

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ  
РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"

На правах рукописи

Шендрик Александр Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ ПРОХОДЧЕСКИХ  
КОМБАЙНОВ СО СТРЕЛОВИДНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ  
ОРГАНАМИ ТИПА КСП-32**

Специальность 05.05.06 - Горные машины

**Диссертация  
на соискание учёной степени кандидата технических наук**

Научный руководитель: кандидат технических  
наук, с.н.с., профессор  
Афендииков Николай Георгиевич

Идентичность всех экземпляров

ПОДТВЕРЖДАЮ

Ученый секретарь диссертационного  
Совета Д 01.008.01, докт. техн. наук

И.А. Бершадский

Донецк – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ ПО НАДЕЖНОСТИ, СИСТЕМАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ.....	14
1.1 Проблемы обеспечения надежности проходческих комбайнов.....	14
1.2 Причины появления отказов проходческих комбайнов .....	21
1.3 Особенности конструкции и условия эксплуатации гидроприводов проходческих комбайнов.....	24
1.4 Методы моделирования надежности проходческих комбайнов.....	31
1.5 Существующие системы технического обслуживания и ремонта проходческих комбайнов.....	34
1.6 Постановка задач исследования .....	38
1.7Выводы.....	39
2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГП КОМБАЙНОВ.....	43
2.1 Основные направления в обеспечении надежности ГП комбайнов со стреловидными исполнительными органами.....	43
2.2 Структурная модель надежности проходческого комбайна типа КСП-32.....	46

2.3 Экспертное оценивание надежности систем проходческого комбайна	58
2.4 Выводы.....	69
<b>3.ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОПРИВОДОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ.....</b>	<b>71</b>
3.1 Планирование экспериментальных исследований в шахтных условиях ..	71
3.2 Результаты экспериментальных исследований и результаты их обработки	75
3.3.Выводы.....	86
<b>4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И РЕМОНТОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ.....</b>	<b>88</b>
4.1 Общие положения по выбору рациональной периодичности технических обслуживаний и ремонтов комбайнов.....	88
4.2 Разработка методики оценки надежности элементов ГП.....	90
4.3 Разработка рекомендаций по техническим обслуживаниям и ремонтам комбайнов .....	100
4.4.Выводы.....	106
<b>5.РАЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ РЕМОНТОВ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ СО СТРЕЛОВИДНЫМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ.....</b>	<b>107</b>
5.1 Разработка принципов определения рационального состава запасных частей .....	107
5.2 Экспериментальные данные исследований и разработка рекомендаций по резервированию ЗИП.....	111
5.3 Выводы.....	113

6.ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ.....	115
6.1 Общие положения о ремонтпригодности ГП комбайнов.....	115
6.2 Показатели ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов.....	116
6.3 Экспериментальные исследования ремонтпригодности в шахтных условиях.....	118
6.4 Предлагаемые способы восстановления изношенных элементов ГП проходческих комбайнов.....	124
6.5 Исследование восстановления внутренних поверхностей гидроцилиндров электромеханическим способом.....	126
6.5 Выводы.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	141
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 . Сертификаты, подтверждающие участие автора диссертационной работы Шендрика А.В. в международных конференциях.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Фотографии некоторых вышедших из строя элементов проходческих комбайнов типа КСП-32.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Акты внедрения и использования результатов диссертационной работы.....	166

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Для обеспечения значительного роста добычи угля в Донбассе и существенного увеличения экономических показателей отрасли необходимо своевременно подготавливать новые очистные забои. Поэтому проведение подготовительных выработок является весьма важной задачей. При проведении подготовительных выработок широкое распространение получили проходческие комбайны. Проходка горных выработок проходческими комбайнами является более эффективным в сравнении с буровзрывным способом проходки, поскольку скорость проведения выработок значительно выше, а себестоимость выработок намного ниже. Вместе с тем, эффективность применения проходческих комбайнов во многом определяется их фактической надежностью при эксплуатации в шахтах.

Обеспечение надежности является одной из важнейших задач при создании и эксплуатации любой машины или технической системы. Особенно эта задача актуальна для машин, работающих на шахтах в сложных подземных условиях, таких как проходческие комбайны со стреловидными исполнительными органами, состоящих из большого числа узлов, деталей, объемных гидравлических насосов, у которых потребителями гидравлической энергии являются гидродвигатели вращательного движения, и объемные гидродвигатели поступательного движения. В качестве узлов с возвратно-поступательным движением ведомых звеньев используются гидроцилиндры, взаимодействующие между собой и взаимодействующие с исполнительным органом, разрушающий горный забой при проходке выработки. Задача обеспечения повышенной надежности проходческих комбайнов включает в себя целый комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение ущерба от нарушения нормального режима проходческих участков по проведению подземных выработок в шахтах из-за выхода из строя подсистем гидроприводов комбайнов.

Согласно инструкции по эксплуатации проходческих комбайнов типа КСП32 завод-изготовитель Ясиноватский машиностроительный завод установил срок гарантии 18 месяцев со дня прибытия комбайна в пункт назначения, но не более 12 месяцев со дня ввода в эксплуатацию. Гарантийная наработка должна по разрушению горной породы быть не ниже 20000 м<sup>3</sup>.

Для эффективной работы комбайнов необходимо проведение технических обслуживаний и ремонтов, снабжение горнодобывающих предприятий необходимыми и в нужном количестве запасными частями, а также обеспечивать повышения ремонтпригодности машин за счет совершенствования их конструкций и совершенствования организации ремонтов.

Вместе с тем на шахтах находятся в эксплуатации и резерве большое число проходческих комбайнов, изготовленных в конце прошлого века и вначале XXI века. Многие из этих проходческих комбайнов выработали срок службы, но после многократных капитальных, средних и текущих ремонтов эксплуатируются и в настоящее время. Надежность этих комбайнов в целом и гидравлических систем в частности остается очень низкой.

**Степень разработанности.** В настоящее время проходческие комбайны нашли широкое применение при проведении подземных выработок в шахтах во всех угольных бассейнах стран СНГ, по некоторым данным в эксплуатации насчитывается их несколько тысяч (примерно 3 тысячи). Поэтому для повышения производительности и надежности проходческих комбайнов проведено большое число исследований. Проблемам исследования разрушения горных пород, динамическим нагрузок в приводах проходческих комбайнов и повышением надежности посвящены работы Барона Л.И., Берона А.И., Казанского А.С., Позина Е.З., Альшица Я. И., Малеева Г.В., Гуляева В.Г., А. Бренера, А.А. Каралюса, В.Н Хорина, Семенюты В.Г, Петрушкина Г.В., Кондрахина В.П., Котляревского Г.П., Леванковского И.А., Глатмана Л. Б., Храпова Ю.Г., Черных В. Г., Шабаева О.Е., и др. Проведению научных исследований по повышению надежности гидроприводов проходческих комбайнов посвящены работы Финкельштейна З. Л., Рахутина М.Г., Поминова К.Г, а также для разработке рекомендаций по организации проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) и модернизации подсистем проходческих комбайнов.

Конструкции система гидравлических приводов (ГП) состоят из значительного числа подсистем и элементов, обеспечивающих их безаварийную работу при эксплуатации. Такими подсистемами являются: подсистемы насосной группы, подсистемы привода погрузочных устройств, подсистемы привода ходовых частей комбайнов, подсистемы перемещения исполнительных органов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, подсистемы напора исполнительных органов на забой, подсистемы подъема-опускания стола питателя и подсистемы аутригеров. Каждая из перечисленных гидравлических подсистем условно в данной работе называются гидравлическими. Условность этого наименования «гидравлические» состоит в том, что они содержат не только гидравлические приборы и элементы, но и асинхронные электродвигатели гидронасосов, раздаточные редукторы, кронштейны и другие не гидравлические элементы. Кроме этого эти подсистемы содержат и чисто гидравлические элементы: гидроцилиндры, фильтры, трубопроводы, распределители, гидравлические замки, предохранительные клапаны и др.

Как правило, ГП комбайнов проектируется для длительной эксплуатации, но из-за различных скрытых дефектов, возникших при конструировании элементов подсистем, и дефектов, возникших при изготовлении, а также из-за нарушения правил эксплуатации и недостатков обслуживания чаще выходят из строя. Отказы подсистем гидравлических приводов приводят к простоям проходческих комбайнов и являются достаточно дорогостоящими по их устранению. По некоторым данным стоимость ремонтов к концу срока эксплуатации значительно превышает первоначальную стоимость проходческого комбайна в несколько раз. Причиной таких больших затрат времени, материалов и запасных частей на восстановительные работы служит не только сложность узлов, их большая масса, а и труднодоступность в конструкции комбайнов при ремонте вышедших узлов и деталей, особенно эта труднодоступность усугубляется в подземных условиях. Значительное число отказов не представляется возможным устранить в шахтных условиях на проходческих

участках, поэтому возникает необходимость транспортирования вышедших из строя узлов и элементов гидроприводов в ремонтные мастерские, а при значительных поломках даже на централизованные ремонтные предприятия (заводы). В связи с этим повышение надежности весьма важно. На этапе проектирования повышение надежности состоит в применении современных конструктивных решений, основанных на результатах научных исследований, применении современных комплектующих и материалов. Повышение надежности при изготовлении состоит в использовании современных станков и технологий обработки материалов, а при эксплуатации повышение надежности достигается использованием эффективной стратегии ТОиР проходческих комбайнов и их ГП.

В настоящее время в странах СНГ при ремонте элементов проходческих комбайнов в забоях используется стратегия планово-предупредительного ремонта (ППР). При наличии больших преимуществ эта стратегия не учитывает численные показатели надежности элементов ГП проходческих комбайнов, которые можно определить, имея экспериментальные данные об их отказах, полученные в процессе эксплуатации. Но, несмотря на большой парк проходческих комбайнов, отдельно по любому из элементов статистика отказов и восстановлений не велась и не проводится. Данные об отказах проходческих комбайнов в документах по техническим обслуживаниям и ремонтам лишь фиксировались в общих журналах механических и диспетчерских служб шахт. При этом анализ отказов не производился. Огромные затраты труда при сборе и анализа данных, потребных для получения параметров надежности проходческих комбайнов, представляют сложную процедуру. Так как сроки эксплуатации комбайнов составляют до 30 – 40 месяцев. Поэтому вопросы прогнозирования возникновения отказов агрегатов и узлов комбайнов на основе данных о наблюдении за ними являются очень актуальными.

Из-за недостатка в настоящее время информации по надежности ГП комбайнов, а также для обеспечения и повышения их надежности в настоящей работе сформулированы цель и задачи исследования.



**Цель и задачи работы.** Цель работы состоит в установлении закономерностей возникновения отказов гидравлических систем, составляющих их подсистем и элементов на основе анализа результатов статистических исследований, полученных при эксплуатации ПК в реальных шахтных условиях, прогнозирование их надежности и совершенствование текущих обслуживаний и ремонтов.

**Задачи, которые следует решить для выполнения поставленной цели:**

1.Собрать экспериментальные данные об отказах элементов ГП комбайнов с использованием системного подхода и системного анализа. Выяснить влияние отказов элементов на подсистемы ГП и гидросистемы в целом для повышения надежности и производительности ПК.

