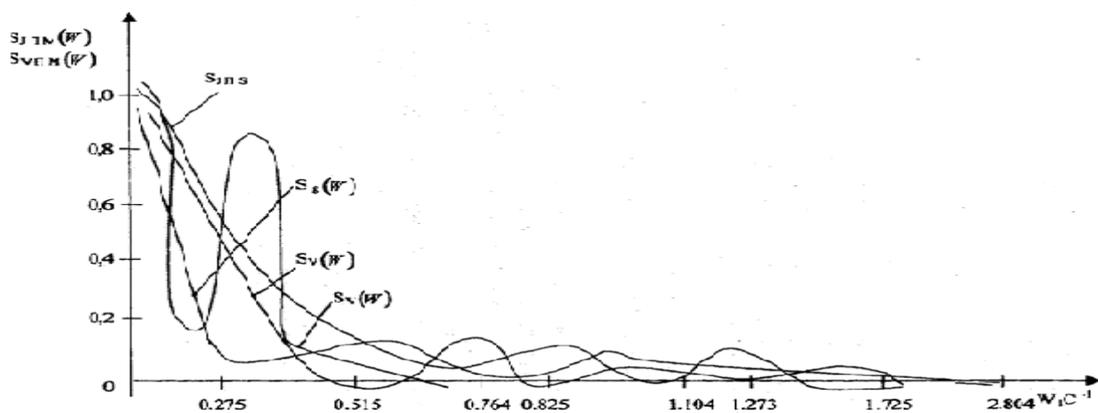


Рисунок 6.6 - Оценки нормативных спектральных плотностей тока и скорости подачи в ручном и автоматическом режиме работы ВМФ

В результате расчета на вычислительной машине, согласно типовой блок-схеме программы вычисления вероятностных характеристик, получены графики изменения корреляционных функций и спектральной плотности скорости и тока при перемещении коронки под нагрузкой по массиву при подаче манипулятора (рисунок 6.6).

При исследовании экспериментальных данных основное внимание уделено спектрально-корреляционному анализу, так как с помощью оценок спектральной характеристики исследован характер динамических нагрузок, развивающихся на ВМФ-4П с автоматическим манипулятором. При ручном управлении в корреляционных функциях со скоростью подачи видно, что скорость подачи имеет высокую положительную корреляцию при малых запаздываниях, т.е. до 2 с, и малую – при более высоких и экспоненциально достигнет нуля при сдвиге до 28,72 с. Спектр имеет хорошо выраженный пик на частоте 0,341 Гц, который, возможно, объясняет небольшую периодичность корреляционной функции при больших значениях аргумента.

Из корреляционных функций тока при подаче ВМФ-4П видно, что ток имеет высокую положительную корреляцию с уменьшением до 0 при сдвиге 4,25 с, затем имеет колебательность с периодом 3 с уменьшением корреляции до 0 при сдвиге 15 с. Спектральная плотность – максимальная, на частоте до 0,2 Гц имеется небольшой пик на частоте 0,582 Гц с затуханием до 0 при 2,809 Гц. Пик спектра объясняется наличием гармоник корреляционной функции. Подобный анализ можно сделать с автокорреляционными функциями и спектральной плотностью скорости и тока при движении коронки поперек забоя.

Из графиков автокорреляционных функций тока электродвигателя исполнительного органа при внедрении коронки в массив и при манипулировании функции имеют вид затухающих синусоидальных колебаний с периодами 3-5 с с амплитудами порядка 0,3-0,5. Эти нормированные корреляционные функции отражают квазипериодические колебания тока со значительными амплитудами и частотами. Графики спектральной плотности показывают наличие больших дисперсий на низких частотах – порядка до 0,3-0,4 Гц, появление дисперсий порядка 0,2-0,3 на частотах 0,4-0,6 Гц, наличие

дисперсий порядка 0,2 на частотах 0,4-0,8 Гц и 0,15-0,2 – при подаче машины на частотах 1,1-2,8 Гц. Данные нормированные функции спектральной плотности также подтверждают случайный характер изменения тока со значительными амплитудами и частотами.

Полученные графики автокорреляционных функций скорости подачи машин и тока двигателя исполнительного органа при подаче машины, согласно методикам института «Гипроуглеавтоматизация», можно аппроксимировать из условия минимизации среднеквадратичного отклонения от вычислительных табличных знаний следующими аналитическими выражениями:

$$R_{VIM} = A_V \ell^{-\alpha(\tau)} \quad (6.28)$$

$$R_{JIM} = A_J \ell^{-\alpha(t)} \cos \omega t, \quad (6.29)$$

где  $A$  – дисперсия функций;

$a$  – коэффициент затухания экспоненты;

$t$  – интервал между сечениями случайной функции;

$w$  - угловая частота колебаний.

Коэффициенты затухания экспоненты корреляционных функций скорости подачи и тока исполнительного органа при подаче машины определяются соответственно:

$$\alpha = \frac{3}{\tau_k}; \quad \alpha_{JIM} = \frac{\pi}{\tau_3 - \tau_1} \operatorname{tg} \frac{\pi(3\tau_1 - \tau_3)}{2(\tau_3 - \tau_1)}, \quad (6.30)$$

где  $t_1$  и  $t_3$  – точки прохождения корреляционной функции через нуль.

Полученные графики корреляционных функций скорости перемещения коронки и тока двигателя исполнительного органа можно аппроксимировать также из условия минимизации среднеквадратичного отклонения от вычисленных табличных значений следующими аналитическими выражениями:

$$R_{VTK}(\tau) = A_V \ell^{-\alpha(\tau)} \cos \omega \tau;$$

$$R_{JTK}(\tau) = A_J \ell^{-\alpha(\tau)} \left( \cos \omega \tau + \frac{\alpha}{\omega} \sin \omega \tau \right).$$

Коэффициент затухания экспоненты корреляционной функций скорости перемещения коронки определяется по формуле:

$$\alpha_V = \frac{\pi}{\tau_3 - \tau_1} \operatorname{tg} \frac{\pi(3\tau_1 - \tau_3)}{(\tau_3 - \tau_1)}. \quad (6.31)$$

Для определения коэффициента затухания экспоненты корреляционной функции тока исполнительного органа из-за того, что аппроксимирующее выражение представляет собой сумму функций, необходим график корреляционной функции и график спектральной плотности. Поэтому он определяется по формуле:

$$\alpha_{ij} = \frac{A_i}{2\pi S_{\max}(\omega_i)}, \quad (6.32)$$

а дисперсия на несущей частоте определяется по формуле:

$$A_i = 2 \int_{\omega_i - \Delta\omega_i}^{\omega_i + \Delta\omega_i} S(\omega) d\omega, \quad (6.33)$$

где  $S(\omega)$  – нормированная спектральная плотность.

Ввиду того, что корреляционная функция скорости подачи ВМФ-4П имеет характеристику «белого шума», а корреляционная функция скорости перемещения коронки имеет характеристику «белого шума» на ограниченном участке, то по аналитическому выражению корреляционных функций выхода, т.е. токов электродвигателя исполнительного органа при подаче и при перемещении коронки, по методике института «Гипроуглеавтоматизация», определяем передаточные функции ВМФ-4П.

Передаточная функция разомкнутой подсистемы будет:

$$W_p(P) = \frac{K_4}{P} \frac{KK_a \tau K_y K_s}{(T_1^2 P^2 + 2E_1 T_1 P) \left( \frac{T}{2} P + 1 \right)}. \quad (6.34)$$

На систему автоматического регулирования действует сигнал  $I_{3a\partial}$ , а также возмущающее воздействие, которое в первом приближении можно представить в виде случайной стационарной величины  $I(t)$ . Корреляционная функция случайной составляющей  $I(t)$  может быть представлена в виде:

$$I(t) = I_o^2 e^{-\frac{\tau}{|t|}} \quad (6.35)$$

где  $I_o^2 = 62A^2$  – среднеквадратичное отклонение среднего значения.

$$\tau = \frac{\tau_{kn}}{V_n} = \frac{6}{10} = 0,6. \quad (6.37)$$

где  $t_{kn}$  – пространство корреляции прочностных свойств разрушаемого массива,  $t_{kn} = 6 - 7$  м, тогда  $I(t)=62$ .

Определим желаемую передаточную системы автоматического регулирования из условий допустимой среднеквадратичной ошибки и заданного порядка астатизма (рис 6.7).

Спроектируем данную систему так, чтобы она обрабатывала возмущающее воздействие с погрешностью, не превышающей заданного среднеквадратичного отклонения входного сигнала.

Передаточная функция для замкнутой системы имеет вид:

$$W_3(P) = \frac{K_o}{P(T_1^2 P^2 + 2E_1 T_1 P + 1)(T_2 P + 1) + K_o},$$

$$K_o = K K_4 K_n \tau K_s$$

$$\text{где } T_2 = \frac{T}{2} c$$

$$Z = -\frac{E_1^2}{r^2}$$

где  $E_1 = 25\%$  – среднеквадратичная ошибка.

$$r_2 = 2 \sum_{i=1}^{\ell} \beta_i E_1 K_{Ex\Delta H}(iE), \quad (6.38)$$

где  $b$  – тангенс угла наклона касательной к кривой, аппроксимирующей график корреляционной функции.

Коэффициент масштаба времени будет:

$$Z = -\frac{E^2}{r_2} = 0,515.$$

Желаемая передаточная функция будет:

$$K(P) = K_{HP}(ZP) = \frac{(ZP)^4 + 4(PZ)^3 + 6(ZP)^2 + 4ZP}{(ZP)^4 + 4(PZ)^3 + 6(ZP)^2 + 4ZP + 1} = \frac{P^4 + 74P^3 + 111P^2 + 1471P}{P^4 + 74P^3 + 111P^2 + 1471P + 7142}.$$

## 6.10 Моделирование рабочего действия манипулятора ВМФ- 5 на аналоговых вычислительных машинах

Наличие аналитических выражений корреляционных функций и спектральных плотностей значительно упрощает анализ динамических свойств исследуемого объекта, а в некоторых случаях позволяет определить передаточную функцию объекта и ее параметры.

В реальных физических объектах характеристики входных возмущающих действий близки к характеристикам «белого шума» лишь на ограниченных интервалах частот.

Таким образом, если корреляционная функция входа системы соответствует корреляционной функции «белого шума», по аналитическому выражению функции выхода могут быть определены передаточная функция объекта и ее параметры. Корреляционными функциями выходов в данном случае являются функции токов электродвигателя исполнительного органа манипулятора при подаче и при внедрении, а также перемещении коронки по мощности пласта.

Согласно методическим рекомендациям [37,58] института «Гипроуглеавтоматизация», передаточные функции имеют следующие выражения:

– при подаче манипулятора ВМФ- 5:

$$W(\rho) = \frac{K_1(T_\rho + 1)}{T^2 \rho^2 + 2\xi_1 T_\rho + 1}, \quad (6.39)$$

– при перемещении коронки манипулятора:

$$W(\rho) = \frac{K}{T^2 \rho^2 + 2\xi_1 T_\rho + 1}, \quad (6.40)$$

где  $K$  – коэффициент передачи;

$T$  – постоянная времени;

$\rho$  – оператор Лапласа;

$\xi$  – декремент затухания.

Параметры передаточных функций определяются следующими аналитическими выражениями, взятыми из соотношения между параметрами корреляционных и передаточных функций:

– постоянная времени:

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}} \quad (6.41)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания;

$\omega$  – угловая частота колебаний;

$K$  – коэффициент передачи:

$$K_1 = K_2 = \sqrt{\frac{2A^2\alpha}{\pi S(O)(\alpha^2 + \omega^2)}}, \quad (6.42)$$

где  $A$  – дисперсия функций;

$S(O)$  – спектральная плотность;

– декремент затухания:

$$\xi_1 = \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 + \omega^2}}.$$

Вычислительные значения параметров передаточных функций при двух режимах работы автоматического манипулятора ВМФ-4Н сведены в табл. 6.9.

Таблица 6.9 – Значения параметров при двух режимах работы манипулятора ВМФ-4Н

Передаточная функция	$K$	$K_1$	$T$	$\xi_1$
При подаче манипулятора	0,17	0,17	0,032	0,99
При перемещении коронки	0,17	-	0,250	0,92

При структурном моделировании для ориентировочного выбора масштаба времени необходимо учесть, что при переходе к машинным операторам величина масштаба времени влияет на машинные постоянные времени и на коэффициенты «чистых» интеграторов. В то же время машинные постоянные времени, находящиеся в знаменателе машинных операторов, определяют длительность переходных процессов по схемам набора типовых звеньев. В большинстве практических случаев можно ориентировочно считать, что время переходного процесса в системе будет превосходить три постоянных времени самого «медленного» звена, т.е.  $t_n < 3T_{max}$ , где  $T_{max}$  – самая большая из постоянных времени, отсюда находим  $mt > t_{max}/3T_{max}$ , где  $t_{max}$  – желаемое время затухания процессов, принимаем равным 2,5 с;  $t_n$  – время затухания переходных процессов в реальной системе, равно 0,25 с.

Масштаб времени:

$$m_t = 2,5:0,25 = 10$$

Значения машинных постоянных времени при внедрении и подаче будут следующими:

$$T_{bM} = 0,32 \text{ с}; \quad T_{nM} = 2,5 \text{ с}$$

Значения машинных коэффициентов усиления при внедрении и подаче будут следующими:

$$K_{bM} = 0,8:10 = 0,08,$$
$$K_{nM} = 0,17:10 = 0,017$$

Далее выбираем из физических соображений один из масштабных коэффициентов. Обычно задаются масштабом входной величины. Положим  $m_x b_x = 1$  тогда масштаб при внедрении и подаче:

$$\begin{aligned} m_{b_y} &= m_x b_x & km_y/k &= 1 & 0,08/0,8 &= 0,1 \\ m_{n_y} &= m_x b_x & km_y/k &= 1 & 0,017/0,17 &= 0,1 \end{aligned}$$

Пользуясь табл. 6.9, составляем схему набора математической модели. С помощью формул рассчитаем передаточные коэффициенты по входам усилителей, приняв масштаб времени  $m_t = 10$ :

– при внедрении коронки:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{K_{bM}}{T_{zbn}^2} = \frac{0,08}{0,32^2} = 0,8; \\ K_2 &= \frac{1}{T_{zbn}^2} = \frac{1}{0,32^2} = 10, \\ K_3 &= K_6 = 1 \\ K_3 K_1 &= \frac{K_{BH} T_1}{T_{2BH} T_2} = \frac{0,08}{0,32} = 0,25; \\ K_3 = 1; \quad K_1 &= 0,25; \quad K_4 &= \frac{2\xi_1}{T_{2BH}} = \frac{2 \cdot 0,99}{0,32} = 6,25 \end{aligned}$$

где  $K_1 - K_4$  – коэффициенты по входам усилителей;

– при перемещении коронки:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{K_{ГМ}}{T_{ГМ}^2} = \frac{0,017}{6,25} = 0,002; \quad K_2 = \frac{2}{T_{ГМ}} = \frac{0,92 \cdot 2}{2,5} = 0,73; \\ K_3 K_6 &= \frac{1}{T_{ГМ}^2} = \frac{1}{2,5} = 0,16; \quad K_3 = 1; \quad K_5 = 0,16; \quad K_4 = 1, \end{aligned}$$

где  $K_1 - K_6$  – коэффициенты по входам усилителей.

Моделирование производим методом статистического моделирования или методом Монте-Карло, заключающимся в том, что на вход моделирующей системы подаются воздействия в виде случайных функций времени или случайных величин. Блок-схема моделирования следующая: сигнал  $U_{ш}(t)$  с генератора «белого шума» поступает на вход формирующего фильтра, структура и параметры которого подобраны таким образом, чтобы после фильтра получить случайный сигнал  $s(t)$  с заданными вероятностными характеристиками. Этот сигнал поступает на вход набранной на ЭВМ системы, выходная величина которой  $Y(t)$  подается на блок усреднения по времени, где определяются оценки вероятностных характеристик. В ЭВМ могут быть получены оценки дисперсии  $A_y$  и математического ожидания  $m_g$  выходной величины.

Задача нахождения передаточной функции линейного формирующего фильтра сводится к аппроксимации заданной спектральной плотности  $\Phi_{xx}(w)$  входного сигнала  $s(t)$  выражениями, соответствующими комплексным передаточным функциям физически реальных типовых звеньев. На практике обычно ограничивается тремя типами звеньев. Выбираем первый, учитывая графики спектральной плотности входных параметров, то есть скорости подачи манипулятора машины ВМФ-4П и скорости перемещения коронки. Комплексная передаточная функция имеет выражение:

$$H_{\phi}(j\omega) = \frac{\Phi_0}{T_{\phi}(j\omega) + 1}, \quad (6.43)$$

где  $\Phi_0=1$  – единичная спектральная плотность.

Аппроксимируем выражение передаточной функции  $H(p) = \frac{K}{T_p + 1}$  апериодического звена.

Определяем значения коэффициентов на входах усилителей из [37, 60] по формулам:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{K_M}{T_M} = 5,0, \\ K_2 &= \frac{1}{T_M} = 1,5. \end{aligned} \quad (6.44)$$

Полученные оценки математического ожидания основаны на том, что реализация случайного процесса подается на вход апериодического звена с большой постоянной времени  $T_1$ , получаем  $m_y$ . Эта оценка будет формироваться непрерывно после затухания переходного процесса в апериодическом звене.

Для получения оценки дисперсии случайного процесса на АВМ используем блок усреднения. В качестве блока усреднения можно использовать также апериодическое звено с постоянной времени. После моделирования на МН-7М получили графики (см. рисунок 6.6). Анализ кривых изменений математического ожидания тока исполнительного органа манипулятора при подаче машины показывает, что среднее значение имеет величину 25А. Степень нагрузки зависит от программы, сопротивляемости горного массива разрушению, диапазона ее изменения и т.д. Поэтому при подаче машины в связи с увеличением числа зубков, входящих в контакт с массивом, математическое ожидание  $m_g$  увеличилось с 10 А до 30 А в течение 6 с, дисперсия увеличилась с 1 А до 4 А, дальше математическое ожидание и дисперсия держались на данных уровнях в течение 4 с, затем уменьшение до значений соответственно 20 А и 2 А. При средних значениях электродвигатель нагружен на 60-65%. При перемещении коронки по забою математическое ожидание в течение первых двух секунд имеет значение порядка 30 А, от 2 с до 6 с – 20 А, а при 7 с – пиковое значение, равное 60 А, с уменьшением до 25 А, превысив номинальное значение на 50%.

Несмотря на пиковые нагрузки, электродвигатель нагружен на 70-75%. В среднем ВМФ-4П недоиспользуется на 30-40%.

Дисперсия переменна, и среднее ее значение – порядка 10 А, что очень велико.

Полученные данные исследования свидетельствуют о необходимости подбора регулятора нагрузки исполнительного органа манипулятора и создании системы авторегулирования для уменьшения дисперсии и увеличения математического ожидания до номинального значения, что дает возможность использования микропроцессоров и мини-ЭВМ при разработке роботизированного комплекса с автоматическими манипуляторами и робототехническими системами.

### **6.11 Исследование и создание системы стабилизации и нагрузки автоматического выемочного манипулятора**

Опыт работы выемочных машин флангово-фронтально-избирательного действия ВМФ [18, 19] показывает, что дальнейшее совершенствование конструкции машин ВМФ-4П с автоматическим управлением позволяет создать роботизированный комплекс для селективной выемки угольных пластов [52, 58, 60].

Примером стандартного шахтного оборудования, перестроенного для использования как робота, является выемочный манипулятор флангово-фронтально-избирательного действия типа ВМФ [6, 9, 17, 20, 34]. Речь идет о работе в варианте «механизированное плечо, стрела с резцовой коронкой», который собирается из элементов самой ВМФ-4П и как бы сливается с ней. Манипулятор, один конец которого закреплен на подвижной части с механизмом бесцепной подачи, должен обладать способностью поворачиваться как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, выполнять комбинации движения в поисках нужных точек обработки на поверхности лавы (забоя). Каретка (опорно-поворотное устройство) совершает движения относительно манипулятора, благодаря чему выдерживается точное направление монотонных процессов (операции) селективной выемки угольных пластов по оси конвейера. Выемочный манипулятор в автоматическом режиме должен перемещаться в горизонтальной плоскости вдоль направляющей конвейера в заданном направлении, создавая монотонную раздельную выемку угля и породы согласно программе управления.

Таким образом, в этой системе имеется плечо (манипулятор – телескопическая стрела), кисть (комплекс «каретка – опорно-поворотное устройство»), пальцы (резцовая коронка и плечо-трехзвенник). «Сухожилиями и мускулами» служат гидродомкраты, поворотные исполнительные механизмы и управляемые гидравлические клапаны с обратной связью.

В случае применения нескольких выемочных автоматических манипуляторов ВМФ необходимо использование микро-ЭВМ и микропроцессоров для анализа данных автоматического управления.

Основными задачами стабилизации нагрузки очистных машин являются: повышение их производительности за счет более полного использования мощностей электродвигателей механизма подачи и исполнительного органа, уменьшение удельной энергоемкости, улучшение сортности угля и программирования регулирования работы ВМФ-4П.

**Результаты натурных исследований режимных характеристик выемочного манипулятора ВМФ-4П.** Метод экспериментального исследования процесса разрушения угля заключается в исследовании режимов работы выемочной машины и установлении закономерностей их поддержания, как правило, проводится в шахтных условиях и предполагают совместное определение показателей сопротивляемости резанию, потребляемой мощности и скорости подачи с целью построения паспортов режима работы выемочного манипулятора ВМФ-4П.

При работе выемочного манипулятора в конкретных условиях сопротивляемость резанию является существенно варьируемой величиной, что обуславливает соответствующее изменение режимных параметров. Оценивая влияние сопротивляемости резанию, рассмотрим работу в режиме, когда резание осуществляется с переменной средней толщины стружки, в частности, наиболее распространенный случай  $v_p = const$  и  $v_n = var$ . При этом режиме плотность распределения удельных энергозатрат определяется формулой:

$$\varphi''(H_{wz}) = \frac{1}{G_{AB \text{ u.o.}} \sqrt{2\pi}} \left[ \frac{1}{CA} \sqrt{\frac{H_{wi} - \alpha'}{C^1}} \right] \exp \left[ \frac{\left( \sqrt{\frac{H_{wi} - \alpha'}{C}} - \bar{A}_b \right)^2}{2G_{AB \text{ u.o.}}^2} \right], \quad (6.45)$$

где  $G_{AB \text{ u.o.}}$  – среднее квадратическое отклонение сопротивляемости резанию;

$a, c$  – постоянные коэффициенты.

Плотность распределения скорости подачи (производительности) определяется формулой:

$$\varphi''(v_{ni}) = \frac{1}{G_{AB \text{ u.o.}} \sqrt{2\pi}} \left[ \frac{P}{Cdnv_{ni}^2} \sqrt{\frac{P}{d v_{ni}} - d'} \right] \exp \left[ \frac{\left[ \frac{1}{C'} \left( \frac{P}{d v_{ni}} - \alpha' \right) - A_B \right]^2}{2G_{AB \text{ u.o.}}^2} \right]. \quad (6.46)$$

Сопротивляемость угля резанию колеблется в соответствии с нормальным Гауссовским законом распределения.

По распределению плотность энергоемкости разрушения, скорости подачи машины, скорости перемещения исполнительного органа определяется в зависимости:

$$H_w = f(\bar{A}_B), \quad v_{nM} = f(\bar{A}_B), \quad v_{nk} = f(A_B), \quad Q_T = f(AB). \quad (6.47)$$

Потребляемая мощность, удельные энергозатраты, скорость подачи машины и скорость качания исполнительного органа наиболее часто применяемые характеристики для практической оценки режимов работы ВМФ-4П.

Технические свойства выемочного манипулятора ВМФ-4П определяем графоаналитическим анализом результатов электрических измерений, названным методикой построения паспортов режимов работы.

В координатах  $P-v_{nm}$  и  $p-v_{nk}$  наносим экспериментальное поле точек, полученных при электрических измерениях. Экспериментальное поле ограничивается линиями при минимальном и максимальном значениях сопротивляемости резанию. Эти линии проводятся из одной точки полосы П с использованием данных о потребляемой мощности при  $v=0$ . На продолжении этих линий строим по экспериментальным данным распределение сопротивляемости резанию. Внутри экспериментального поля находится средняя точка  $P_{cp}, v_{cp}$ . Проводя из точки  $v_{cp}$  прямую, параллельную оси координат, определяем граничные значения потребляемой мощности  $P_{min}$  и  $P_{max}$ . Определив по опытным данным среднее квадратическое отклонение мощности, в левом верхнем квадранте строим распределение мощности, которое обычно является нормальным.

Наибольшая скорость подачи или скорость качания исполнительного органа может быть - при  $\bar{A}_{min}$  и  $P_{max}$ , а наименьшая при  $\bar{A}_{max}$  и  $P_{min}$ . Проведя из этих точек линии, параллельные оси координат, определяем значения  $v_{nm\ max}, v_{nk\ max}$  и  $v_{nm\ min}, v_{nk\ min}$ .