2.Экспериментальные данные о надежности ГП комбайнов, полученные в реальных шахтных условиях эксплуатации, использовать для установления статистических закономерностей наработок между отказами и времени восстановления.

4.Определить зависимости и закономерности распределения показателей надежности узлов ГП ПК, используя данные, полученные при проведении экспериментальных исследований, необходимые для разработки методики прогнозирования надежности.

5.Разработать метод прогнозирования надежности, используя полученные зависимости и закономерности оценок показателей надежности ГП, позволяющий определить рациональные периоды между обслуживаниями и ремонтами ГП комбайнов.

6.Установить рациональный состав запасных частей для ремонта ГП комбайнов избирательного действия и места их складирования для оперативной доставки к местам ремонта.

7.Повысить ремонтпригодность ГП комбайнов в шахтных условиях, а также ремонтпригодность, обеспечивающая снижение затрат на восстановление их узлов и деталей на ремонтных предприятиях.

**Объект исследования.** Снижение показателей надежности ГП горнопроходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами из-за воздействия случайных статических и динамических нагрузок, приводящих к повреждениям, выходам из строя и износам элементам ГП.

**Предмет исследования.** Показатели надежности ГП при эксплуатации комбайнов со стреловидными исполнительными органами, разработка

рекомендаций по совершенствованию их конструкций, ТОиР, повышению ремонтпригодности.

**Методы исследования.** Комплексный подход на основе системных положений и системного анализа с использованием теории вероятности, математической статистики, методики прогнозирования, а также методов совершенствования систем ТОиР и методов восстановления деталей.

**Степень достоверности результатов диссертации.** Достоверность полученных научных результатов обеспечена применением системного подхода, корректным использованием теоретических методов и подтверждением их экспериментальными данными, полученными в шахтных условиях эксплуатации ПК. Эффективность предложений подтверждены актами внедрения на горнодобывающих предприятиях и на ремонтных заводах.

#### **Научная новизна работы.**

1. Впервые экспериментально, в представительных условиях шахт Донбасса, установлено, что удельный вес отказов в гидравлических подсистемах ПК КСП32 составляет порядка 70 %, при этом преобладающими законами наработки между отказами элементов гидравлических подсистем (поворота и подъема исполнительных органов, нагребных лап или звезд, хода и насосных станций) являются законы Вейбулла (на участках приработки и износа) и экспоненциальный (на участках нормальной эксплуатации), а затраты времени на их восстановление не противоречат экспоненциальному закону.

2. Впервые разработан метод прогнозирования отказов ГП комбайнов, с использованием установленных закономерностей распределения показателей надежности. Метод позволяет установить вероятность безотказной работы элементов ГП в течение «жизненного цикла» - при приработке, нормальной и износной эксплуатации, а также определить оставшийся ресурс до капитального ремонта с использованием данных наблюдений за относительно короткий период времени работы небольшого числа проходческих комбайнов.

3. Впервые на основе установленных законов распределения между отказами как случайных явлений при их эксплуатации в реальных условиях установлены рациональные периоды проведения технических обслуживаний и ремонтов ГП ПК. Проведение технических обслуживаний и ремонтов ГП ПК в рациональные периоды приводит к повышению их ресурса на  $25 \div 30\%$ .

#### **Теоретическая и практическая ценность работы:**

1. Впервые полученные экспериментальные данные об отказах элементов ГП ПК позволили выявить наиболее ненадежные из них. Методом экспертного опроса определены элементы, влияющие на надежность ПК. Выполнен анализ причин выходов из строя ГП ПК.

2. Определена рациональная периодичность текущих ремонтов и ресурсы до капитальных ремонтов ГП комбайнов с использованием разработанного метода прогнозирования. Это позволяет повысить надежность ГП комбайнов и уменьшить длительность простоя ПК, необходимого для восстановления их работоспособности.

3. Выработаны рекомендации по улучшению систем обеспечения технических обслуживаний и ремонтов ГП ПК, позволяющие своевременно контролировать, определять и ремонтировать, неисправности и отказы агрегатов, узлов и элементов гидросистем, появившихся при эксплуатации машин, а также своевременно проводит контроль качества текущих ремонтов.

4. Установлены рациональные составы запасных частей для ремонта и обслуживания ГП комбайнов избирательного действия и места их складирования для оперативной доставки к местам ремонта.

5. Разработаны рекомендации по повышению ремонтпригодности, в том числе и снижению затрат на восстановление узлов и деталей на ремонтных предприятиях ГП ПК.

**Реализация и внедрение результатов работы.** Результаты диссертационной работы используются для оценки надежности ГП комбайнов, при составлении планов и объемов ТОиР на угледобывающих предприятиях и для

корректировки параметров надежности, установленных в технических условиях, а также усовершенствования проектирования и модернизации технологии изготовления и ремонта ГП комбайнов на заводах-изготовителях и на ремонтных заводах.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Структурная схема ПК, разработанная на основе системного анализа, а также метод экспертного оценивания значимости систем, подсистем, их узлов и элементов в общей надежности ПК, который позволил установить, что число отказов гидравлической системы составляет около 68%, механической системы 19%, электрической системы 13% от всех отказов ПК.

2. Полученные при обработке экспериментальных данных законы распределения вероятностей безотказной работы (ВБР) и распределение параметров потока отказов (ППО) различных подсистем ГП ПК три периода эксплуатации: при приработке по закону Вейбулла (ППО изменился за шесть месяцев с  $22/10^5$  до  $3,8/10^5$  час), при нормальной эксплуатации по экспоненциальному закону (ППО 18 месяцев составлял  $3,8/10^5$  час), при износовой эксплуатации по закону Вейбулла (ППО за четыре месяца увеличился с  $3,8/10^5$  до  $29/10^5$  час). Эти законы позволяют определять ресурс до капитального ремонта подсистем ГП и разработать предложения для организации их ТОиР.

3. Рациональная периодичность и объем ТОиР ГП (первый ремонт, например, для подсистемы поворота исполнительного органа следует производить через 6 месяцев после начала эксплуатации ПК, второй через 18 месяцев после первого ремонта). При этом определение необходимой номенклатуры и количества ЗИП, повышение ремонтпригодности, основанные на данных исследования их надежности.

**Личный вклад в работу.** Результаты проведенных научных исследований, полученных автором самостоятельно, включают оценку актуальности и анализ литературы по теме диссертационной работы, постановку задач исследования, проведение экспериментальных исследований для получения данных по отказам и

данных по времени восстановлению элементов ГП проходческих комбайнов, обработку полученного материала, проведение расчетов, анализ результатов, разработку рекомендации по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта, а также рекомендаций по повышению ремонтпригодности комбайнов.

**Апробация работы.** Результаты исследований, полученных при выполнении диссертационной работы докладывались и получили одобрение на следующих конференциях и научно-технических советах предприятий:

1. Международная конференция г Тольяти (Россия) май 2019 г. Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук.

2. IV Международная научно-техническая конференция. Г Казань (Россия) 2019г. Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем.

3. Международная научно-практическая конференция Россия, г. Калуга, 2019, «Материалы и методы инновационных научно-практических исследований и разработок».

4. На техническом совете производственного объединения «Макеевуголь»

**Публикации.** По результатам диссертационных исследований, опубликовано 7 печатных работ, среди которых 4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК ДНР, 3 тезисов докладов в материалах научно-технических и научно-практических конференциях (см. приложение П1)

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка литературы из 139 наименований и 3 приложений. Общий объем работы составляет 168 страниц машинописного текста, содержит 18 таблиц и 16 рисунков.

## **1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ ПО НАДЕЖНОСТИ, СИСТЕМАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ**

### **1.1 Проблемы обеспечения надежности проходческих комбайнов**

Наиболее используемыми в горной промышленности являются стреловидные проходческие комбайны, которые составляют примерно 90% от выпускаемых проходческих комбайнов. Такое распространение проходческих комбайнов получили благодаря простоте конструкции, возможности проведения горных выработок с сечениями и формой изменяемые в широких диапазонах и достаточно высокой надежности. Вопросам целесообразности и эффективности использования проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами при проходке выработок на угольных шахтах посвятили свои работы: Братченко Б.Ф., Малевич Н.А., Евсеев В.С., Богатин Ю.В., Сульповар Л.А., Ломазов М.Е., Базер Я.М. Грабчак Л.Г., Несмотряев В.И., Шендеров В.И. и др. [12,14,22,27,37,46,58, 75].

Надежность в соответствии с ГОСТ 27.004-2015 [30]- это «свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования».

Различным вопросам совершенствования и повышения надежности проходческих комбайнов избирательного действия посвящены работы ИГД им. А. А. Скочинского, ЦШШподземмаша, Гипроуглемаша, Автоматгормаша, ДонНТУ, МГИ(МиСиС), ДонУГИ, КузНИУИ, Ясиноватского машзавода, Копейского машзавода и ряда других организаций.

Большой вклад в теорию разрушения горных пород режущими инструментами проходческих комбайнов внесли Барон Л.И., Берон А.И., Казанский А.С., Лейбов Б.М., Позин Е.З., Глатман Л.Б., Губенков Е.К [14,15]. Разработанные этими учеными методики и отраслевые стандарты по определению сил резанию позволили разработать режущий инструмент с рациональными параметрами и схемы набора резцов на исполнительных органах для разрушения как породной, так и угольной части проходческого забоя. Это обеспечивает повышение надежности проходческих комбайнов за счет снижения общего уровня нагруженности всех систем комбайнов и ее динамической составляющих.

Исследованиям динамических нагрузок приводов проходческих комбайнов и обеспечения их снижения с целью повышения производительности и надежности отобрано в работах Альшица, Я. И., Малеева Г.В., Гуляева В.Г., А.А. Каралюса, П.П. Палеева, В.И. Солода., В.Н Хорина, Петрушкина Г.В. и др [ 5,24,39,41, 102].

Исследованиям с целью установления показателей надежности проходческих комбайнов при их эксплуатации в шахтных условиях посвящены работы Кондратова И.В., Кондрахина В.П., Котляревского Г.П., Леванковского И.А., Глатмана Л. Б., Храпова Ю.Г., Черных В. Г., Шабаева О.Е., Шиклеева Н.Г., Коблов Е.Н., Долгов В.Л. [42,49,56, 59, 61, 76,106, 118, 119, 120 ]. Исследованию проходческих комбайнов в Карагандинском бассейне посвящена работа Шиклеевой Н.Г. Эти работы позволили установить «узкие» места в конструкциях приводов исполнительных органов, приводов погрузочных устройств, ходовых частей и конвейеров горнопроходческих комбайнов и внесли значительный вклад в совершенствование, модернизацию проходческих комбайнов, а также разработку методик расчета и рекомендаций по совершенствованию комбайнов.

Проблема обеспечения высокой надежности проходческих комбайнов обострилась в последние 20-30 лет в связи с тем, что современные комбайны совершенствуются. Повышается их производительность, возрастает энерговооруженность приводов исполнительных органов, расширяется область применения на более крепкие горные породы, которые ранее проходились только буровзрывным способом, и увеличиваются сечения проводимых выработок. Однако, при этом происходит увеличение динамических и статических нагрузок на системы комбайнов, что приводит к снижению показателей их надежности [41].

Что касается повышения надежности гидроприводов проходческих комбайнов, то этой проблеме посвящено относительно меньшее количество исследований. Одними из наиболее значимых работ в области очистки рабочих жидкостей гидросистем следует отнести работы Финкельштейна З. Л. [111-114].

Кроме этих работ к весьма важным работам с научной и практической точки зрения следует отнести исследования Рахутина М.Г., Поминова К.Г.[73,90,91,93, 94]. В этих работах выполнен анализ влияния факторов, возникающих при эксплуатации комбайнов на рациональные значения наработок между ремонтами, связанных с заменами элементов гидроприводов. Также установлено влияние изменения технического состояния элементов гидроприводов на производительность и надежность горных машин.

В настоящее время при создании конкурентно способных гидроприводов комбайнов прослеживается тенденция повышения надежности. Следует отметить, что повышением надежности проходческих комбайнов желательно заниматься на всем протяжении их жизненного цикла, то есть при: проектировании, испытаниях, технологической проработке производства, закупках материалов и комплектующих изделий, продаже, монтаже, эксплуатации и утилизации.

На первом этапе жизненного цикла, задача повышения надежности гидроприводов комбайнов начинается при их проектировании. Так как надежность гидроприводов комбайнов связана с задачами экономического характера, то проблема обеспечения высокой надежности и оптимального проектирования является актуальной в настоящее время.

Для обеспечения надежности гидроприводов комбайнов на этапе проектирования необходимо предусмотреть [51,102]:

- выбор высоколегированных сталей, обеспечивающих при незначительных массогабаритных размерах большую несущую способность;
- конструкции узлов управления совершенствовать с учетом требований эксплуатации, изготавливать их менее сложными и более технологичными в изготовлении;
- применять более современные способы термической обработки металлов и современные специальные способы упрочнения поверхностей трения, повышающих их износостойкость;
- использовать двухконтурные гидравлические схемы, один из которых



силовой контур с давлением рабочей жидкости 14-20 МПа, а второй контур - контур управления (электрогидравлический или гидравлический) с рабочим давлением 1,5 -2 МПа.

Кроме выше отмеченного, следует уменьшить влияние человеческого фактора, для чего осуществлять повышенную проверку проектной и производственной документации, также принимать во внимание оснащенность завода изготовителя современным и исправным станочным парком и повышать уровень квалификации производственного персонала.

На этапе производства проходческих комбайнов, гидроприводов комбайнов и элементов гидроприводов для обеспечения их высокой надежности важными факторами является производственная, исполнительская и технологическая дисциплина. Технологическая дисциплина заключается в соблюдении требований технологических документов изготовления продукции [2]. Наибольшее число неточностей изготовления и изъянов узлов обнаруживается именно по причине нарушения технологической дисциплины. К основным недостаткам производства относятся: несоответствие или физическая изношенность оборудования, приспособлений, режущих и измерительных инструментов технической документации; несоответствие квалификации рабочих выполняемым работам; несоблюдение режимов обработки деталей; подмена марок сталей и других материалов. Повышения надежности гидроприводов комбайнов можно достигнуть, за счет правильного хранения и транспортировки материалов, полуфабрикатов, а также за счет входного контроля качества, порядка складирования покупных комплектующих изделий и сдаточных испытаний готовой продукции.

В настоящее время наибольшее внимание уделяется надежности гидроприводов комбайнов, так как рациональная система технического обслуживания и ремонта позволяет значительно сэкономить трудовые и финансовые ресурсы шахт их эксплуатирующих [105,119].

На этапе проектирования надежность гидроприводов комбайнов и

надежностей их элементов определяется расчетным путем по формулам теории надежности [105], но аналитические методы очень трудоемки и недостаточно достоверны и требуют использования допущений, которые снижают точность расчетов.

Наиболее современным методом оценки надежности гидроприводов и их элементов на этапе проектирования считается имитационное моделирование, которое позволяет повысить достоверность результатов [131]. После изготовления гидроприводов комбайнов возникает возможность определения количественных показателей надежности при ускоренных испытаниях, которые проводятся по регламентированному ГОСТ [31 методикам]. Недостатком проведения ускоренных испытаний является необходимость изготовления испытываемых образцов и узлов, а также необходимость разработки и изготовления специальных испытательных стендов, что приводит к дополнительным затратам. Поэтому ускоренные испытания, в основном, проводят только крупные заводы изготовители, а небольшие предприятия и ремонтные организации ограничиваются теоретическими расчетами.

Высокая достоверность информации о надежности обеспечивается при наблюдении за серийными образцами проходческих комбайнов непосредственно в шахтных условиях эксплуатации. При этом учитываются реальные режимы нагрузок, воздействия влажности, запыленности атмосферы проходческого участка и особенности проведения технического обслуживания и ремонта, которые невозможно воспроизвести в условиях заводского стенда.

Следует отметить, что при реализации этого метода сбора информации о надежности возникают трудности:

- необходим длительный период для наблюдений за комбайнами и гидроприводами, так как они эксплуатируются в течении нескольких лет и, поэтому невозможно получение достоверного числа их отказов за небольшой отрезок времени;
- недостаточное количество подготовленных сотрудников рабочей бригады,

ремонтников отдела главного механика и сотрудников диспетчерских служб шахт, способных вести учет данных о времени наработки между отказами, причин отказов и затрат времени на ремонт элементов гидроприводов комбайнов;

- сложность сбора информации при исследованиях комбайнов, находящихся в подземных условиях на проходческих участках различных шахт, и причем шахты, удаленных одна от другой на десятки и более километров.

Несмотря на перечисленные трудности с помощью эксплуатационных наблюдений получают основную информацию об отказах гидроприводов комбайнов, что позволяет решить следующие задачи:

- выявление наименее надежных элементов, которые обуславливают надежность гидроприводов комбайнов и причин появления их отказов;
- установление закономерностей безотказной работы узлов гидроприводов комбайнов в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации;
- выявление недостатков конструкций элементов, обусловленных проектированием и их изготовлением.

Решение поставленных задач позволяет разработать предложения для повышения показателей надежности гидроприводов на трех периодах их жизненного цикла.

Для совершенствования систем технических обслуживаний и ремонтов значительную роль играет прогнозирование технического состояния гидроприводов комбайнов, которое также невозможно осуществить, не имея достаточной информации, полученной при эксплуатации комбайнов в реальных условиях [52, 86]. ГОСТ [30] устанавливает, что надежность машин определяется, безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью.

Поэтому для обеспечения повышения надежности элементов гидроприводов необходимо прогнозирование этих показателей и прогнозирование закономерностей их изменения во времени.

Вопросы прогнозирования надежности гидроприводов комбайнов в настоящее время являются актуальными. Они имеют близкую связь с положениями теории надежности [38]. Прогнозирование надежности

обеспечивает обоснованное предсказание технических и эксплуатационных свойств устройства, основанное на критерии, выбор которых зависит от назначения этой устройства. Основным исполнительным средством прогнозирования является диагностика технического состояния, позволяющая отыскивать неисправности в начале их развития. Особенное значение прогнозирование имеет при эксплуатации высоконагруженных гидроприводов комбайнов, так как здесь нет возможности для ориентирования на произошедшие отказы.

Вопросы прогнозирования надежности решаются только при применении количественных оценок показателей надежности, получаемых с помощью экспериментальных исследований и статистической их обработки [44]. При сборе статистической информации об отказах исследуется определенная выборка гидроприводов комбайнов. классическая теория надежности позволяет определить показатели только при условии, что все гидроприводы отказали, для этого требуется достаточно большой промежуток времени как при эксплуатационных наблюдениях, так и при лабораторных испытаниях [4,23, 25].

1. Проблема обеспечения надежности проходческих комбайнов является актуальной на современном этапе развития горного машиностроения. Затраты при изготовлении элементов гидроприводов повышенной надежности будут возмещены при эксплуатации небольшим количеством затрат на текущие обслуживания и ремонты. Поэтому при выполнении проектных работ предусматриваются первоначальные значения надежности. Затем высокая надежность обуславливается качественным изготовлением изделия, а на этапе эксплуатации качественным уходом и использованием.

2. Предотвращением отказов занимается теория прогнозирования – прогностика, насчитывается свыше 150 различных методов прогнозирования. Прогностика - это научная дисциплина, изучающая поведение прогнозируемых систем в зависимости от изменения параметров структурных составных элементов систем. Знание прогнозных количественных показателей надежности

на определенный промежуток времени позволяет обоснованно планировать сроки и объемы технических мероприятий по поддержанию работоспособных состояний гидроприводов комбайнов. Поиск неисправностей элементов гидроприводов на ранней стадии их развития позволяет проводить своевременную диагностику.

3. Исследование надежности, разработку новых и совершенствование существующих гидроприводов комбайнов невозможно без применения современной компьютерной техники.

## **1.2 Причины появления отказов проходческих комбайнов**

Для оценки надежности гидроприводов комбайнов большое значение имеет выявление причин появления отказов. В соответствии формулировкой с ГОСТ [34]., отказ – это состояние при котором происходит нарушение работоспособности объекта. Понимание причин наступления отказов позволяет, определять влияние различных элементов гидросистем комбайна на надежность всей гидросистемы, а затем и надежность проходческого комбайна, выработать систему эффективного проведения поиска и устранения неисправностей, подготовить необходимые приспособления и подъемные механизмы для быстрого устранения появившихся технических разладов, планировать периодичность и количество ТОиР. Основными источниками такой информации являются анализы причин отказов на местах эксплуатации гидроприводов комбайнов при проведении технических обслуживаний и ремонтов и на ремонтных предприятиях при проведении средних и восстанавливающих ремонтов.

Причинами отказов элементов гидроприводов комбайнов является высокий уровень динамических нагрузок и вибраций, действующих на них от исполнительных органов, и качество технических обслуживаний и ремонтов.

Исследования Носенко В.В., Поминова К.П. и Рахутина М.Г. [77,89, 90,91,93,94], проведенные применительно к проходческим комбайном типа 1ГКПС, показали, что на отказы гидросистем этих проходческих комбайнов

приходится всего около 25% всех отказов всех систем комбайнов. Причем, как указывается в этих работах, наибольшее число отказов гидросистемы приходится:

- на рукава высокого давления (30-49,7%);
- гидроцилиндры (15,1-18,3%);
- гидрораспределители (9,5-16,5%);
- маслонасосы (19,5-23,2%).

Следует отметить, что опыт эксплуатации, экспертное оценивание и наши исследования [125 ] показали, что в комбайнах КСП-32 показатели числа отказов несколько иные. Отказы гидросистемы более частые, чем 25%. Это объясняется тем, что комбайны типа 1ГКПС – это комбайны устаревшего типа. Они предназначены для проходки выработок сечением от 7м<sup>2</sup> до 17м<sup>2</sup> по породам крепостью не более 70 МПа. Мощность привода исполнительного органа комбайна составляет всего 55 кВт, а его редуктор не очень надежный. Конструкция привода нагребующих лап крайне неудачная из-за того, что один электродвигатель через редуктор приводит в движение скребковую цепь конвейера, которая через сложный по конструкции и не очень надежный редуктор приводит в движение нагребующие лапы. Такая механическая часть комбайна имеет низкие показатели надежности, и количество отказов на механическую часть приходится больше, чем количество отказов приходится на механическую часть комбайна КСП-32.