Из приведенной схемы видно, что распределение скорости подачи ВМФ-4П  $v_{nm}$  и скоростей качания исполнительного органа  $v_{nk}$  в общем случае асимметричное. Если работа с большими скоростями зоны *caf* ограничена максимальным расходом регулируемого насоса НП-120, распределение скоростей  $v_{nm}$  и  $v_{nk}$  можно принять нормальным, гауссовским.

Из схем паспортов видно, что большой диапазон изменяется мощности при обеих схемах разрушения. Мощность изменяется от  $P_{min} = 15$  кВт до  $P_{max} = 30$  кВт.

Поэтому, учитывая, что выемочный манипулятор ВМФ-4П имеет малую энерговооруженность – 52 кВт, отсутствует регулируемый привод скорости резания – электродвигатель асинхронный, короткозамкнутый, есть возможность приближения к максимальному варианту с установлением рационального соотношения скорости подачи и скорости резания за счет сменных шестерен редуктора. Мы избрали минимальный вариант регулирования скорости подачи манипулятора и качания исполнительного органа [34, 56].

На основании расчетных параметров на экспериментальной кривой разгона манипулятора ВМФ по диаграмме А.Я. Лернера выбрали регулятор с ПИ-законом регулирования и импульсным родом действия. Наиболее целесообразным из всех серийно изготавливаемых регуляторов оказался регулятор ИПИР-3м.

Разработана структурная схема системы стабилизации нагрузки выемочного манипулятора ВМФ-4П. При технологических перегрузках электродвигателя исполнительного органа и маслостанции с помощью трансформаторов тока сигнал подается в регулятор РН. Переработанный сигнал подается на распределитель, который включается в правое положение, следовательно, от насоса жидкость через распределитель откроет гидрозамок, что вызовет слив жидкости из-под цапфы. Благодаря давлению жидкости от насоса управления, через цапфу происходит перемещение статора насоса, что вызовет уменьшение ее производительности, т.е. уменьшение скорости подачи манипулятора и вертикального, и горизонтального качания исполнительного органа соответственно току нагрузки электродвигателя исполнительного органа и маслостанции.

Стендовые испытания выемочного манипулятора регулятором нагрузки ИПИР-3м велись на углестойком блоке с сопротивляемостью резанию, равной 120-150 кН/м, и угле наклона перемещения машины 35°.

Случайный характер изменения режимных параметров манипулятора предопределил необходимость применения вероятностного метода для исследования и анализа работы системы стабилизации нагрузки. При исследовании режимных параметров основное внимание было уделено спектрально-корреляционному анализу.

Обработав осциллограммы тока электродвигателя исполнительного органа с учетом скорости подачи манипулятора и качания на ЭВМ по типовой программе, получили корреляционные функции и спектральные плотности при двух схемах разрушения [14, 26, 60].

Из сравнительного анализа корреляционных функций тока при ручном регулировании и в режиме стабилизации при подаче манипулятора видно, что синусоидальная кривая при ручном регулировании превратилась в прямую при стабилизации нагрузки с затуханием, с положительной корреляцией, без смены знака. Это значит, что ток электродвигателя при подаче манипулятора изменялся плавно с малыми колебаниями от номинального значения. Спектральная плотность, рассеянная по частотам при ручном регулировании, в режиме стабилизации сосредоточена на низких частотах, что говорит об отсутствии высокочастотных составляющих изменения тока при стабилизации нагрузки [58, 60].

При перемещении исполнительного органа корреляционная функция тока, синусоидальная при ручном регулировании, превратилась в прямолинейную в режиме стабилизации с затуханием, с отрицательной корреляцией, без смены знака, что также говорит о том, что ток изменялся плавно, с малыми амплитудами колебаний от номинального значения. Спектральная плотность также сосредоточена на низких частотах.

Корреляционные функции скорости подачи манипулятора и перемещения исполнительного органа при стабилизации приняли форму синусоидальных кривых с периодом 8-9 с, что соответствует одному циклу взаимодействия исполнительного органа с разрушаемым массивом.

На основании спектрально-корреляционного анализа режимных параметров манипулятора ВМФ можно сделать вывод о том, что ток электродвигателя исполнительного органа поддерживается на номинальном уровне с помощью регулятора нагрузки ИПИР-3м за счет изменения скорости подачи и качания исполнительного органа по мощности пласта.

Согласно программе и методике, были проведены промышленные испытания выемочного манипулятора ВМФ-П с системой стабилизации нагрузки. Испытания проводились на шахте «Гопарская» ПО «Карагандауголь», по пласту К-2-12 «Джартасский», сложенный 3-4-угольными пачками крепостью 120-150 кН/м, разделенными прослоями серого аргиллита мощностью 0,02-0,05 м. Рабочая мощность пласта – 2,1 м, система разработки – длинные столбы по простиранию, угол падения на выемочном участке – 35-45°, длина лавы – 110 м.

При промышленных испытаниях проводились хронометражные наблюдения и замеры производительности тока электродвигателя исполнительного органа и маслостанции, скорости подачи манипулятора и перемещения исполнительного органа, удельной энергоемкости, сортности угля.

Промышленные испытания подтвердили устойчивость работы системы стабилизации нагрузки за счет увеличения скорости подачи манипулятора и перемещения исполнительного органа, увеличилась производительность манипулятора на 30% и уменьшился выход угля класса 0-6 мм на 25%.

Система стабилизации обеспечила наиболее полное использование мощности электродвигателей, что уменьшило удельную энергоемкость на 25%. Машинист при работе манипулятора в режиме стабилизации был освобожден от функции регулирования нагрузки электродвигателей исполнительного органа и механизма подачи.

Решением межведомственной комиссии приемочных испытаний выемочного манипулятора ВМФ-4П в условиях шахты «Гопарская», при отработке крутонаклонных платов К-2-12 «Джартасский» на базе механизированных крепей 20КП-70 рекомендовано создание и освоение производства роботизированного комплекса для селективной выемки угольных пластов без постоянного присутствия людей в очистном забое.

Предложена система электрогидравлического (профилирующего) программного управления автоматического ВМФ-4П, которое обеспечивает заданное программой движение с помощью программонаборщиков, имеющих запоминающие устройства на ограниченное число команд.

Получена данная передаточной функции для двухкаскадного звена, входным параметром является напряжение питания катушки СП, а выходным параметром является расход жидкости согласно [18], обеспечивается точность воспроизведения с учетом величины ошибок (49-52).

Доказано, что влияние различных типов корректирующих звеньев на качество системы программного управления наиболее полно удовлетворяет комбинированную коррекцию, представляющую собой последовательно соединенное интегрирующее звено согласно формулам [58-61].

Получены логарифмические амплитудные характеристики (ЛАХ) для определения координаты контрольной точки с целью построения запретной зоны

при работе корректирующего звена, который обеспечивает точность движения исполнительных механизмов при отработке забоя ВМФ [18, 19, 20].

Динамические свойства исполнительного органа выемочной машины ВМФ таковы, что имеется возможность использовать в качестве подсистем регулирования аппаратуру, разработанную Карагандинским институтом «Гипроуглегормаш» с использованием СП и двухкаскадного усилителя.

В случае применения телескопического исполнительного органа необходимо разработать датчик величины вылета стрелы исполнительного органа, а к аппаратуре «Гипроуглегормаш» добавить соответствующую следящую подсистему с интегрирующими звеньями. Для удобства перенастройки машины ВМФ при селективной выемке угольных пластов необходимо использовать СП подсистемы качания вертикальной плоскости, введя в канал системы звено с легкоизменяемым коэффициентом передачи датчика или задатчика.

Предусмотреть взаимную блокировку распорных средств ВМФ-4П и СП, исключающую возможность функционирования подсистем при незакрепленной части очистного забоя с учетом обработки его в программном режиме роботизированного комплекса.

Экспериментальными исследованиями получены графики изменения корреляционных функций и спектральной плотности скорости и тока при перемещении коронки под нагрузкой по массиву подачи ВМФ-4П при ручном, автоматическом и программном управлениях, с определением передаточных функций с целью выбора параметров регулятора нагрузки электродвигателя исполнительного органа ВМФ-4П.

В результате исследования устойчивости работы системы регулирования и управления ВМФ-4П, как главного функционального элемента роботизированного комплекса КРСБЭ, были получены следующие выводы:

– среднее значение математического ожидания тока исполнительного органа при подаче имеет величину 10 А-30А в течение 6 с, а дисперсия 1 А-4 А – в течение 4 с, затем уменьшение соответственно до 20 А, при средних значениях электродвигатель нагружен на 60-65%;

– при перемещении коронки по забою с непрерывными способами обработки математическое ожидание тока в течение первых двух секунд имеет значение порядка 30 А, от 2 с до 6 с – 20 А, а при 7 с – пиковое значение, равное 60 А, с уменьшением до 25 А, превысив номинальное значение на 50%, несмотря на штыковые нагрузки, электродвигатель нагружен на 70-75%;

– выбран регулятор нагрузки ВМФ-4П и системы авторегулирования для уменьшения дисперсии и увеличения математического ожидания до номинального значения, что дает возможность использования микропроцессорной техники и микро-ЭВМ при разработке роботизированного комплекса.

Экспериментальными исследованиями установлены параметры конструктивно-технических схем управления автоматического выемочного манипулятора с программным управлением ВМФ-4П с методами построения паспортных режимов работы. Получены следующие результаты:

– распределение скорости подачи ВМФ-4П и скорости качания исполнительного органа в общем случае асимметричное, а также распределение скоростей подачи и качания можно описать нормальным гауссовским законом;

– корреляционные функции скорости подачи и качания (перемещения) исполнительного органа при стабилизации приняли форму синусоидальных кривых с периодом 8-9 с, что соответствует одному циклу взаимодействия исполнительного органа с разрушаемым массивом.

Шахтные испытания системы стабилизации нагрузки ВМФ-4П доказали устойчивость работы за счет увеличения скорости подачи и качания, что позволило увеличить производительность ВМФ-4П на 30% и уменьшить выход угля класса 0-6 мм на 25%, а также уменьшить удельную энергоемкость на 25% за счет полного использования мощности электродвигателей.

## ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ

### Вопрос № 1

Какие физико-механические свойства (1.15) разрушаемого массива используются при расчете усилий перекачивания  $Z$  и внедрения  $Y$ ?

- 1) сопротивляемость резанию  $A_p$
- 2) контактная прочность  $P_K$
- 3) абразивность  $a$
- 4) физико-механические контакты  $C, C_1, C_2$
- 5) крепость  $X$
- 6) глубина резания  $H$

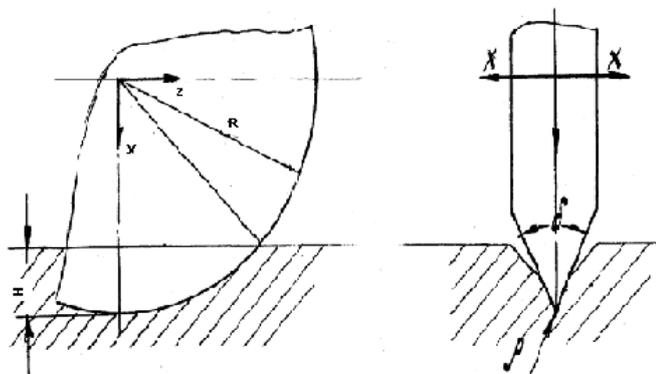


Рисунок 1 – Схема усилий, формирующихся на дисковой шарошке

### Вопрос № 2

Физико-механические свойства горных пород, исследуемых (рис. 1.1) методом отрыва, достаточно полно характеризуются тремя константами:

Какие из параметров, обозначенных на диаграмме, используются при расчете констант  $C, C_1, C_2$  по экспериментальным данным?

- 1)  $h_{bn}, D_o \max, d_n$
- 2)  $h_{kp}, D_o \max, d_n$
- 3)  $H_{kp}, D_o \max, d_n$
- 4)  $H_{kp}, h_{kp}, d_n$
- 5)  $H_{kp}, h_{bn}, H$
- 6)  $H_{bn}, h_{op}, d_n$

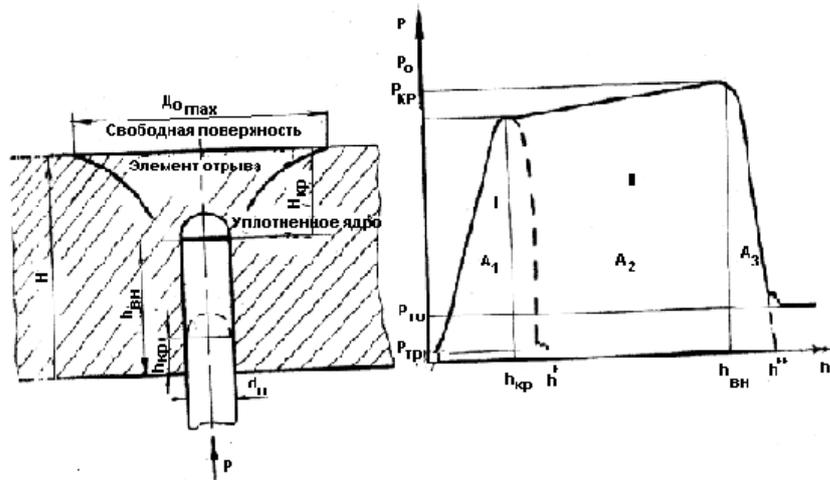


Рисунок 2 – Исследование физико-механических свойств горных пород методом отрыва: а – схема внедрения пуансона; б – диаграмма зависимости усилия внедрения  $P$  от глубины внедрения пуансона  $h$

### Вопрос № 3

Одним из условий эффективности буровой коронки является обеспечение ее погрузки разрушенной массы. На схеме (рис. 3) показаны максимальные значения параметров  $a$  и  $B$ , обуславливающие выполнение этого требования. Каковы должны быть ограничения оставшихся двух:  $d$  – толщина лопасти коронки;  $l$  – удаление оси коронки от забойного конвейера?

- 1)  $d = 0,08 \cdot D_K$ ;  $l \in (0,7 \text{ } \ddot{ } \text{ } 0,8) \cdot D_K$
- 2)  $d = 0,5 \cdot D_K$ ;  $l \in (0,7 \text{ } \ddot{ } \text{ } 0,8) \cdot D_K$
- 3)  $d = 0,08 \cdot D_K$ ;  $l \in 0,5 \cdot D_K$
- 4)  $d = 0,2 \cdot D_K$ ;  $l \in (0,5 \text{ } \ddot{ } \text{ } 0,6) \cdot D_K$
- 5)  $d = 0,25 \cdot D_K$ ;  $l \in (0,7 \text{ } \ddot{ } \text{ } 0,8) \cdot D_K$
- 6)  $d = 0,3 \cdot D_K$ ;  $l = D_K$

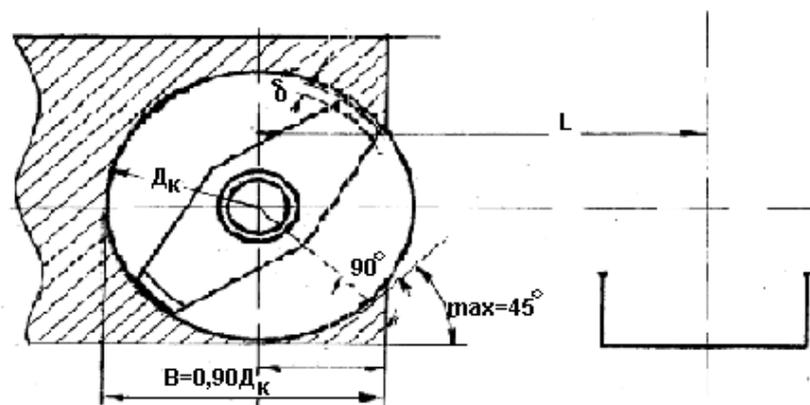


Рисунок 3 – Схема к определению рациональных параметров по фактору эффективной погрузки буровой коронкой

#### Вопрос № 4

Выберите правильное условие обеспечения (рис. 4) беспрепятственной погрузки угля: площадь поперечного сечения погрузочного окна должна быть:

- 1)  $h_o l_o \geq \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot k_3$
- 2)  $h_o l_o \leq \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot k_3$
- 3)  $h_o l_o \geq \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot 0,5$
- 4)  $h_o l_o \leq \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot 1,2$
- 5)  $h_o l_o = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot k_3$

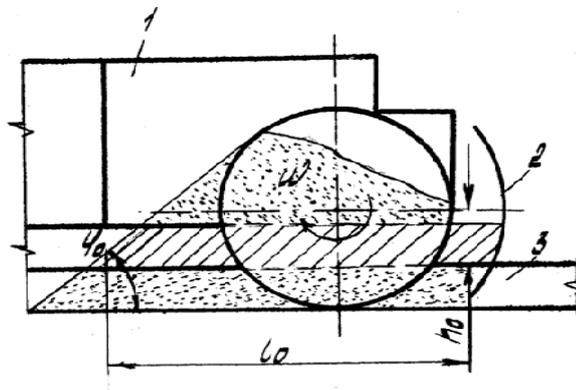


Рисунок 4 – Схема к определению размеров погрузочного окна между конвейерным ставом и корпусом комбайна:

1 – корпус комбайна; 2 – подпорный щиток; 3 – став конвейера

#### Вопрос № 5

Какая (рис.5) из предложенных формул приемлема при расчете суммарного усилия резания?

- 1)  $\vec{Z}_i + \vec{y}_i$
- 2)  $\vec{Z}_i + \vec{P}_i$
- 3)  $\vec{Z}_i + F \cdot \vec{y}_i$
- 4)  $\vec{Z}_i + \vec{P}_{iB} + \vec{P}_{iF}$
- 5)  $+ \vec{P}_{iB} + \vec{P}_{iF} + J_i \vec{Y}_i$

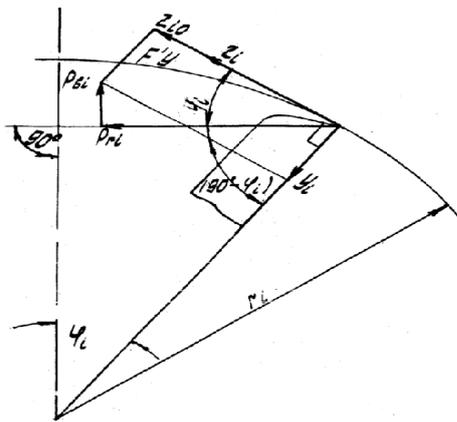


Рисунок 5 – Схема формирования усилий на резце коронки

### Вопрос № 6

Определить по схеме (рис. 6) формулу расчета текущего значения глубины резания  $h_k$ .

- 1)  $h_k = R - \sqrt{R^2 - h_{\max}^2 \cdot \sin^2 f_K}$
- 2)  $h_k = h_{\max} \cdot \cos \varphi_K$
- 3)  $h_k = h_{\max} \cdot \cos \varphi_K + \sqrt{R^2 - h_{\max}^2 \cdot \sin^2 f_K}$
- 4)  $h_k = h_{\max} \cdot \sin \varphi_K + \sqrt{R^2 - h_{\max}^2 \cdot \cos^2 f_K}$
- 5)  $h_k = h_{\max} \cdot \sin \varphi_K + \left( R - \sqrt{R^2 - h_{\max}^2 \cdot \sin^2 f_K} \right)$
- 6)  $h_k = h_{\max} \cdot \sin \varphi_K + \left( R - \sqrt{h_{\max}^2 \cdot \sin^2 f_K} \right)$

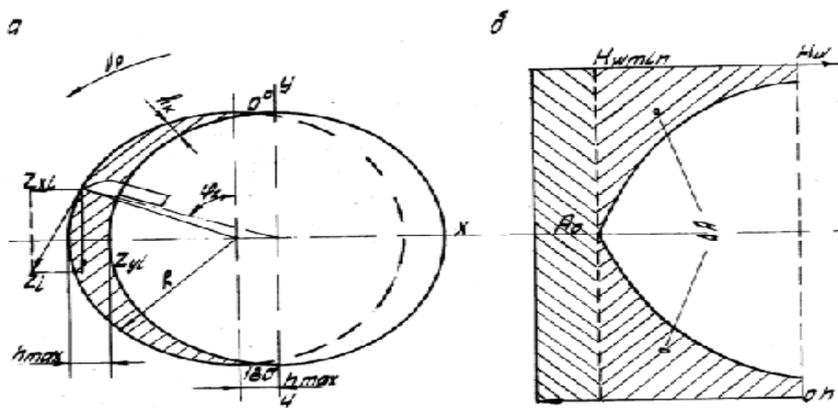


Рисунок 6 – Резание резцом шнека (барабана):  
 а – формирование стружки и усилий; б – изменение удельной энергоемкости за период изменения от 0 до 180°

### Вопрос № 7

На диаграмме изменения (рис. 7) усилий резания по длине реза определить точку прекращения развития уплотненного ядра:

- 1) В

- 2) A<sup>1</sup>
- 3) B<sup>1</sup>
- 4) A<sup>11</sup>
- 5) B<sup>11</sup>
- 6) A<sup>111</sup>

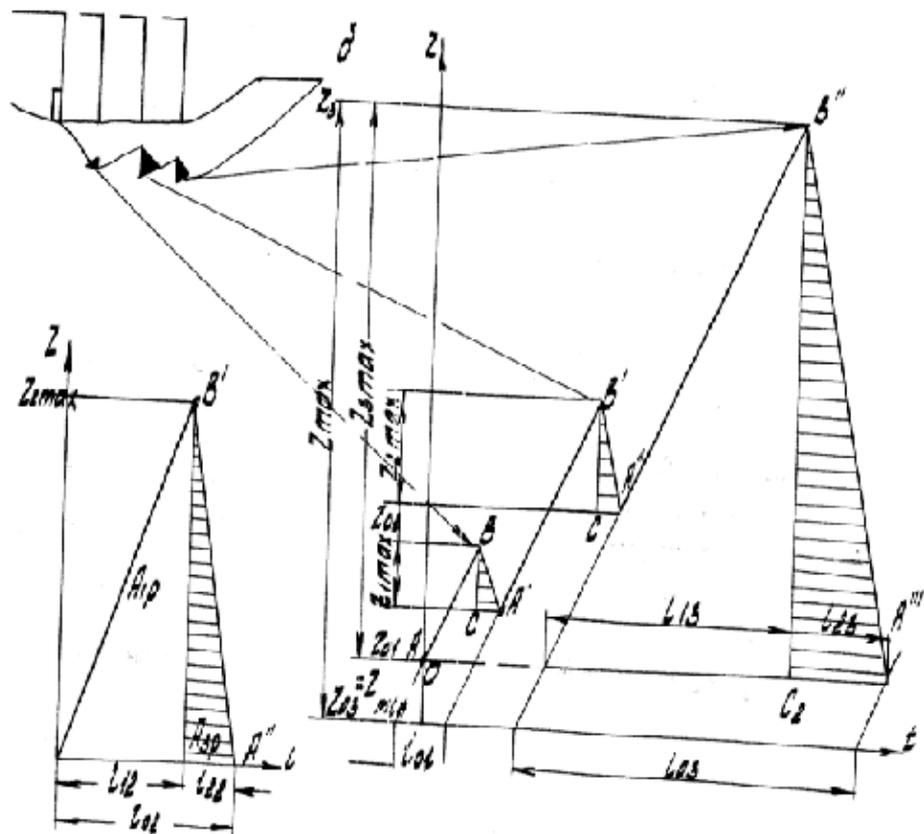


Рисунок 7 – Диаграмма изменения усилий резания

### Вопрос № 8

Как известно из условия статической устойчивости комбайна, момент сил сопротивления  $M_p$  должен быть равен моменту сил восстанавливающих (рис.8). По какой формуле он рассчитывается?

- 1)  $\frac{D_p}{4} \cdot (2P_d + F_{GK})$
- 2)  $\frac{D_p}{4} \cdot (2F_Q + F_{GK})$
- 3)  $\frac{D_p}{4} \cdot (2P_d + M_{GK})$
- 4)  $\frac{D_p}{2} \cdot (2F_d + G_{GK})$

- 5)  $\frac{D_P}{2} \cdot (2F_{GK} + M_{GK})$   
 6)  $D \cdot (2F_{GK} + P_Q)$   
 б)  $h_o l_o = \pi(D^2 - d^2) \cdot k_3$

где  $D$  – диаметр шнека по резцам;  $d$  – диаметр втулки;  $k_3$  – коэффициент заполнения шнека.

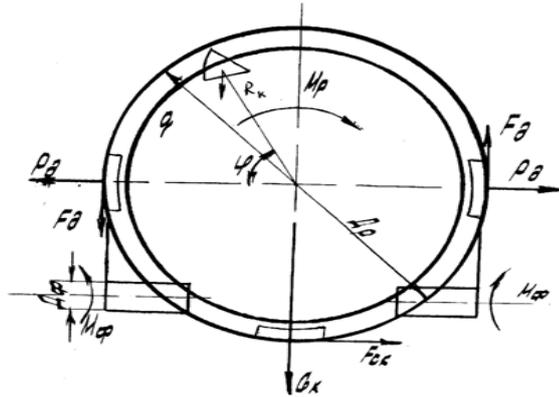


Рисунок 8 – Расчетная схема поперечной устойчивости от разворота вокруг продольной оси комбайнов с роторным исполнительным органом

### Вопрос № 9

Какова структурная формула (рис.9) комбайна 2к52М?