Комбайны типа КСП-32 более совершенной конструкции. Предназначены для проходки выработок сечением от 8м<sup>2</sup> до 28м<sup>2</sup> по породам крепостью до 100 МПа. Мощность двигателя исполнительного органа составляет 110 кВт. Редуктор привода рабочего органа комбайна выполнен надежным с хорошими запасами прочности. Привод нагребующих лап (или звезд) осуществляется от высококомометных гидромоторов и поэтому более надежен.

Подводя итоги, можно сказать:

1. Отказы гидроприводов комбайнов возникают под воздействием механических и гидравлических факторов на их узлы и детали. К механическим

факторам относятся высокие нагрузки при разрушении горных пород, недостатки конструкций, изготовления и сборки. Отказы, произошедшие по причине гидравлических факторов, связаны с загрязнением рабочей жидкости.

2. Анализ отказов гидроприводов комбайнов позволил выявить наиболее аварийные узлы и детали. Распределение отказов зависит от назначения узлов и зависит от горно-геологических и горнотехнических условий, в частности, от крепости разрушаемой горной породы, а также от режимов и уровня обслуживания при эксплуатации. Причем гидроприводы комбайнов, эффективно эксплуатируемые в одних горно-геологических условиях, показывают низкую эксплуатационную надежность в других. Поэтому следует сделать вывод, что для изучения надежности ГП комбайнов необходимы дополнительные исследования.

3. Количество проведенных исследований в области надежности проходческих комбайнов явно недостаточно. Вместе с тем, процесс проектирования, изготовления, испытания опытных образцов и доведения их до серийного выпуска новых проходческих комбайнов является длительным, поэтому для повышения надежности машин целесообразно проводить исследования с целью повышения их надежности при эксплуатации.

### **1.3 Особенности конструкции и условия эксплуатации гидроприводов проходческих комбайнов**

Роль проходческих комбайнов в современной шахте непрерывно возрастает в связи с тем, что прослеживается тенденция перехода от буровзрывного к комбайновому способу проведения подготовительных выработок у. Наиболее массово проходческие комбайны стали вводиться в эксплуатацию в 70 и 80 годы прошлого века. По различным источникам в настоящее время в странах СНГ их насчитывается несколько тысяч комбайнов. При этом непременно проходческие комбайны должны быть высокопроизводительными и надежными. Гидравлическая система проходческого комбайна состоит из большого количества узлов и деталей, которые определяют

его надежность и работоспособность (смотри раздел 3).

Гидропривод включает 10 гидроцилиндров для комбайнов КСП-32 с прямыми конвейерами исполнения 20; 21. Второй вариант гидропривода включает 14 гидроцилиндров для комбайнов с подъемно-поворотными конвейерами исполнения 22.

Все гидроцилиндры [96], как указывается в руководстве по эксплуатации комбайна КСП-32 Ясиноватского машиностроительного завода, изготовленного в соответствии с ГОСТ[32], подразделяются на гидроцилиндры исполнительного органа. Из них два гидроцилиндра *подъема* - предназначены для подъема-опускания рабочего органа; два гидроцилиндра *телескопа* – предназначены для подачи вперед-назад исполнительного органа; два гидроцилиндра *поворота* – предназначены для поворота влево - вправо режущего органа; Гидроцилиндры питателя предназначены для подъема – опускания стола питателя, который служит и передней опорой. Два гидроцилиндра опор служат для выдвигания и втягивания гидроопор. Гидроцилиндры хвоста конвейера включают: два гидроцилиндра, которые предназначены для подъема – опускания конвейера и один гидроцилиндр служит для поворота конвейера. Все гидроцилиндры, кроме гидроцилиндров поворота исполнительного органа и поворота конвейера в гидравлической цепи содержат гидрозамки. По конструкции все гидроцилиндры однотипны и различаются только параметрами. Образец одного из гидроцилиндров приведен на рисунке 1.1.

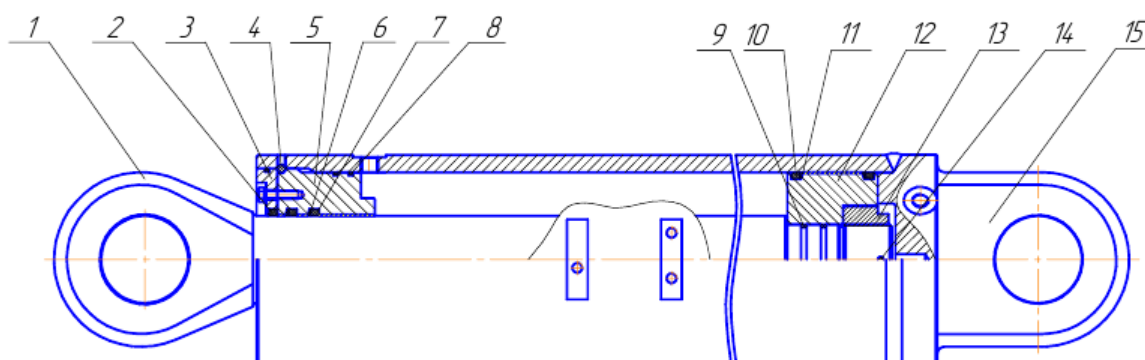




Рисунок 1.1 Гидроцилиндр проходческого комбайна КСП-32. 1- шток, 2 – чистильщик, 3 – крышка, 4 – кольцо запорное, 5- втулка, 6 – кольцо защитное, 7 – манжета, 8 – кольцо, 9 – кольцо, 10 – манжета, 11 – кольцо, 12 – поршень, 13 – гайка, 14 – шплинт, 15 – корпус.

В комбайнах КСП-32 в приводах нагребных лап (или звезд) и в приводах ходовых тележек вместо электродвигателей использованы гидромоторы ( см. рисунок 1.2).

Это прогрессивное конструктивное решение позволило устранить выходы из строя электродвигателей из-за погружения их в воду при перемещении через лужи и обводненные выработки. Так как электродвигатели приводов питателей и хода располагались очень близко к почве выработки (низко), то случаи их выхода из строя из-за погружения в воду наблюдались очень часто. Вторым преимуществом этого конструктивного решения явилось то, что в связи с применением высокомоментных гидромоторов с низкой номинальной частотой вращения, редукторы нагребных лап и хода стали менее громоздкими и металлоемкими, что также привело к повышению их надежности.

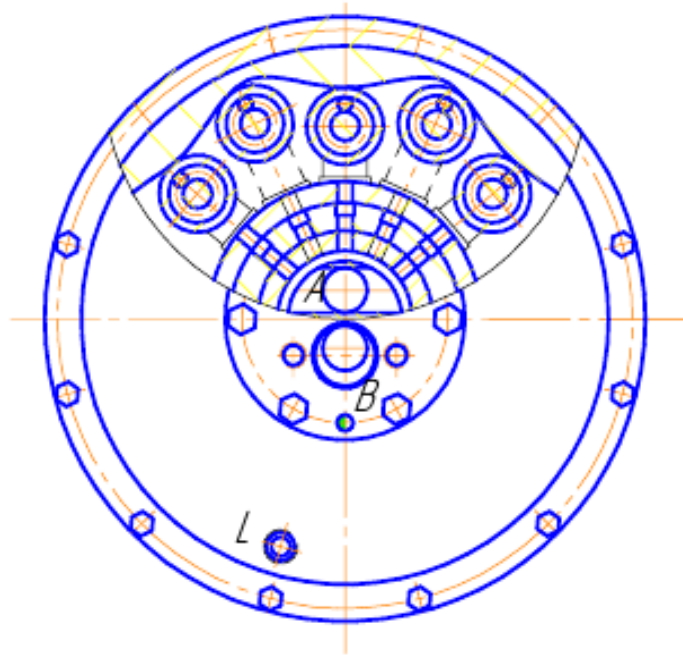


Рисунок 1.2 Гидромотор

В системе управления гидравлической системы используются электрогидрораспределители, объединенные в два блока, и силовые распределители, объединенные в гидроблоки по три распределителя. На рисунке 1.3 приведен золотниковый гидрораспределитель.

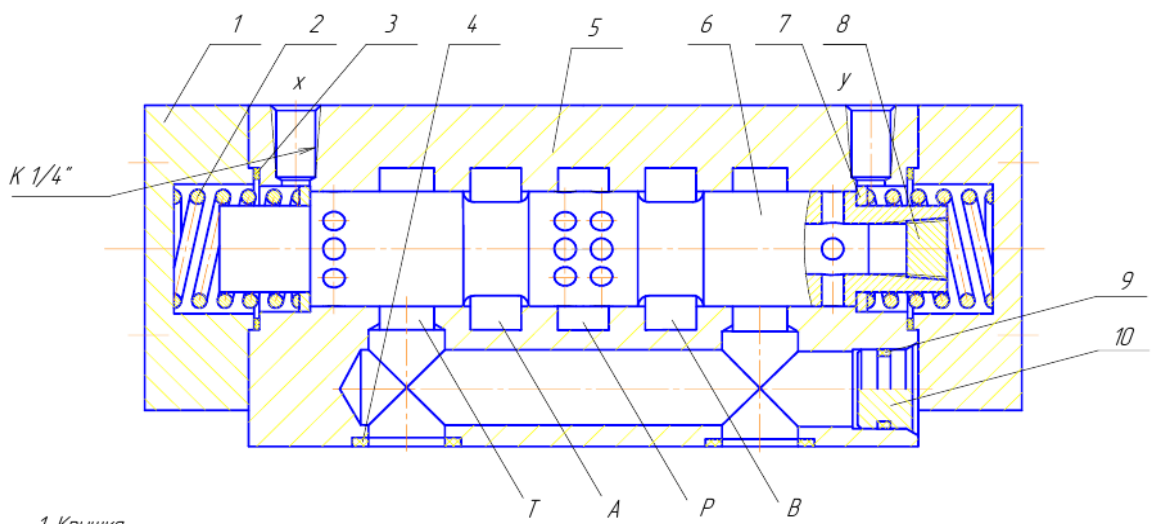


Рисунок 1.3 Гидрораспределитель. 1 – крышка, 2 – пружина, 3 – кольцо, 4 – кольцо, 5 – корпус, 6 – золотник, 7 – шайба, 8 – пробка, 9 – кольцо, 10 – заглушка.

Кроме потребителей гидравлической энергии и распределителей в

гидросистеме комбайна имеется гидроагрегат, представляющий бак с пятью насосами, из которых один насос аксиально-поршневой и четыре насоса шестеренчатые (смотри рисунок 1.4 и рисунок 1.5.).