- 1) 1)  $P + H \leftarrow \pi \rightarrow \Pi$   
 2) 2)  $P \leftarrow \pi \rightarrow \Pi$   
 3) 3)  $H - \pi \cdot \Pi$   
 4) 4)  $P \cdot H \leftarrow \pi \rightarrow \Pi$   
 5) 5)  $P \leftarrow \pi \rightarrow \Pi + H$   
 6) 6)  $P - H - \Pi \rightarrow \pi$



### Вопрос № 11

Какие из представленных характеристик (рис. 1. 1) соответствуют кратковременному режиму работ электродвигателя?

- 1) а, г
- 2) б, в
- 3) в, б
- 4) в, г
- 5) б, г

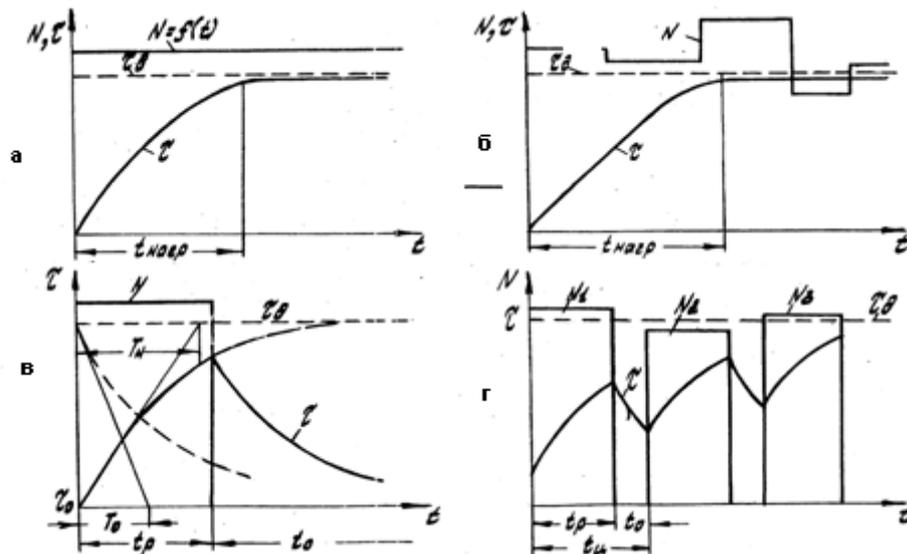


Рисунок 11 – Характеристики режимов работы электродвигателей

### Вопрос № 12

Какая из перечисленных функций местной автоматической системы управления (рис.12) несвойственна централизованной системе управления?

- 1) оператор управляет передвижением крепи в аварийных ситуациях
- 2) перемещаясь, комбайн посылает сигналы в логическую систему крепи
- 3) информация о работе конвейера поступает на пульт оператора
- 4) системой управления охвачены все секции крепи управления
- 5) управление работой комбайна и конвейера осуществляется через диспетчера
- 6) логическая система секции крепи

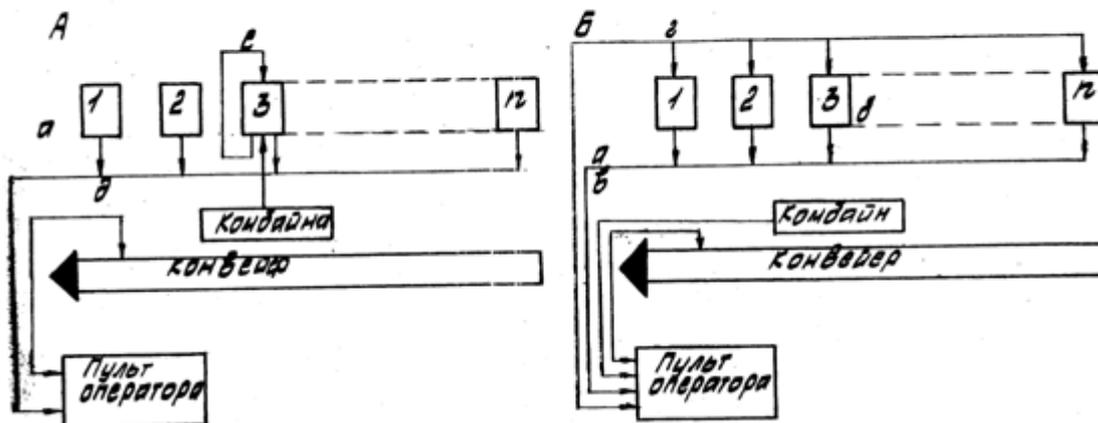


Рисунок 12 – Система управления комбайновым комплексом:

*А – местная автоматическая; Б – централизованная:*

*1, 2, 3... n – секции крепи; а – информация о работе секции крепи; б – информация о положении комбайна относительно секции крепи; в – информация о положении комбайна в забое; г – подача импульсов для управления крепью; д – сигнализация, блокировка и управление конвейером; е – логическая система секций крепи*

### Вопрос № 13

Какие из перечисленных операций не требует механических средств (рис. 13) при работе на наклонных и крутых пластах по простиранию?

- 1) отделение угля от массива
- 2) погрузка и транспортировка угля
- 3) поддержание призабойного пространства
- 4) управление кровлей
- 5) зачистка почвы
- 6) гравитационный спуск

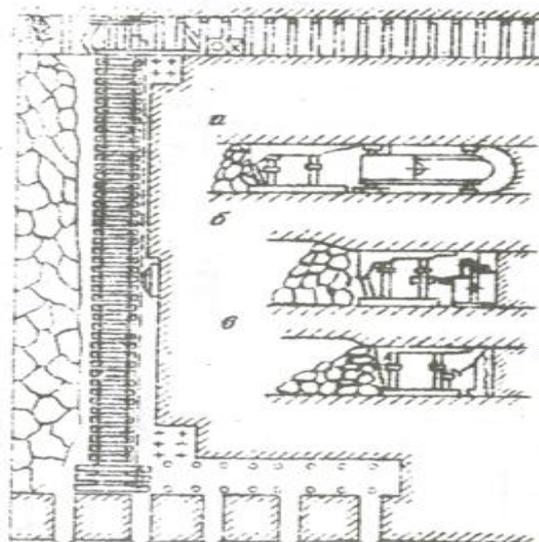


Рисунок 13 – Схемы компоновки оборудования комплексов для разработки наклонных и крутых пластов по простиранию: а – широкозахватного; б – узкозахватного; в – стругового

#### Вопрос № 14

Как видно из графика (рис. 14), уменьшение коэффициента  $C$  увеличивает интенсивность зависимости  $q_{ш}$  ( $q_B$ ). Какие факторы способствуют этому?

- 1) повышение производительности добычных комбайнов
- 2) внедрение комплексной механизации
- 3) уменьшение удельного числа рабочих очистного забоя
- 4) уменьшение удельного числа не занятых на выемке угля рабочих шахты
- 5) автоматизация производственных процессов
- 6) интенсификация процессов

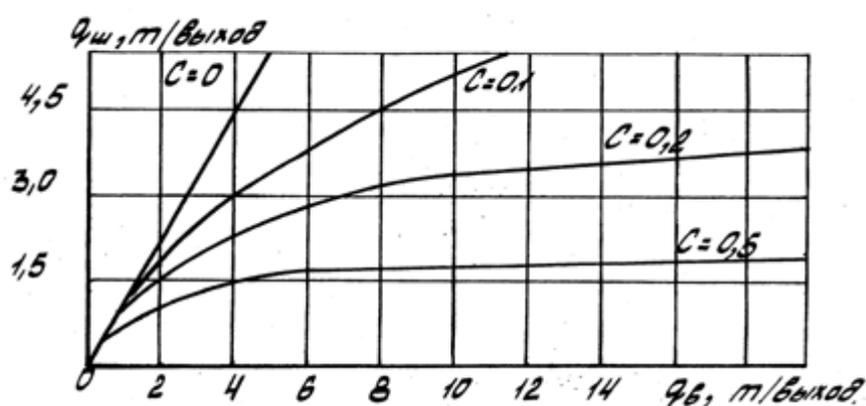


Рисунок 14 – Зависимость производительности труда рабочих по шахте от производительности труда рабочих очистного забоя

#### Вопрос № 15

Какой блок (рис. 15) выполняет следующую функцию: выдает подвигающие импульсы в тактовые шины трехтактового реверсивного распределителя по командам программного блока?

- 1) счетчик цифровой индикации
- 2) панель управления и индикации
- 3) счетчик передвинутых секций
- 4) блок приема информации
- 5) генератор кода

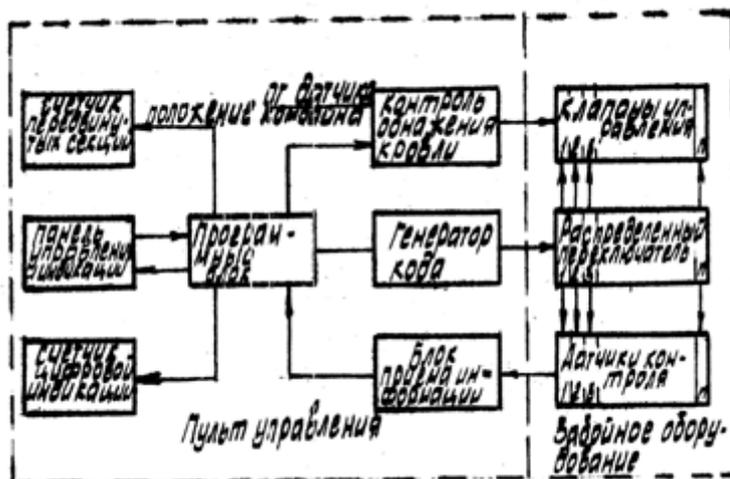


Рисунок 15 – Структурная схема системы автоматического управления крелью комплекса KM81A

### Вопрос № 16

Как изменяется напряжение сети (рис. 16), если механическая характеристика электродвигателя изменяется от кривой 1 к кривой 3?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) остается постоянной
- 4) изменяется случайным образом
- 5) изменяется не более чем на 5%
- 6) изменяется менее чем на 5%

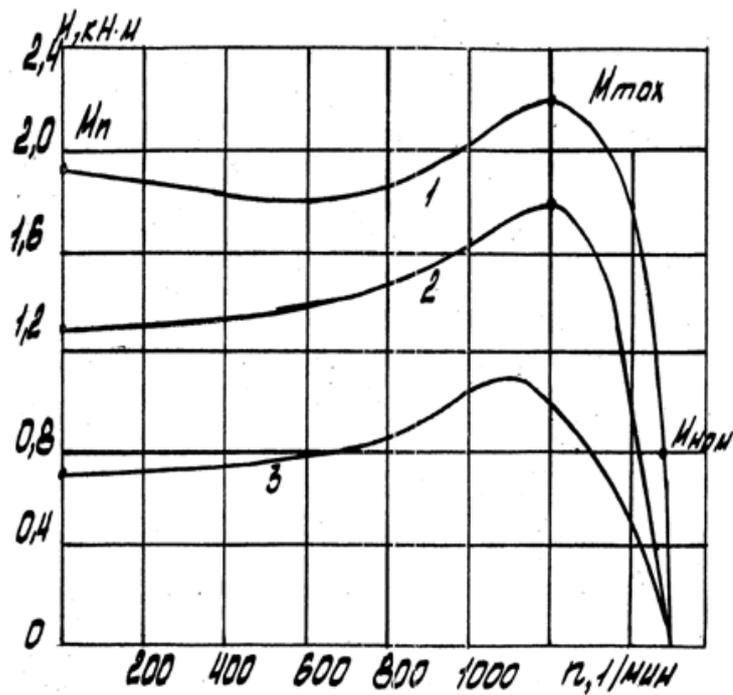


Рисунок 16 – Изменение механической характеристики электродвигателя ЭКВ-400Л-2 в зависимости от напряжения сети

### Вопрос № 17

Какой из перечисленных параметров не представлен на рисунке 17 и не является характеристикой дисковой шарошки?

- 1) диаметр режущего лезвия
- 2) угол заострения лезвия
- 3) радиус закругления лезвия
- 4) угол конусности шарошки
- 5) толщина диска
- 6) угол атаки лезвия

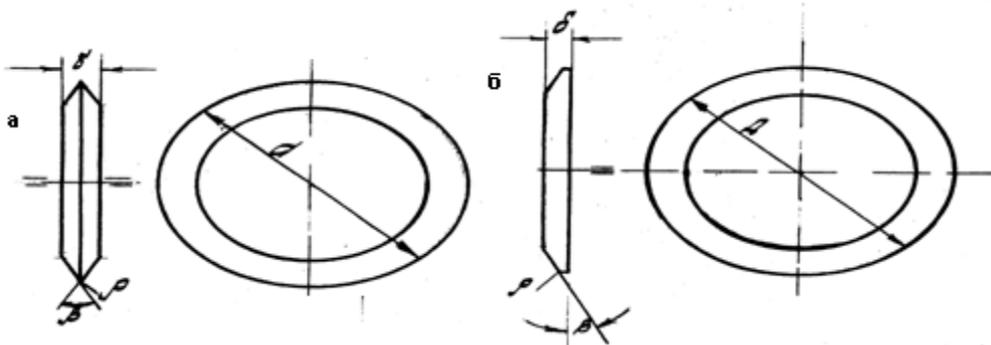


Рисунок 17 – Основные параметры дисковых шарошек

### Вопрос № 18

Какой способ обработки забоя представлен на рисунке 18?

- 1) фронтальный
- 2) избирательный
- 3) фланговый
- 4) флангово-избирательный
- 5) фронтально-избирательный
- 6) флангово-фронтальный

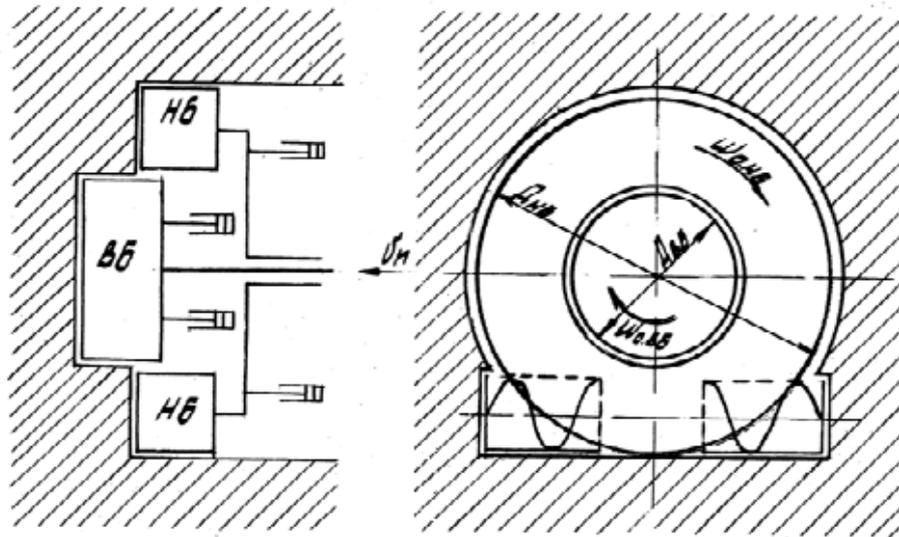


Рисунок 18 – Схема обработки комбайном «Ясиноватец»

### Вопрос № 19

Как видно из графика (рис.19), оптимальное значение приращения углового шага для комбайна ПКЗМ равно 40. Чему равны соответствующие коэффициенты вариации нагрузки и скорость подачи?

- 1) 0,3 2 м/мин
- 2) 0,18 2 м/мин
- 3) 0,18 5 м/мин
- 4) 0,3 5 м/мин
- 5) 0,10 1 м/мин
- 6) 0,2 3 м/мин

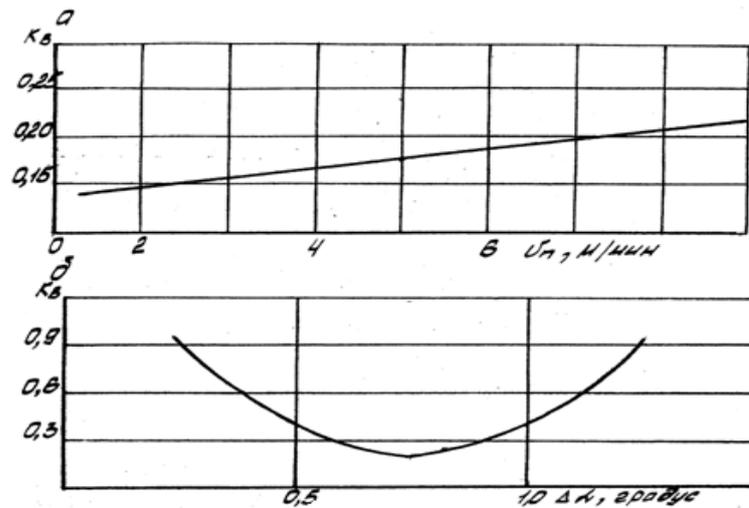


Рисунок 19 – Зависимость коэффициента вариации нагрузки коронки по моменту: а – от скорости перемещения коронки  $v_n$ ; б – от приращения углового шага  $\Delta\alpha$

### Вопрос № 20

Какой структурной формулой описывается механизированная лавная крепь агрегата СА (одностоечная с жесткими оградительными элементами (рис.20) и двумя гидродомкратами для передвижки конвейера и секций крепи, причем оградительные и удерживающие элементы совмещены):

- 1)  $\pi \rightarrow ОП + y \leftarrow \pi$
- 2)  $\pi \rightarrow O + ny \leftarrow \pi$
- 3)  $\pi \rightarrow oy + n \leftarrow \pi$
- 4)  $\pi \rightarrow (O + П) + Y \rightarrow \pi$
- 5)  $\pi \rightarrow (O + П) + П \leftarrow \pi$
- 6)  $\pi \rightarrow (ОП + П) + Y \rightarrow \pi$

**Общие структурные формулы механизированных крепей с  
присоединенным приводом**

Основные структурные формулы	$K$	$U$	$O$	$K+U$	$K+O$	$U+O$	$O+U+K$	$K+U+O$	$U+K+O$	$O+U+K$	$K+U+O$	$U+K+O$	$K+U+O$
	$K \rightarrow U$	$U \rightarrow K$	$O \rightarrow K$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow O \rightarrow U$ $(K+O) \rightarrow U$	$U \rightarrow O \rightarrow K$ $(U+O) \rightarrow K$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$
С одним присоединенным приводом	$K \rightarrow U$	$U \rightarrow K$	$O \rightarrow K$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow O \rightarrow U$ $(K+O) \rightarrow U$	$U \rightarrow O \rightarrow K$ $(U+O) \rightarrow K$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$
С двумя присоединенными приводами				$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow O \rightarrow U$ $(K+O) \rightarrow U$	$U \rightarrow O \rightarrow K$ $(U+O) \rightarrow K$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$O \rightarrow K \rightarrow U$ $(O+K) \rightarrow U$ $(K+U) \rightarrow O$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$	$U \rightarrow K \rightarrow O$ $(U+K) \rightarrow O$ $(K+O) \rightarrow U$	$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$
С тремя приводами							$K \rightarrow U \rightarrow O$ $(K+U) \rightarrow O$ $(U+O) \rightarrow K$						

Рисунок 20 – Общие структурные формулы механизированных крепей с  
присоединенным приводом

**Вопрос № 21**

Для фронтального способа ( рис. 21) перемещения крепи и конвейера (7-11) укажите структурную формулу, соответствующую схеме перемещения крепи последовательно тремя группами секций. Как при этом обеспечивается непрерывная работа выемочной машины?

- 1) ПДК1–ПК2–ПЗ
- 2) ПДК1–ПДК2–ПДК3
- 3) ПДК
- 4) ПДК1–ПК2
- 5) ПДК1–ПДК1–ПДК2
- 6) ПК–ПД

Фланговый			Фронтальный							
Фланговый			Фронтальный							
Отдельными секциями			Группами секций							Всеми секциями
$П_д - П_к - П_г$	$П_к - П_д - П_г$	$П_{к1} - П_д - П_{к2}$	$П_к - П_д$	$П_к - П_д - П_г$	$П_к - П_д$	$П_{дк1} - П_{к2} - П_г$	$П_{дк1} - П_{к2}$	$П_{дк1} - П_{дк2} - П_{дк3}$	$П_{дк1} - П_{дк2}$	$П_{дк}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рисунок 21 – Способы перемещения крепи

### Вопрос № 22

Какой из пяти предложенных схем (рис. 22) соответствует выемочная машина с геометрически сложенными функциональными перемещениями?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4
- 5) 5
- 6) 6
- 7) 7

"Точка"		"Линия"				"Плоскость"
$\Pi_{\delta-\beta}-(\gamma+\Pi_{\alpha})$	$\Pi_{\delta}-(\beta+\gamma)+\Pi_{\alpha}$	$\Pi_{\delta\alpha}-\beta\gamma/\Gamma$	$\Pi_{\delta\alpha}-\beta/\Gamma$	$\Pi_{\delta\alpha}+\beta\gamma/\Gamma$	$\Pi_{\delta\alpha}+\beta/\Gamma$	$\Pi_{\delta\alpha}/\beta\gamma$
1	2	3	4	5	6	

Рисунок 22 – Схемы выемочных машин

### Вопрос № 23

Среди формул, описывающих схемы (рис. 23) совместной работы доставочной машины с комбайном (2-6), укажите формулу, соответствующую работе в плоскости пласта конвейера со стругом, работающим без самозарубки.

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4
- 5) 5
- 6) 6

"Точка"	"Линия"						"Плоскость"
$\Pi_B - \Gamma_B - B - \Pi_A$	$\Pi_B + \Gamma_B   B   + \Pi_A$	$\Pi_B - \Gamma_B   B  $	$\Pi_B - \Gamma   B  $	$\Pi_B + \Gamma_B   B  $	$\Pi_B + \Gamma   B  $	$\Pi_B + \Gamma_B  $	
1	2	3	4	5	6	7	

Рисунок 23 – Схемы работы доставочной машины и комбайна

### Вопрос № 24

Какой структурной формулой (рис. 24) можно описать привод, имеющий механизм преобразования движения и скорости одновременно и самостоятельный механизм сцепления?

- 1) D•S+C
- 2) D+S•C
- 3) D•C+S
- 4) D+S+C
- 5) D+C+S
- 6) D–S–C

Принципы построения структурных формул	Вырождение структурных элементов		Совмещение элементов											
			Базовая	частичное	полное	с вырождением								
Структурные формулы	S	C	D	C+S	D+S	D+C	D+S+C	D+S+C	D+SC	DC+S	DSC	D-S	DC	C-S
Группа формул	I		II		III		IV							
Семейства приводов	с одним функциональным элементом		с обособленными функциональными элементами		с частично совмещенными функциональными элементами		со всеми совмещенными функциональными элементами							
Условные обозначения	D – механизм, передающий движение; C – механизм, передающий и преобразующий скорость; S – механизм сцепления; привод с независимым органом; (+) – кинематическая связь; (•) – совмещение функций.													

Рисунок 24 – Структурообразование приводов горных машин

### Вопрос № 25

Какой структурной формулой (рис. 25) описывается самозагружающийся передвижной конвейер?

- 1) Н•Т+П
- 2) Н•П+Т
- 3) Н+Т•П
- 4) Н+Т+П
- 5) Н•Т•П
- 6) Н-Т-Т

Принципы построения структурных формул	Вырождение структурных элементов							Совмещение элементов						
								частичное	полное	с вырождением				
Структурные формулы	П	Т	Н	Т+П	Н+П	Н+Т	Н+Т+П	НТ+П	НП+Т	Н+ТП	НТ.П	НТ	НП	ТП
Группа формул	I			II				III		IV				
Семейства машин	с одним рабочим органом			с обособленными рабочими органами				с частично совмещенными органами		со всеми совмещенными органами				
Условные обозначения	Н - орган набалки угля; Т - орган транспортировки угля; П - орган передвижения машины; + - кинематическая связь; • - совмещение рабочих органов машины.													