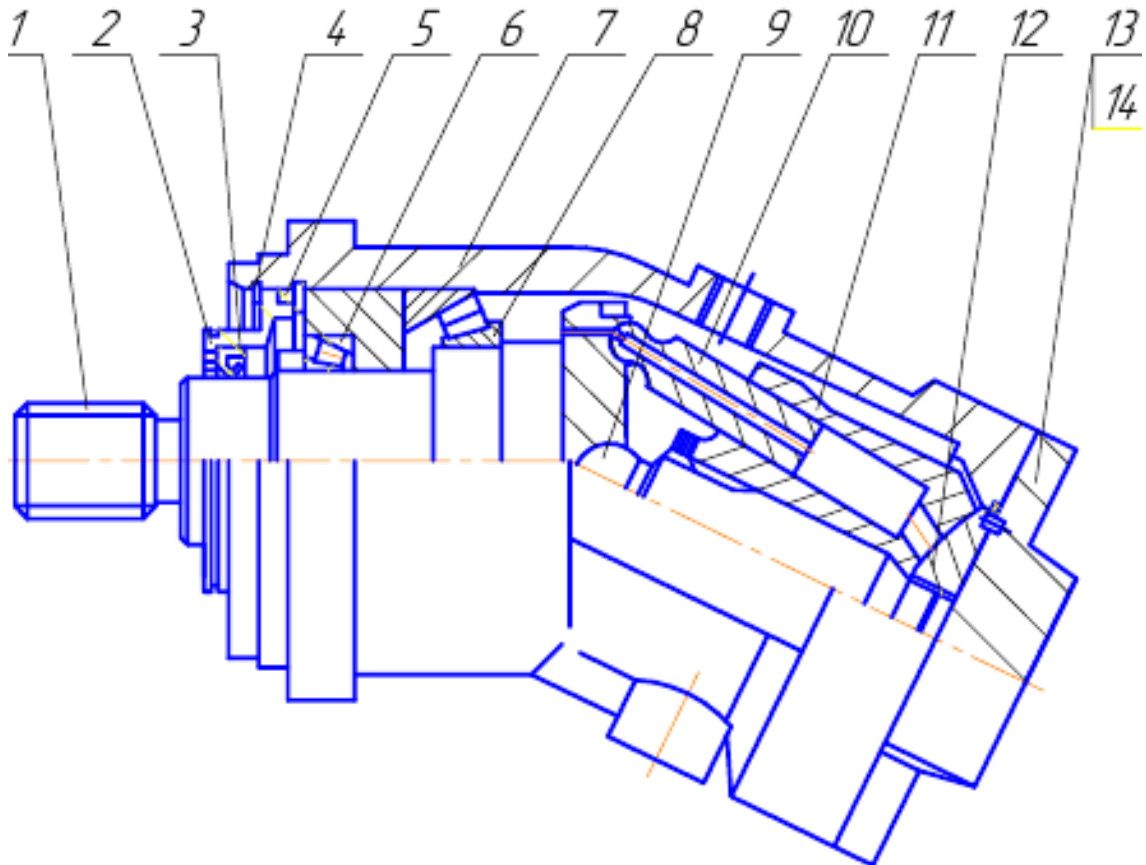


Рисунок 1.4 Аксиально – поршневой насос. 1 – вал приводной, 2 – крышка, 3 – манжета, 4 – кольцо стопорное, 5 – кольцо резиновое, 6 – подшипник, 7 – корпус, 8 – подшипник, 9 – шип, 10 – поршень, 11 – блок цилиндров, 12 – распределитель, 13 – кольцо резиновое, 14 – крышка.

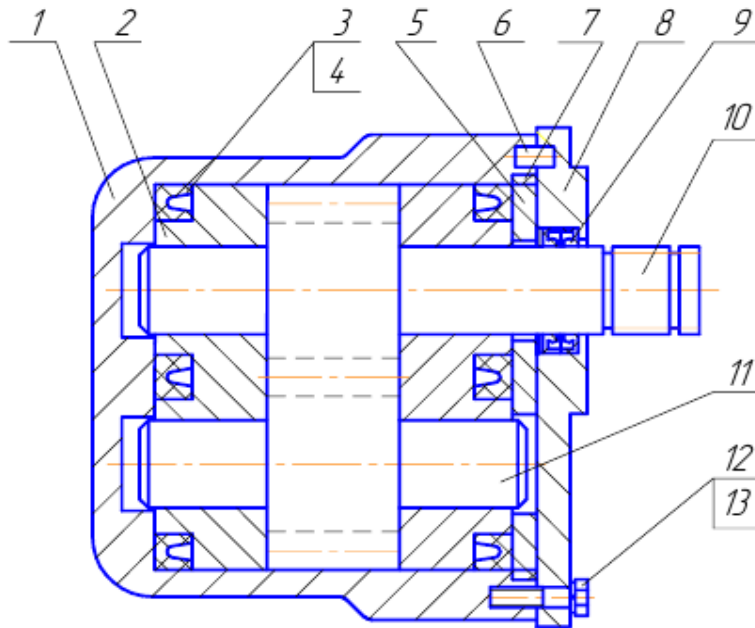


Рисунок 1.5. Насос шестеренчатый. 1 – корпус, 2 – подшипник, 3 – уплотнение специальное, 4 – пластина защитная, 5 – пластина, 6 – штифт, 7- кольцо, 8 - крышка, 9 – манжета, 10 – ведущая шестерня, 11 – ведомая шестерня, 12 - болт, 13 – шайба.

Кроме приведенных выше элементов гидроприводов в гидросистеме имеется большое количество обратных клапанов, гидрозамков, предохранительных клапанов, трубопроводов стальных, рукавов высокого давления, сливных рукавов, фильтров и других элементов.

Отказ любого из элементов ведет к вынужденному простоя проходческого комбайна, а соответственно к финансовым потерям горнодобывающего предприятия.

Для повышения надежности проходческих комбайнов избирательного действия, необходимо четко представлять особенности конструкции и горно-геологические условия, в которых они эксплуатируются.

Все проходческие комбайны вне зависимости от крепости горной породы и сечений проводимых выработок эксплуатируются в циклических режимах. Циклы состоят из периодов разрушения горной породы и погрузки ее в транспортные средства, затем следует остановки, во время которых производятся возведения

арочной крепи, наращивания транспортных коммуникаций, трубопроводов местного проветривания выработок. Затем опять следует период разрушения горной породы с погрузкой ее в транспортные средства. Количество и длительность таких циклов зависит от многих факторов: от типа комбайнов, крепости горной породы, сечений проходимых выработок.

От крепости горных пород зависит значение давления рабочей жидкости в гидравлических подсистемах комбайна, которое обеспечивает перемещение исполнительного органа в плоскости забоя и скорость перемещения исполнительного органа. Сечения и формы проходимых выработок также влияют на временные режимы нагрузки подсистем гидропривода, и определяют число переключений распределителей. Наблюдения показали [37], с увеличением крепости разрушаемой горной породы проходческие комбайны, эксплуатируются в более нагруженном режиме и это влияет на надежность элементов гидроприводов.

Из вышесказанного следует, что режимы работы элементов гидросистем проходческих комбайнов работающих в различных горно-геологических и горнотехнических условиях, также будут различными.

В таблице 1.1 представлены результаты исследований работы проходческих комбайнов Петрушкина Г.В. [83] при работе на различных шахтах с различными горно-геологическими условиями.

Таблица 1.1. Машинное время проходческих комбайнов при работе в различных горно-геологических условиях

№ п/п	Шахта, объединение	Наименование выработки	Сечение выработки, м <sup>2</sup>	Крепость Породы по Протодаккону	Подвигание забоя м/смен	Машинное время, %
1	им.Е.Т.Абакумова,	3-й западный конвейерный штрек	11,3	3-4	2,1-4,9	15-46
2	- «-« -«	1-й коренной штрек	14,6	До 5	2,1-3,4	23-47
3	«Терновская», «Павлоградуголь»	617 бортовой штрек	11,0	до 3	6,2-9,0	37-52
4	«Самарская», «Павлоградуголь»	419 сборный штрек	12	до 3	3,2-4,8	21-40
5	«Благодатная», «Павлоградуголь»	735 сборный штрек	12	до 3	5,0-9,0	15-39

Данные, представленные в таблице 1.1 показывают, что машинное время (или часто используемый термин «продолжительность включения») изменяются в значительных пределах - от 15% до 52%. При этом число переключений электрогидрораспределителей и гидрораспределителей, управляющих перемещениями режущих органов очень велико, что приводит к их износу и усложняет работу всех элементов гидравлических систем проходческих комбайнов.

Грамотный выбор гидроприводов комбайнов является одним из этапов обеспечения надежной работы проходческих комбайнов [58-60].

Отличительной особенностью гидроприводов комбайнов типа КСП-32 от других типов проходческих комбайнов является значительная степень гидрофикации комбайнов, поэтому к имеющимся гидроприводам комбайнов

предъявляются повышенные требования в периодическом их техническом обслуживании и ремонте.

Параметры надежности при проектировании проходческих комбайнов регламентируются техническими условиями на каждый типоразмер машин [64, 65].

Подводя итоги, можно отметить:

1. Огромное значение в обеспечении надежности на начальном этапе эксплуатации зависит от грамотного выбора характеристик гидроприводов комбайнов, к которым относятся используемые в дальнейшем для проектирования гидропривода проходческого комбайна.

2. Основными отличительными особенностями гидроприводов комбайнов типа КСП-32 от других проходческих комбайнов является повышенная гидрофикация конструкции комбайнов.

3. Параметры надежности при проектировании проходческих комбайнов регламентируются техническими условиями на каждый тип машины каждый типоразмер.

#### **1.4 Методы моделирования надежности проходческих комбайнов**

Разработанные в научных трудах Карпухина В.Д., Леусенко Е.А., Лозовского В.Н. и Лоханина К.А. [66, 67, 68, 74] для определения значений параметров надежности различных машин и устройств предлагается большое количество методов, которые предлагается разделить на три группы: вероятностно-статистические, физико-статистические и структурные методы. Проходческие комбайны являются надсистемами, состоящими из механических, гидравлических и электрических систем, которые соответственно состоят из подсистем. Подсистемы в свою очередь включают в себя агрегаты, узлы и другие элементы. В этой связи, отмеченные выше методы также применимы для рассмотрения их надежности. Причем точность оценки количественных показателей зависит от корректного выбора метода.

**Вероятностно-статистические методы моделирования** предполагают применение аппарата математической статистики и теории вероятности. Они основаны на изучении статистических данных об отказах проходческих комбайнов, предусматривают их сбор и обработку. Затем данные об отказах подлежат аппроксимации, и выбирается наиболее приемлемая модель надежности гидроприводов комбайнов. Степени износов узлов и деталей не рассматриваются, учитываются лишь наличие отказов. Такие пассивные экспериментальные исследования проводятся в представительных горно-геологических и горнотехнических условиях на комбайнах с одинаковыми конструкциями с одинаковыми параметрами и использовать близкие по содержанию методики ТОиР. Этот подход содержит один существенный недостаток - требуют значительный период для пассивных экспериментальных исследований при их эксплуатации. Для сокращения времени на исследования часто используются методы ускоренных испытаний.

Недостатки вероятностно-статистических методов заключаются в том, что они не учитывают причины отказов, и поэтому возможны значительные погрешности при применении этих методов.

При эксплуатации проходческих комбайнов на них воздействуют внешние факторы, условия и внутренние динамические факторы. В зависимости от воздействия этих факторов, скорость износа деталей и старение резинотехнических изделий увеличиваются. Поэтому изменяются и показатели надежности гидроприводов.