Рисунок 25 – Структурообразование доставочных горных машин

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мехатроника: Пер. с япон. / Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х. и др. - М.: Мир, 1988. - 318 с.
2. Накано Э. Введение в робототехнику: Кн. Пер. с японского яз. А.И. Филатова. - М.: Мир, 1988. - 336 с.
3. Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. - М.: Наука, 1978. - 416 с.
4. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. - М.: Наука, 1978. - 400 с.
5. Wenhui Li, Huijon Zou, Zuming Bi An effecient method for identifying freedom types of planar kinematic chains // Shanghai jiaotong daxue xuebao, 1994, - 28, no 4, pp. 115 - 121.
6. Исабек Т.К. Создание технологии отработки локальных участков короткими очистными забоями без проведения нарезных выработок: Дисс. докт. техн. наук: 05.15.02. – Караганда: КарГТУ, 1997. – С. 415.
7. Ермеков Т.Е., Данияров Н.А., Несіпбаев Ж.С. Диагностика технических средств и сложных систем: Учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2004. - 186 с.
8. Ермеков Т.Е. Методические указания к выполнению лабораторно-практических работ по дисциплине ”Горные машины и оборудование”. - Караганда, КарГТУ, 2000. - 85 с.
9. Михайлов Ю.И., Кантович Л.И. Горные машины и комплексы. – М.: Недра, 1989. - 315 с.
10. Солод В.И., Заиков В.И., Перов К.М. Горные машины и автоматизированные комплексы. – М.: Недра, 1981. - 502 с.
11. Байконуров О.А., Филимонов А.Т., Колошин С.Г. Комплексная механизация подземной разработки руд. – М.: Недра, 1981. – 296 с.
12. Оборудование рудничного транспорта. Атлас конструкции. Часть 3. Погрузочные машины. – М.: Недра, 1977. - 178 с.
13. Горные машины и комплексы. Под редакцией А.В. Топчиева. – М.: Недра, 1971. - 280 с.
14. Солод В.И., Гетепанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. – М.: Недра, 1982. - 350 с.
15. Сагинов А.С. Проблемы разработки угольных пластов Карагандинского бассейна. - Алма-Ата: Наука, 1976. - 330 с.
16. Сагинов А.С., Квон С.С., Ермеков Т.Е. Флангово-фронтальная выемка пластовых месторождений. - Алма-Ата: Наука, 1983. - 280 с.
17. Конюх В.Л. Робототехника в горном деле. – Кемерово: Ин-т угля СОАН СССР, 1986. - 68 с.
18. Ермеков Т.Е. Научные основы создания очистных комплексов на базе автоматизированных выемочных манипуляторов для отработки локальных участков и угольных пластов со сложными условиями: Дисс... докт. техн. наук. – Караганда: КарГТУ, 1996. - 580 с.

19. Ермеков Т.Е. Кен жабдықтары және өндіріс роботтары: Оқулық. Қарағанды: КарМТУ, 2001. - 310 б.
20. Ермеков Т.Е., Лагай В.А., Вшивцев О.А. Методические указания к выполнению лабораторных работ по теме: Программно-адаптивное управление механизированных комплексами и агрегатами с использованием микропроцессоров и микро ЭВМ. – Караганда: КарПТИ, 1989. - 25 с.
21. Ермеков Т.Е., Батранов А.В., Зложинская А.В. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине: Горные машины и автоматизированные комплексы. – Караганда: КарГТУ, 2004. - 43 с.
22. Ермеков Т.Е., Альсенов Ж.К., Несипбаев Ж.С. Кен технологиялық машиналары практикумы. – Қарағанды: ҚарМТУ, 2004. - 18 б.
23. Михайлов Ю.И., Кантович Л.И. Горные машины и комплексы. – М.: Недра, 1989. - 315 с.
24. Солод В.И., Заиков В.И., Перов К.М. Горные машины и автоматизированные комплексы. – М.: Недра, 1981. - 502 с.
25. Байконуров О.А., Филимонов А.Т., Колошин С.Г. Комплексная механизация подземной разработки руд. – М.: Недра, 1981. - 296 с.
26. Ермеков Т.Е., Сарсенбаев Т.У., Несипбаев Ж.С. Динамика горных и транспортных машин: Учебное пособие. - Караганда: КарГТУ, 2001. - 138 с.
27. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Горные машины: Учебник. Рекомендовано МОН РК для организаций технического и професоионального образования. – Астана: Изд-во Фолиант, 2009. – 384 с.
28. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Научные основы решения, а также обоснование параметров горных и строительных робототехнологических комплексов: Монография. – Алматы: Изд-во Эверо, 2009. – 272 с.
29. А.С. 817251 СССР. Опорно-поворотное устройство / Ермеков Т.Е. и др.; опубл. 30.03.81., Бюл. № . – 4 с: ил.
30. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Технологические схемы роботизированного комплекса для безотходной экологически чистой селективной выемки // Научно-технический и производственный Горный журнал Казахстана. – Алматы: 2010. - №2. – С. 30-33.
31. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Тазабеков И.И., Арпабеков М.И. Методика расчета определения эксплуатационных параметров транспортирующего става в составе роботизированного комплекса КРС // Вестник Кыргызского аграрного университета. – Бишкек: 2009. - №1(12). – С. 98 - 103.
32. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Определение прогиба щита загрузочного устройства ленточного конвейера // Материалы международной научной практической конференции «Естественно-гуманитарных науки и их роль в подготовки инженерных кадров». - Алматы: КазНТУ, 2002. – С. 159 - 161.
33. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Исследование ударных явлений загрузочном устройстве методом осреднения // Материалы международной научной практической конференции «Естественно-гуманитарных науки и их роль в подготовки инженерных кадров». - Алматы: КазНТУ, 2002. – С. 161-162.
34. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Теоретические исследования колебаний быстровращающегося слоистого цилиндра, с полостью частично заполненного

идеальной жидкостью // Материалы международной научной конференции «Первые Ержановские чтения». – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. Том 1. – С.75 - 82.

35. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Тенденции развития конструкций загрузочных устройств ленточных конвейеров // Материалы 11- международной научной практической конференции «Проблемы и перспективы развития». – Алматы: КАДУ, 2004. – С. 214 - 215.

36. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Джундибаев В.Е., Колебания конвейерной ленты с учетом взаимодействия с роlikоопорами // Межд. сборник науч. трудов «Актуальные проблемы современности». – Караганда: Изд-во Болашак-баспа, 2005. Выпуск 1. – С. 337 - 339.

37. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Совершенствование процесса принимающей площадки загрузочного устройства для ленточных конвейеров // Труды межд. научно-практ-конф. «Научно-технический прогресс в металлургии». - Темиртау: Кар. мет. институт, 2005. – С. 30 - 32.

38. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Технические изыскания ленточного конвейера // Труды межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». - Караганда: КарГТУ. 2005. – С. 199 - 201.

39. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Устойчивость нелинейных колебаний конвейерной ленты при взаимодействии с роlikоопорами // Материалы межд. конф. «Теоретические и экспериментальные исследования строительных конструкций». – Алматы: КазГАСА, 2005. – С.153 - 154.

40. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Оптимизация параметров загрузочных устройств центрирующим лотком // Научный журнал МОН РК Изденіс (Поиск). – Астана: 2006. - №3. – С.316 - 318.

41. Арпабеков М.И., Бобеев А.Б. Конструктивный анализ загрузочных устройств ленточных конвейеров // Материалы международной научной конференции «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане». - Астана: 2008. Т. 1, – С. 229 - 230.

42. Арпабеков М.И., Бобеев А.Б. Реконструкция загрузочных устройств ленточных конвейеров // Тезисы докладов всероссийской конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли». – Новосибирск: НГАСУ, 2008. – С. 177 - 178.

43. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Джундибаев В.Е. Устойчивость нелинейных колебаний конвейерной ленты при взаимодействии с роlikоопорами // Материалы межд. конф. «Теоретические и экспериментальные исследования строительных конструкций». – Алматы: ЗАО КазГАСА, 2005. – С. 153 - 154.

44. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Джундибаев В.Е. Кульджабеков Б. Описание конструкции загрузочного устройства // Межд. сборник научных трудов «Актуальные проблемы современности». – Караганда: Изд-во Болашак - баспа, 2006. - №2 (11). – С. 213 -214.

45. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Реконструкция загрузочных устройств ленточных конвейеров // Тезисы докладов всероссийской конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли». – Новосибирск: НГАСУ, 2008. – С. 177 - 178.

46. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Джундибаев В.Е. Кульджабеков Б. Поглотитель колебаний принимающей площадки загрузочного устройства для ленточных конвейеров // Межд. сборник научных трудов «Актуальные проблемы современности». - Караганда: Изд-во Болашак – баспа, 2006. - № 1 (10). – С. 226.

47. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Джундибаев В.Е. Кульджабеков Б. Описание конструкции загрузочного устройства // Межд. сборник научных трудов «Актуальные проблемы современности». – Караганда: Изд-во Болашак-баспа, 2006. - №2 (11). – С. 213-214.

48. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Поперечное колебание конвейерной ленты // Сборник научных трудов международной научно-практ. конф. «Актуальные проблемы современности». - Караганда: Изд-во Болашак – баспа, 2004. Выпуск 1. – С. 154 - 156.

49. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И. Эксплуатация загрузочных устройств ленточного конвейера // Тезисы докладов 62 - научно-технической конференции посвященной 75 - летию НГАСУ (СИБСТРИН). – Новосибирск: 2005. – С. 124 - 125.

50. Сагинов А.С., Квон С.С., Лазуткин А.Г., Ермеков Т.Е. Флангово-фронтальная выемка пластовых месторождений: Монография. - Алматы: Наука, 1983. – 280 с.

51. Ермеков Т.Е. Диагностика технических средств и сложных систем: Учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2007. - 69 с.

52. Ермеков Т.Е., Тазабеков И.И., Арпабеков М.И. Задачи технической диагностики для селективной выемки роботизированного комплекса КРС // Научные труды межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы горно - металлургического комплекса Казахстана» (Сагиновские чтения №1). – Караганда: КарГТУ, 2009. Ч.1. – С. 192 - 195.

53. Ермеков Т. Е., Мухатчина Ф.У. Разработка программы управления твердо-бытовыми отходами в условиях г. Астаны // Матер. межд. науч. -практ. конф. «Экол. безопасность убранизированных территории в условиях устойчивого развития». – Астана: 2006. – С. 225 - 233.

54. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Определение нагрузок и удельной энергоемкости на рабочем органе манипулятора // Вестник Жезказганского университета им. О.А. Байконурова. – Жезказган: 2009. - № 2. – С. 83 -87.

55. Основы конструирования / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков и др. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.

56. Бобеев А.Б., Арпабеков М.И., Кульджабеков Б. Классификация погрузочно-перегрузочных комплексов транспортных систем // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы: Изд-во Бастау, 2006. - №9. – С. 55 - 57.

57. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Выбор принципиальной схемы адаптивно-программного управления горных и строительных машин при системе

стабилизации нагрузок // Материалы межд. научно-практ. конф. посв. 45 - летию ЦИСИ «Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития». –Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. – С. 375 - 378.

58. Баубеков А.А., Арпабеков М.И. Защита окружающей среды от газов техногенного характера // Материалы межд. научно-практ. конф. «Экологическая безопасность урбанизированных территории в условиях устойчивого развития». – Астана: 2006. – С. 316 - 322.

59. Докукин А.З., Фролов А.Г., Позин Е.З. Выбор параметров выемочных машин. – М.: Наука, 1976. – 144 с.

60. Справочник по функционально-стоимостному анализу / Под ред. Карпунина М. Г., Майданчика Б. И. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 431 с.

61. Грунь В.Д., Шевалдин И.А., Куликов М.О. Механизация трудоемких процессов в угольной промышленности (роботизация) / Разработка месторождений твердых полезных ископаемых. - М.: 1982. – С. 187 - 236.

62. Арпабеков М.И. Исследование скорости подачи выемочных манипуляторов с адаптивным программным управлением при различных способах обработки забоя // Материалы межд. научно-практ. конф. посвященной 45 - летию ЦИСИ «Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития». - Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. – С. 355 - 358.

63. Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Алгоритм управления горным автоматическим выемочным манипулятором // Научный журнал «Автоматизация в промышленности». - М.: 2010. - № 4. – С. 33 - 34.

64. Ермеков Т.Н., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Кредитті жүйеде оқытудағы әдістемелікпен робототехникалық комплекстердің және машиналардың динамикалық өлшемдерін анықтау мен дәлелдеу. Материалы респ. научной конф. «Глобализация и современные университеты», посвященной 70-летию КарГУ им. Е.А.Букетова. – Караганда: Изд-во КарГУ им. Е.А. Букетова, 2008. – С. 33 - 37.

65. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Определение зоны резания для различных режимов работы манипулятора // Журнал Вестник КазАТК им. М. Тынышбаева. – Алматы: Изд-во КазАТК, 2009. - №4 (59). – С 118 - 123.

66. Арпабеков М.И. Оценка спектрально корреляционных характеристик работы манипулятора на базе коронки ПК-3М, ПК-9Р // Вестник ПГУ им С. Торайгырова (серия энергетическая). – Павлодар: Изд-во Кереку, 2009. - №1. – С. 19 - 23.

67. Лесков А.Г., Ющенко А.С. Моделирование и анализ робототехнических систем с помощью ЭВМ. - М.: Машиностроение, 1992. – 222 с.

68. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Кредитті жүйеде оқытудағы әдістемелікпен робототехникалық комплекстердің және машиналардың динамикалық өлшемдерін анықтау мен дәлелдеу // Материалы респ. науч. конф. «Глобализация и современные университеты», посвященной 70-летию КарГУ им. Е.А.Букетова. – Караганда: Изд-во КарГУ им. Е.А. Букетова, 2008. – С. 33 - 37.

69. Арпабеков М.И., Шоланов К.С., Аубакир Д.А. Исследование динамики горного выемочного манипулятора с применением уравнений Лагранжа - Эйлера // Материалы межд. научно- технического семинара «Наука и технологии индустриально- инновационного развития Казахстана-2010». – Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2010. – С. 4 - 12.

70. Шоланов К.С., Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Динамический анализ горного выемочного манипулятора с применением уравнений Ньютона - Эйлера // Материалы межд. научно- технического семинара «Наука и технологии индустриально- инновационного развития Казахстана-2010». - Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2010. – С. 124 -134.

71. Ермеков Т.Е., Данияров Н.А. Тойгизбаева Б.Б. Оценка эффективности и адаптивно -программное управление состоянием горной техники // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. – Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2006. - № 248. – С. 115 - 122.

72. Ермеков Т.Е. Адаптивно – программное управление диагностическом состоянием горного оборудования Наука и образования ведущи фактор стратегии «Казахстан 2030»: Труды межд. науч. конф. МОН РК. – Караганда: КарГТУ, 2006. Вып. 2. – С. 21 - 24.

73. Ермеков Т.Е., Тазабеков И.И., Арпабеков М.И. Задачи технической диагностики для селективной выемки роботизированного комплекса КРС // Научные труды межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» (Сагиновские чтения №1). – Караганда: КарГТУ, 2009. Ч. 1. – С. 192 - 195.

74. Арпабеков М.И. Система диагностики неисправностей функциональных элементов очистного роботизированного комплекса для селективной выемки угольных пластов // Научный журнал «Хабаршы- Вестник». –Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. - №4 (71). – С. 207 - 212.

75. Арпабеков М.И. Схемы организации тестового контроля тестового диагностирования роботизированного комплекса селективной выемки КРС // Научный журнал «Хабаршы- Вестник». – Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2010. - №2 (75). – С. 160 - 166.

76. Арпабеков М.И. Изыскания и создание системы стабилизации и нагрузки автоматического горного манипулятора // Вестник Кыргызского аграрного университета. – Бишкек: 2009. - № 5 (16). – С. 103 - 108.

77. Арпабеков М.И. Исследование устойчивых положений выемочного манипулятора при сложных горно-геологических условиях // Наука и образование Южного Казахстана. Серия механика и машиностроение. – Шымкент: Изд-во ЮКГУ, 2009. - № 6(79). – С.134 -138.

78. Арпабеков М.И. Изыскания и создание системы стабилизации и нагрузки автоматического горного манипулятора // Вестник Кыргызского аграрного университета. – Бишкек, 2009. - № 5 (16). – С.103 - 108.

79. Арпабеков М.И. Исследование устойчивых положений выемочного манипулятора при сложных горно-геологических условиях // Наука и образование Южного Казахстана. Серия механика и машиностроение. – Шымкент: Изд-во ЮКГУ, 2009. - № 6 (79). – С. 134 - 138.

80. Хаяси Т. Нелинейные колебания механических систем. - М.: Мир, 1973.
81. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Характерные геометрические характеристики исполнительного органа и возможные его варианты управления // Материалы межд. научно-практ. конф., посв. 45-летию ЦИСИ «Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития». - Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, 2009. – С. 99 – 102.
82. Арпабеков М.И. Исследование и создание системы стабилизации нагрузки автоматического выемочного манипулятора // Сборник научных трудов Межд. науч. конф. «Развитие теории и практики фундаментальных и прикладных наук». - Пенза: ПГУАС, 2009. – С. 134 – 138.
83. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И.. Определение зоны резания для различных режимов работы манипулятора // Журнал Вестник КазАТК им. М. Тынышбаева. - Алматы: Изд-во КазАТК, 2009. - №4 (59). – С. 118 -123.
84. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И.. Горные машины. По рекомендации Министерства образования и науки Республики Казахстан для организаций начального и среднего профессионального образования: Учебник. - Астана: Фолиант, 2009. – 372 с.
85. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Научные основы решения, а также обоснование параметров горных и строительных робототехнологических комплексов: Монография. – Алматы: Изд-во Эверо, 2009. – 272 с.
86. Арпабеков М.И. Моделирование рабочего действия ВМФ-5 на аналоговых вычислительных машинах // Сборник научных трудов межд. науч. конф. «Развитие теории и практики фундаментальных и прикладных наук». Федеральное агентство по образованию и Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС). –Пенза: 2009. – С. 138 - 142.
87. Ермеков Т.Н., Исмагамбетов М.У., Арпабеков М.И. Технологиялык машиналар динамикасы: Оқу құралы. – Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2007. – 128 с.
88. Арпабеков М.И. Обзор основных видов манипуляторов при автоматизации и роботизации очистных работ // Труды IV Межд. научно-техн. конф. «Современные проблемы машиностроения»: Федеральное агентство по образованию и Томский политехнический университет. – Томск: ТПУ, 2008. – С. 65 - 67.
89. Арпабеков М.И. Обзор основных видов манипуляторов при роботизации очистных работ // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции НГАСУ, Сибстрин. – Новосибирск: 2009. – С. 115 - 116.
90. Арпабеков М.И. Результаты ранее проведенных исследований при роботизации очистных работ // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции НГАСУ, Сибстрин. – Новосибирск: 2009. – С. 112 - 114.
91. Шоланов К.С. Анализ и синтез многоподвижных механизмов манипуляторов с замкнутыми кинематическими цепями // Материалы I Республиканского съезда по теоретической и прикладной механике. – Алматы: 1996. – С. 7.

92. Шоланов К.С. Анализ и синтез многоподвижных исполнительных механизмов роботов с замкнутыми кинематическими цепями: Докт дисс.: 05.02.18. – Алматы: КазНТУ им. К. Сатпаева, 2000. – 222 с.
93. Баранов В.В., Третьяков З.Д. Техничко-экономический анализ роботизированных технологических комплексов и перспективы повышения эффективности робототехники. – М.: 1987. – 48 с.
94. Графов Л.Л. и др. Перспективы безлюдней выемки угля на основе роботизации. – М.: ЦНИИЭИуголь, 1986. – 65 с.
95. Системы и устройства автоматики для горных предприятий на основе микроэлектроники и микропроцессорной техники / Под ред. Ю.Н. Камышина и Л.Г. Мелькумова. – М.: Недра, 1992. – 363 с.
96. Автоматизация подземных горных работ / Под ред. проф. Иванова А.А. – К.: Вища школа, 1987. – 328 с.
97. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ. – К.: Вища школа, 1990. – 334 с.
98. ГОСТ 26.002-81. ЕССП. Комплексы средств измерений и автоматизации агрегатные. Общие положения, классификация и принципы построения. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
99. Механика промышленных роботов / Под. Ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн.3: Основы конструирования / Е.И.Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков и др. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.
100. Лесков А.Г., Ющенко А.С. Моделирование и анализ робототехнологических систем с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1992.
101. Ютт В.Е., Рузавин Г.Е. Электронные системы управления ДВС и методы их диагностирования: Учебное пособие. – М.: Горячая линия- Телеком, 2007. – 104 с.
102. Ермеков Т. Е. Научные основы проектирования роботизированного комплекса для селективной безотходной выемки угольных пластов // Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Надежность и качество горных машин». – М.: МГИ, 1992. – С. 4 - 9.
103. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Разработка горных робототехнологических комплексов для сложных и чрезвычайных геотехнических ситуации // Труды межд. научно-практ-конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». – Караганда: КарГТУ. 2005. – С. 37 - 39.
104. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Создание робототехнологических комплексов селективной выемки угольных пластов в сложных геотехнических ситуациях // Материалы III Межд. научная-практ. конф. «Научно-технический прогресс в металлургии» посв. 60 - летию АО Кар.Мет. институт. – Темиртау: 2005. – С. 27 - 29.
105. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н. Темирбеков Е.С. Исмагамбетов М.У. Научные основы проектирования и конструирования роботизированных комплексов для разработки угольных пластов // Тезисы докладов межд. научной

конф. «Проблемы теоретической и прикладной механики» – Алматы: 2006. – С. 110 - 111.

106. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Характерные геометрические характеристики исполнительного органа и возможные его варианты его управления // Материалы межд. научно-практ. конф. посв. 45 - летию ЦИСИ «Современная архитектура, строительство и транспорт: состояние и перспективы и развития». - Астана: Изд-во ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2009. – С. 99 - 102.

107. Ермеков Т.Е., Бекенов Т.Н., Арпабеков М.И. Горные и строительные робототехнологические комплексы: Учебник. - Астана: Фолиант, 2008. - 332 с.

108. Арпабеков М.И. Математическая модель горного выемочного манипулятора и его рабочего органа // Материалы межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы математики, информатики, механики и теории управления» посвященной 60-летию д.т.н., профессора, академика Нац. ИА РК Биярова Т.Н. КБТУ, ДГП «Институт механики и машиноведения КН МОН РК», ДГП «Институт математики и механики» КазНУ им. Аль-Фараби, Институт прикладного и системного анализа НАН и МОН Украины. ТОО «Эверо». – Алматы: 2009. Ч. 1. – С. 107 - 112.

109. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Изыскание конструкции закладочного устройства для селективной выемки // Научный журнал «Хабаршы- Вестник». – Астана: Изд-во ЕНУ им. Гумилева, 2009. - № 6 (73). – С. 28 - 34.

110. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Выбор эффективного способа обработки угольного пласта выемочными манипуляторами // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. –Усть–Каменногорск: Изд-во ВКГТУ, 2009. Научный журнал № 4. – С. 31-38.

111. Чипулис В.П., Шаршунов С.Г. Анализ и построение тестов цифровых программно-управляемых устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1992. - 224 с.

112. Климов Ю.И., Дрижд Н.А., Климов А.Ю. Моделирование насосно-аккумуляторного привода передвижки крепи механизированного комплекса // Труды третьего межд. науч. симп. «Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия». – Орел: ОрелГТУ, 2006. – С. 250 - 255.

113. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ. – К.: Вища школа, 1990. – - 334 с.

114. Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Выбор оптимальной организации рабочего процесса выемочных манипуляторов // Вестник Жезказганского университета им. О.А. Байконурова. – Жезказган: 2009. - № 2. – С. 87 - 93.

115. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Изыскания и создание средства управления роботизированного комплекса для селективной выемки угольных пластов // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. Серия экономических, технических, гуманитарных наук и архитектуры. – Астана: 2009. - №4 (55). – С. 336 - 339.

116. Шоланов К.С., Ермеков Т.Е., Арпабеков М.И. Совершенствование конструкции и исследование параметров горного выемочного манипулятора типа

ВМФ // Вестник Кыргызского аграрного университета. – Бишкек: 2009. - №1(12). – С. 103 - 108.

117. Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Моделирование горного автоматического манипулятора // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – Санкт-Петербург: 2010. - №2 (97). – С. 145 - 148.

118. Арпабеков М.И. Адаптивно - программное управление роботизированного комплекса // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – Санкт-Петербург: 2010. - №2 (97). – С. 63 - 70.

119. Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Изыскание конструкции закладочного устройства для ведения селективной выемки // Доклады национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы: 2010. – № 3. – С. 65 - 69.

120. Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение «Устройство для управления горным выемочным манипулятором» / Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. № 2009/1446.1 от 08.12.2009.

121. Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение «Устройство горного выемочного манипулятора» / Ермеков Т.Е., Шоланов К.С., Арпабеков М.И. Заявка № 2009/1447.1 от 08.12.2009.

122. Шоланов К.С., Ермеков Т.Е., Тазабеков И.И., Арпабеков М.И. Исследование скорости движения отбойной коронки выемочного манипулятора // Вестник Казахского Национального технического университета им. К.И. Сатпаева. – Алматы: НТИЦ КазНТУ, 2010. – №1 (77). – С. 100 - 105.

*Учебное издание*

**ЕРМЕКОВ ТОЛЕУХАН ЕРМЕКОВИЧ,  
ИСАБЕК ТУЯК КОПЕЙУЛЫ,  
КАМАРОВ РЫМГАЛИ КУМАШЕВИЧ**

**Горные и строительные  
робототехнологические комплексы**

Редактор Сагадиева К.К.

Подписано в печать 26.06.2014 г. Формат 60x90/16.  
Объем 18,7 п.л. Тираж 500 экз. Заказ № 919.  
Издательство КарГТУ, 100027. г. Караганда, Бульвар Мира, 56.