**Физико-статистические методы моделирования предназначены** для установления функциональных связей между физическими и химическими воздействиями, происходящими внутри примененных материалов и надежностью узлов гидроприводов комбайнов [81]. Для обеспечения представительности рассматриваемых физических моделей отказов сравнивают закономерности, представленные в виде уравнений о физических процессах, происходящих внутри использованных материалов, и обработанные данные экспериментальных



исследований

**Структурные методы моделирования – эти методы применяются для проверки единства теоретических положений, гипотез и сложных структур.** Используются они преимущественно при проектировании сложных технических систем [83, 84] со значительным числом агрегатов, узлов и деталей. Структурное моделирование и анализ структуры позволяет дать оценку надежности отдельных составляющих систему подсистем, агрегатов, узлов и деталей, сравнить их влияние на надежность системы и выявить ее наиболее нагруженные элементы. Результаты структурного моделирования могут затем использоваться для совершенствования и модернизации структуры технической системы.

Анализ методов моделирования надежности позволил выявить следующее: для оценки надежности ГП комбайнов избирательного действия целесообразно на первом этапе использовать вероятностно-статистические методы, так как они дают точные оценки количественных показателей надежности.

Регламентированы ГОСТ [35] и широко применяются в настоящее время методы оценки для наиболее распространенных законов распределения.

Очень часто используется метод наименьших квадратов. Сначала при применении этого метода приводят уравнения к линейному виду. Затем находят значения распределения законов при минимуме суммы квадратов отклонений.

Широкое распространение получил критерий К. Пирсона (хи-квадрат) [99]. Суть метода заключается в сравнении экспериментальных и теоретических распределения отказов

В заключении отметим:

1. Для моделирования надежности проходческих комбайновых гидроприводов при имеющейся информации об отказах, наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Они являются более простыми по сравнению с физико-статистическими методами, но в тоже время, дают точные оценки показателей надежности.

2. Структурное моделирование и анализ структуры позволяет дать оценку надежности отдельных составляющих систему подсистем, агрегатов, узлов и

деталей, сравнить их влияние на надежность системы и выявить ее наиболее нагруженные

2. Непараметрические методы используются в тех случаях когда закон распределения случайной величины заранее не известен. Они просты в применении, но точность их вычислений не всегда достаточная, поэтому для оценки надежности гидроприводов комбайнов применение их не желательно.

3. Из всего перечня параметрических методов наиболее исследованным и применяемым представляется метод максимального правдоподобия. Метод наименьших квадратов является достаточно точным, имеет громоздкие уравнения и предполагает использование ЭВМ, что на современном этапе развития компьютерной техники не составляет большой проблемы.

### **1.5 Существующие системы технического обслуживания и ремонта проходческих комбайнов**

Высокие показатели надежности проходческих комбайнов при вводе их в работу еще не обеспечивают такие показатели на протяжении всего периода их эксплуатации. Это происходит по причине воздействия на них механических нагрузок при разрушении горных пород и агрессивной шахтной среды. С течением времени детали этих машин подвергаются износу, а резинотехнические элементы подвергаются старению. Эти изношенные элементы способствуют изменению характеристик подсистем и входящих в них узлов, что приводит, в конце концов, к отказам. В связи с этим огромную важность приобретает проведение различных мероприятий для своевременного предупреждения и оперативного устранения возможных отказов и неисправностей, то есть применение эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта, позволяющей повысить уровень надежности гидроприводов комбайнов на всех этапах их эксплуатации [84].

Капитальный ремонт комбайнов связан, как правило, с заменой основных узлов комбайнов, но при этом также выполняются работы замене уплотнений и

других изнашиваемых элементов машин. Ресурс комбайнов после капитального ремонта восстанавливается близко к первоначальным показателям. Капитальный ремонт, как правило, выполняют ремонтные предприятия и ремонтные заводы. Это приводит к длительному выходу из эксплуатации комбайнов.

В настоящее время существуют следующие стратегии технических обслуживаний и ремонтов, которые имеют свои области применения, а также имеют достоинства и недостатки.

**Стратегия ремонтов после отказов** используется при эксплуатации на технологическом участке большого количества простых по конструкции и недорогих машин, которые могут заменять друг друга в случае выхода какой-то машины из строя. Эти машины эксплуатируются до выхода из работоспособного состояния, то есть до отказа. Затраты при применении данной стратегии небольшие, и поэтому применение ее в указанных случаях экономически оправдано.

**Стратегия планово-предупредительных ремонтов** предназначена обеспечивать надежную работу машин за счет регламентированной замены узлов и деталей по календарным графикам, устанавливаемым заводами изготовителями оборудования. Заводы изготовители устанавливают значения нормативов замен узлов и деталей, который предполагает замену не только предаварийных элементов, отработавших свой ресурс, а также замену других элементов, еще не отработавших свой ресурс. Следовательно, данная стратегия требует больших трудовых и материальных затрат, но при этом не исключается возможность возникновения внезапных отказов.

**Стратегия ремонтов по техническому состоянию.** По этой стратегии Тои Р состояние машин и механизмов контролируется непрерывно встроенными приборами для диагностики или периодически. В зависимости от показаний диагностики прогнозируется состояние агрегатов, узлов и деталей, поэтому обслуживания и ремонты проводятся с экономической и технической точки зрения в оптимальные сроки, в достаточных объемах. Это становится возможным

благодаря знанию фактического состояния оборудования, что . Это позволяет значительно уменьшить объемы ремонтов и обеспечить работу машин без аварий.

Следует отметить, что стратегия ППР является в настоящее наиболее используемой. Для предупреждения преждевременного и случайного выхода объектов из строя разрабатываются годовые и месячные графики поддерживающих мероприятий, которые действуют на протяжении всей эксплуатации, основой для которых служат рекомендации заводов-изготовителей, требования к техническому состоянию и безопасности эксплуатации, указанные в нормативно-технической документации на каждый конкретный тип узлов. Одновременно с планированием сроков ремонтных работ устанавливается их объемы, а также учитываются горно-геологические условия шахты и возможные отклонения режимов нагруженности гидроприводов комбайнов от нормальных режимов работы.

Система ППР предусматривает проведение с определенной периодичностью текущего обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР), среднего ремонта (СР) и капитального ремонта (КР), отличающихся объемом проводимых работ. ТО представляет собой профилактические мероприятия для поддержания гидроприводов комбайнов в работоспособном состоянии.

В качестве недостатков системы ППР следует отметить следующее – эта система сопровождается необоснованно большим количеством плановых ремонтов и обслуживаний. Поскольку сведения, полученные при дефектации узлов во время ремонтов и их диагностике, при проведении ТО не используется в дальнейшем для корректировки разработанных графиков, что экономически не целесообразно. Планы-графики устанавливают усредненные значения межремонтных периодов, а фактическое техническое состояние каждого гидропривода комбайна остается неучтенным.

Для использования системы ТОиР по текущему состоянию необходимо учитывать финансовые и трудовые затраты. Поскольку контроль технического состояния систем, подсистем и элементов гидроприводов может осуществляться

как при постоянном, так и при дискретном диагностировании, что требует:

- встроенных в конструкции комбайнов приборов, контролирующих и регистрирующих состояние машины, что пока не является распространенным явлением в гидроприводах комбайнов;

- обученных работников способных определять нынешнее техническое состояние комбайнов и предполагать его состояние в перспективе.

Система ТОиР по текущему состоянию предусматривает проведение следующих видов работ:

- плановых технических обслуживаний по мере выработки ресурсов;
- текущих ремонтов, объем и периодичность которых, меняется в зависимости от информации, поступившей в процессе эксплуатации;
- капитального ремонта, при достижении предельного состояния, то есть при вероятности безотказной работы ниже установленного уровня.

Еще одним условием для применения такой стратегии является прогнозирование технического состояния объектов во времени. То есть при каждом ТР и ТО на основе сведений, полученных средствами диагностики и информации об обнаруженных дефектах оценивается техническое состояние объекта и прогнозируется на некоторый период времени вперед.

Любое производственное объединение и любая шахта имеет выбрать любую стратегию ТОиР, но для определения наиболее эффективной необходимо провести анализ организаций ремонтов.

Из вышеприведенного анализа систем ТОиР, следует, что:

1. Для сохранения достаточно высоких значений показателей надежности гидроприводов комбайнов во время всего периода эксплуатации требуется выполнять перечень работ, необходимых выполнения в требуемые сроки мероприятий по предупреждению и быстрому устранению возникших отказов. Любое производственное объединение и любая шахта имеет выбрать любую стратегию ТОиР, но для определения наиболее эффективной необходимо провести анализ систем организации ТО и Р.

2. В настоящее время значительно чаще применяется ППР, который обеспечивают высокие показатели надежности гидроприводов при их эксплуатации. К недостаткам системы ППР следует отнести то, что эта система сопровождается необоснованно большим количеством плановых ремонтов и обслуживаний

3. Для перехода на стратегию ТОиР по техническому состоянию гидроприводов комбайнов необходима эффективная система сбора информации, наличие современных средств диагностики о техническом состоянии подсистем гидроприводов, планирование сроков и объемов технических мероприятий по техническому обслуживанию и ремонтам. Подбор наиболее приемлемой системы ТОиР следует выполнять с учетом функций, выполняемых подсистемами гидравлических систем проходческих комбайнов, так как назначение подсистем, тяжелые динамически нагруженные режимы их работы, высокая запыленность воздуха в подготовительных забоях, агрессивные шахтные воды, недостаточное и некачественное техническое обслуживание, а также некачественный ремонт оказывают существенное воздействие на возникновение различного вида отказов. Следует отметить, что разработка ТОиР, возможна на сочетании различных систем обслуживания.

### **1.6 Постановка задач исследования**

В результате анализа литературных источников о надежности горнопроходческих машин и о методах определения показателей надежности было выявлено, что надежность ГП комбайнов избирательного действия отражена в них не достаточно полно, а повышение надежности элементов ГП комбайнов является актуальной задачей.

В этой связи поставлены задачи исследования:

**Задачи, которые следует решить для выполнения поставленной цели:**

1. Собрать экспериментальные данные об отказах элементов ГП комбайнов с использованием системного подхода и системного анализа. Выяснить влияние

отказов элементов на подсистемы гидропривода и системы в целом для повышения надежности и производительности проходческих комбайнов.

2. Экспериментальные данные о надежности гидроприводов проходческих комбайнов, полученные в реальных шахтных условиях эксплуатации, использовать для установления статистических закономерностей наработок между отказами и времени восстановления.

4. Определить численные значения показателей надежности узлов гидроприводов проходческих комбайнов, используя данные, полученные при проведении экспериментальных исследований, необходимые для разработки методики прогнозирования надежности.

5. Разработать методику прогнозирования надежности, используя полученные зависимости и закономерности оценок показателей надежности ГП проходческих комбайнов, позволяющей определить рациональные периоды между обслуживанием и ремонтами ГП проходческих комбайнов.

6. Установить рациональный состав запасных частей для ремонта ГП комбайнов избирательного действия и места их хранения для оперативной доставки к местам ремонта.

7. Повысить ремонтпригодность ГП комбайнов в шахтных условиях, а также ремонтпригодность, обеспечивающая снижение затрат на восстановление их узлов и деталей на ремонтных предприятиях.

## **1.7 Выводы**

1. Проблема обеспечения надежности проходческих комбайнов является актуальной на современном этапе развития горной техники. Так как в настоящее время создаются комбайны с повышенной производительностью, более высокой энерговооруженностью приводов исполнительных органов, расширенной областью применения на более крепкие горные породы, которые ранее проходились только буровзрывным способом. Однако, при этом происходит

увеличение динамических и статических нагрузок на системы комбайнов, что приводит к снижению показателей их надежности. На первом этапе жизненного цикла, задача повышения надежности гидроприводов комбайнов начинается при их проектировании.

2. Процесс проектирования и внедрения новых серийных комбайнов является длительным и для повышения надежности уже существующих машин целесообразно проводить исследование их надежности. Наибольшую заботу обычно предоставляется надежности гидроприводам комбайнов при минимальных значениях остаточного ресурса.

3. Изучение прогнозных значений оценок надежности на некоторый предстоящий период обеспечивает возможность обоснованного планирования сроков и объемов технических обслуживаний и ремонтов гидроприводов комбайнов.

4. Отказы гидроприводы комбайнов возникают под воздействием механических и гидравлических факторов на их узлы и детали. К механическим факторам относятся изъяны изготовления на машиностроительном заводе и недостатки монтажа в монтажной камере в подземных условиях. Отказы, произошедшие по причине гидравлических факторов, в основном связаны с загрязнением рабочей жидкости.

5. Изучение отказов гидроприводов комбайнов, позволил выявить наиболее ненадежные их элементы. Причем гидроприводы комбайнов, эффективно эксплуатируемые в одних горно-геологических и горнотехнических условиях, а в других показывают низкую надежность. Поэтому следует сделать вывод, что для изучения надежности ГП комбайнов необходимы дополнительные исследования.

6. Для моделирования надежности проходческих комбайновых гидроприводов при имеющейся информации об отказах, наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Эти методы являются менее сложными при сопоставлении с физико-статистическими методами, но обеспечивают более достоверные оценки показателей надежности. Структурные



методы моделирования, в основном, применяются при проектировании сложных систем со значительным числом элементов. Они дают предварительную оценку надежности, необходимую для своевременной доработки изделий. Поэтому структурные методы не нашли применения при моделировании эксплуатационной надежности гидроприводов комбайнов.

7. Из списка параметрических методов наиболее применяемыми является метод максимального правдоподобия. Более простыми, и соответственно, менее точными методами считаются методы Менона, квантилей и моментов. Метод наименьших квадратов является достаточно точным, имеет громоздкие уравнения и предполагает использование ЭВМ, что на современном этапе развития компьютерной техники не составляет большой проблемы.

8. Для поддержания высокого уровня надежности гидроприводы комбайнов на протяжении всей эксплуатации необходимо проведение различных мероприятий для своевременного предупреждения и оперативного устранения возможных отказов и неисправностей. Выбор стратегии ТОиР, которая предназначена обеспечить высокую надежность гидроприводов комбайнов принадлежит угледобывающим предприятиям.

9. Наиболее распространенной стратегией ТОиР является планово-предупредительный ремонт, который гарантирует надежную эксплуатацию узлов путем обнаружения дефектов до того, как произойдет отказ, но в то же время имеет высокий вес плановых ремонтов, зачастую проводимых необоснованно.

10. Для перехода на стратегию ТОиР по техническому состоянию гидроприводов комбайнов необходима эффективная система сбора эксплуатационной информации, подготовленный персонал, умеющий оценивать информацию и использовать ее в дальнейшем для планирования сроков и объемов технических мероприятий и наличие современных средств диагностики, позволяющих оценить техническое состояние не останавливая оборудование и не проводя разборку самих узлов.

11. Выбор стратегии ТОиР наиболее подходящей для обеспечения и

повышения надежности проходческих комбайновых гидроприводов необходимо проводить, учитывая их назначение. Возможно создание предложений по улучшению текущих обслуживаний и ремонтов, которые основываются одновременно на нескольких смешанных стратегиях. Поэтому следует провести экспериментальные исследования с целью получения информации об отказах гидроприводов комбайнов при их эксплуатации, так как сейчас отсутствуют достаточные сведения об отказах гидроприводов комбайнов.

12.Необходимой также является разработка методики оценки показателей надежности гидроприводов комбайнов, дающей возможность взвешивать и давать оценку их надежности. Численные оценки показателей надежности обеспечат разработку предложений по совершенствованию технических обслуживаний и ремонтов гидроприводов.

## **2.РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГП КОМБАЙНОВ**

*(Результаты исследований, приведенных в настоящем разделе, опубликованы автором диссертации в работах [123,126]).*

### **2.1 Основные направления в обеспечении надежности ГП комбайнов со стреловидными исполнительными органами**

Исследования надежности ГП комбайнов проводятся для разработки мероприятий и рекомендаций по обеспечению высокой надежности использования гидравлических систем в частности и проходческих комбайнов в целом. При этом необходимо учитывать возможность снижения материальных и трудовых затрат на восстановление и поддержание в работоспособном состоянии элементов гидроприводов комбайнов. Поэтому необходимо в первую очередь установить перечень систем, подсистем и узлов проходческого комбайна, наиболее существенно влияющих на его надежность. Проходческий комбайн является системой и не стоит исследовать надежность отдельных элементов обособленно от других элементов. Для решения подобных задач можно использовать системный подход и системный анализ, которые позволяют использовать разукрупнение исследуемого комбайна и определять уровень влияния систем, подсистем и отдельных элементов на общую надежность проходческого комбайна. При этом также облегчается сбор данных при эксплуатации о вышедших из строя элементов комбайна. Использование структурной схемы проходческого комбайна дает возможность определить значимость каждого его элемента методом экспертных оценок [97,108]. Данные по количеству отказов элементов гидроприводов не является достаточной информацией о надежности.

Большое значение имеет и время восстановления. Так элементы со значительным числом отказов могут быть восстановлены в короткое время, а

отказы других составляющих узлов гидроприводов комбайнов могут привести большим простоям комбайнов, хотя они происходят намного реже. Еще одним важным фактором является финансовые затраты на ремонтные работы.

При подготовке группы экспертов нужно выработать четкое представление для решения, каких вопросов будут использоваться результаты экспертизы. И определить количественный и качественный состав группы экспертов. Так в работе [7] предлагается оптимальный численный состав экспертов для проведения эффективных экспертиз принимать в количестве 5 – 12 человек. Далее формулируются вопросы для каждого уровня целей.

Для получения достоверной информации исследования должны проводиться в представительных горно-геологических и горнотехнических условиях. Необходимо установление влияния гидравлических и механических причин приводящих к отказам элементов гидроприводов комбайнов. Исключение, по возможности, их действия приведет к повышению надежности гидроприводов комбайнов.

Следующим этапом должен являться выбор и определение показателей, необходимых для оценки надежности проходческих комбайнов, которые являются восстанавливаемыми системами, в которых вышедший из строя элемент ремонтируется или заменяется новым. Такими показателями могут являться показатели *безотказности* (вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, наработка между отказами, средняя наработка между отказами), показатели *долговечности* (ресурс до капитального ремонта) и *ремонтпригодности* (среднее время восстановления, вероятность восстановления, интенсивность восстановления), а также комплексные показатели надежности (коэффициент готовности, коэффициент технического использования) [25].

Автором выявлено, что в настоящее время сбор эксплуатационной информации о гидроприводах проходческих комбайнов при эксплуатации их на шахтах практически не проводится. В журналах диспетчерских и механических

служб шахт ежедневно фиксируется время всех остановок проходческого комбайна, их причины и проведенные работы, вне зависимости от вышедшего из строя элемента. Записанная информация в большей степени зависит от обязательности и квалификации персонала. Конкретную информацию можно получить только после более детального осмотра вышедших из строя элементов гидроприводов комбайнов механиком. При сборе информации фиксировалось точное время работы гидроприводов комбайнов. Разнообразие отказов характеризуются различными законами распределения. Объективный выбор закона распределения (нормального, логнормального, экспоненциального, Вейбулла и др.) осуществляется путем формирования экспериментальных данных, состоящих из наработок между отказами и расчета коэффициентов сходимости, показывающего степень согласия теоретического и эмпирического распределений.

Ввод проходческих комбайнов в эксплуатацию происходит по мере необходимости проведения подготовительных выработок на различных шахтах и в различных производственных объединениях. Поэтому принято решение сформировать выборку гидроприводов комбайнов, имеющих различные даты начала работы.

Подводя итог, следует отметить, что гидроприводы необходимо рассматривать не изолированно, а как элементы проходческого комбайна, представляющего собой систему.

Структурная схема надёжности системы проходческого комбайна — это графическое изображение (дерево целей, блок-схема, графы и т.п.) взаимосвязи систем комбайна, подсистем, и отдельных элементов подсистем. Дерево целей строится на основе структурного анализа надёжности проходческого комбайна. Структурный анализ надёжности состоит в выяснении влияния отказов элементов на работоспособность всей системы.

Только так можно оценить надёжность гидроприводов комбайнов, выявить недостатки их эксплуатации, откорректировать периодичность и трудоемкость

текущего обслуживания и ремонта, подготовить материально-техническую базу, уменьшить длительность простоя комбайнов и снизить финансовые затраты.

## **2.2 Структурная модель надежности проходческого комбайна типа КСП-32**

При повышении надежности проходческих комбайнов улучшается их использование во времени, так как сокращаются простои оборудования всего проходческого комплекса проходческого участка из-за отказов, приводящих к потерям рабочего времени, необходимого для производства ремонтов, и кроме этого к потерям рабочего времени, необходимого для производства технического и профилактического обслуживания. Необходимость производства ремонтов и обслуживания приводит к значительным экономическим потерям во время эксплуатации оборудования.

В процессе эксплуатации проходческие комбайны подвергаются различным видам нагрузок: механическим, термическим, вибрационным, химическим воздействиям и другим видам нагрузок, которые носят случайный статический и динамический характер и под воздействием которых в материалах конструкций накапливающиеся усталостные повреждения, приводящие к их структурным изменениям. При этом происходит также абразивный износ сопрягаемых деталей и узлов. Различные неблагоприятные условия работы проходческих комбайнов в виде повышенной влажности воздуха в проходческом забое, кислотных и щелочных воздействий в ходе эксплуатации, которые обусловлены наличием кислот и щелочей в шахтных водах, приводят к коррозионному повреждению поверхностей деталей и их защитных покрытий, а также к другим изменениям состояния узлов и деталей комбайнов.

В конструкции проходческих комбайнов входят различные блоки: механические, гидравлические, электрические, блоки управления и др. [25, 69]. Следовательно, комбайны можно рассматривать как технические устройства,

которые имеют признаки систем, таких как наличие иерархии, множества входов и выходов, взаимодействие элементов, связь между элементами, оценка результатов эксплуатации, принятие конструктивных и управленческих решений, изменение состояний.

Все это обуславливает применение системного подхода при решении практических задач по повышению надежности проходческих комбайнов. Причем вместе со всем набором средств теории систем: вычислительной техники, теории вероятностей и математической статистики, теории информации, теории игр и решений, теории графов и сетей, факторного анализа, теории операций, экспертных оценок, эргономики, системотехники, теории множеств и теории оптимизации [21].

Системный подход [8] позволяет учесть такие факторы, как случайность событий, конфликтность конструктивных решений, неоднозначность состояния сложных объектов, автоматическое действие средств защиты и управления, и определяет по существу комплексный подход к проблеме повышения надежности как самих проходческих комбайнов, так и проходческих комплексов проходческих забоев.

Системный подход – это подход, при котором любая система (объект) рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (компонентов), имеющая выход (цель), вход (ресурсы), связь с внешней средой, обратную связь [9, 17, 19]. Это подход к исследованию процессов, происходящих в природе, в обществе, в сложных технических устройствах [132, 138, 139]. В общем случае под системой понимается целостные множества объектов, связанные между собой взаимными отношениями. Его сущность состоит в реализации требований общей теории систем, согласно которой каждый объект при его исследовании должен рассматриваться как система и одновременно как элемент более общей системы [8].

Как известно, системный подход при исследовании, разработке, модернизации и проектировании технических объектов (машин, комплексов

машин) называют системотехникой [9]. Согласно теории системного анализа в технике (системотехники) создается абстрактная и концептуальная система, описываемая с помощью символов или других средств, представляющая собой определенное структурно-логическое устройство, цель которого – служить инструментом понимания, описания и возможно более полной оптимизации поведения связей и отношений элементов реальной системы. Здесь термин «анализ» используется для характеристики самой процедуры исследования, которая состоит в том, чтобы разделить проблему на составляющие части, более доступные для решения, использовать наиболее подходящие специальные методы для построения отдельных подпроблем, объединить их так, чтобы найти оптимальное решение.

Системный подход [21, 26, 48] ориентирует исследователей на раскрытие целостности объекта, на выявление многообразных связей и сведение их в единую теоретическую картину. При исследовании любого объекта или явления необходим системный подход, который возможно представить в виде последовательности следующих этапов: выделение объекта исследования из общей массы явлений, объектов; составление математической модели системы; выбор критериев оптимизации решаемой задачи, решение задачи.

В работах кафедры «Горные машины» Донецкого национального технического университета широко использовался системный анализ и системный подход как в учебном процессе [25], так и при проведении научно-исследовательских работ [120,121].

Современный проходческий комбайн – сложная машина, состоящая из примерно 5 тыс. деталей, в том числе в гидравлическом приводе комбайна около 2 тыс. деталей. Поэтому проходческий комбайн необходимо рассматривать как техническую систему, которая состоит из совокупности технических узлов, устройств управления и контроля (элементов), предназначенных для выполнения определенных функций. При этом элементы – составные части системы (рисунок 2. 1). Рассматриваемый проходческий комбайн со стреловидным исполнительным



органом [96] – сложная система, состоящая из: исполнительного органа 1; гидроцилиндров телескопа исполнительного органа на забой 2; привода исполнительного органа 3; гидроцилиндров подъема исполнительного органа 4; гидроцилиндров поворота исполнительного органа 5; насосной станции 6; конвейера 7; опорных гидроцилиндров 8; гусеничных ходовых частей 9; гидроцилиндров подъема-опускания стола питателя 10; нагребующих лап (звезд) 11; стола питателя 12, а также других узлов и деталей.

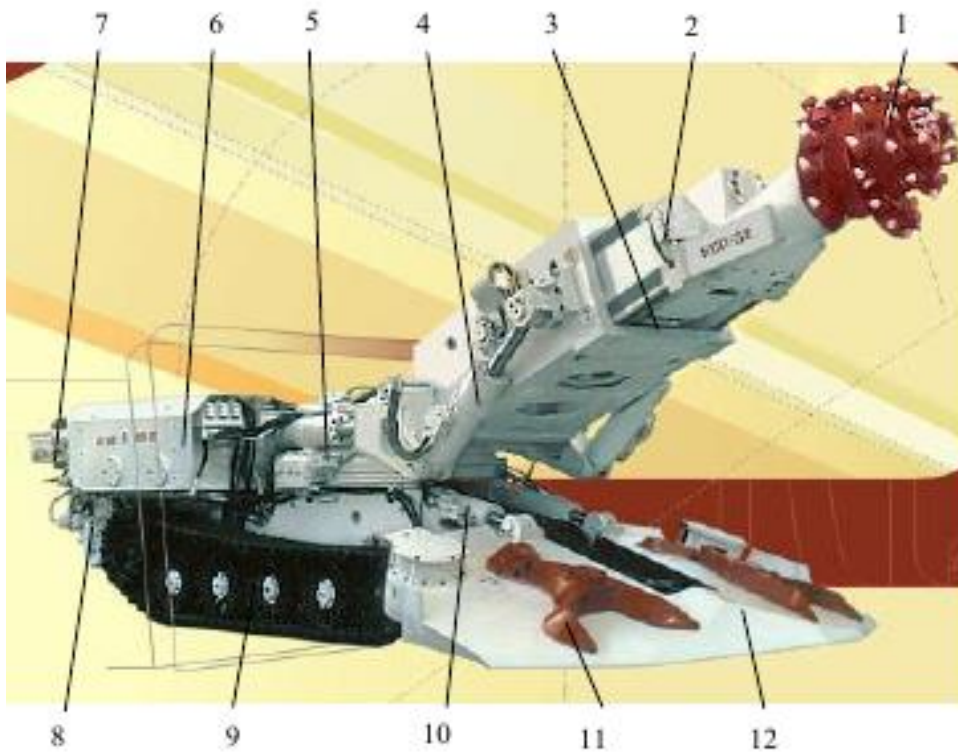


Рисунок 2. 1. Проходческий комбайн типа КСП-32

Кроме этого, исполнение комбайна -02 имеет гидроцилиндры подъема и поворота конвейера, а к комбайнам исполнения -00 и -01 по желанию заказчика могут поставляться перегружатели.

Одной из основных процедур системного анализа применительно к системе проходческого комбайна следует считать изучение структуры системы, анализ ее компонентов, выявление взаимосвязей между отдельными элементами. На рисунке 2.2 приведена структурная схема проходческого комбайна КСП-32.

К уровню общей (главной) цели относится сама система (надсистема)

проходческого комбайна (ПК), включающая следующие составные части первого уровня: механической  $B_1^1$  (МСК), гидравлической  $A_1^1$  (ГСК) и электрической системы  $C_1^1$  (ЭСК)

Гидравлическая система на втором уровне включает следующие подсистемы:  $A_1^2$  – гидропривод поворота исполнительного органа (ГПрИО);  $A_2^2$  – гидропривод подъема исполнительного органа (ГПДИО);  $A_3^2$  – гидропривод телескопа исполнительного органа (ГТИО);  $A_4^2$  – гидропривод нагребных лап (ГНЛ), или звезд;  $A_5^2$  – гидропривод подъема-опускания стола питателя (ГПОСП);  $A_6^2$  – гидропривод хода правый (ГХП);  $A_7^2$  – гидропривод хода левый (ГХЛ);  $A_8^2$  – гидропривод опор (ГО);  $A_9^2$  – насосную станцию (НС).

Механическая система на втором уровне включает следующие подсистемы:  $B_1^2$  – привод исполнительного органа (ПИО);  $B_2^2$  – исполнительный орган (ИО);  $B_3^2$  – конвейер (К);  $B_4^2$  – механическую составляющую правой ходовой части (МПХЧ);  $B_5^2$  – механическую составляющую левой ходовой части (МЛХЧ);  $B_6^2$  – турель (Т).

К третьему уровню относятся составляющие элементы подсистемы гидравлической системы:

– ГПрИО включают в себя:  $A_1^3$  – гидравлические коммуникации (ГК<sub>1</sub>),  $A_2^3$  – распределители (РП<sub>2</sub>),  $A_3^3$  – гидрозамки (ГЗ<sub>3</sub>),  $A_4^3$  – гидроцилиндры (ГЦ<sub>4</sub>);

– ГПДИО включают в себя:  $A_5^3$  – гидравлические коммуникации (ГК<sub>5</sub>),  $A_6^3$  – распределители (РП<sub>6</sub>),  $A_7^3$  – гидрозамки (ГЗ<sub>7</sub>),  $A_8^3$  – гидроцилиндры (ГЦ<sub>8</sub>);

– ГТИО включают в себя:  $A_9^3$  – гидравлические коммуникации (ГК<sub>9</sub>),  $A_{10}^3$  – распределители (ГР<sub>10</sub>),  $A_{11}^3$  – гидрозамки (ГЗ<sub>11</sub>),  $A_{12}^3$  – гидроцилиндры (ГЦ<sub>12</sub>);

– ГНЛ включают в себя:  $A_{13}^3$  – гидравлические коммуникации (ГК<sub>13</sub>),  $A_{14}^3$  – распределители (ГР<sub>14</sub>),  $A_{16}^3$  – гидродвигатели (ГД<sub>16</sub>);

– ГПОСП включают в себя:  $A_{17}^3$  – гидравлические коммуникации (ГК<sub>17</sub>),  $A_{18}^3$  – распределители (ГР<sub>18</sub>),  $A_{19}^3$  – гидрозамки (ГЗ<sub>19</sub>),  $A_{20}^3$  – гидроцилиндры (ГЦ<sub>20</sub>);

ГХП включают в себя:  $A_{21}^3$  – гидравлические коммуникации (ГЦ<sub>21</sub>),  $A_{22}^3$  –

распределители (ГР<sub>22</sub>), А<sub>23</sub><sup>3</sup> – тормоз (ГТ<sub>23</sub>), А<sub>24</sub><sup>3</sup> – гидродвигатель (ГД<sub>24</sub>);

– ГХЛ включают в себя: А<sub>25</sub><sup>3</sup> – гидравлические коммуникации (ГЦ<sub>25</sub>), А<sub>26</sub><sup>3</sup> – распределители (ГР<sub>26</sub>), А<sub>27</sub><sup>3</sup> – тормоз (ГТ<sub>27</sub>), А<sub>28</sub><sup>3</sup> – гидродвигатель (ГД<sub>28</sub>);

– ГО включают в себя: А<sub>29</sub><sup>3</sup> – гидравлические коммуникации (ГК<sub>29</sub>), А<sub>30</sub><sup>3</sup> – распределители (ГР<sub>30</sub>), А<sub>31</sub><sup>3</sup> – гидрозамки (ГЗ<sub>31</sub>), А<sub>32</sub><sup>3</sup> – гидроцилиндры (ГЦ<sub>32</sub>);

– НС включают в себя: А<sub>33</sub><sup>3</sup> – электропривод насосной группы (ЭП<sub>33</sub>).

К четвертому уровню относятся: узлы, детали, уплотнения, приборы, различные клапаны и другие устройства, входящие в элементы подсистемы гидравлической системы третьего уровня, а также валы, зубчатые колеса, муфты, подшипники, приводные и натяжные звезды, катки, траки гусениц механизмов перемещения, механические узлы манипулятора исполнительного органа (турель) и другие узлы и детали, формирующие подсистемы механической системы.

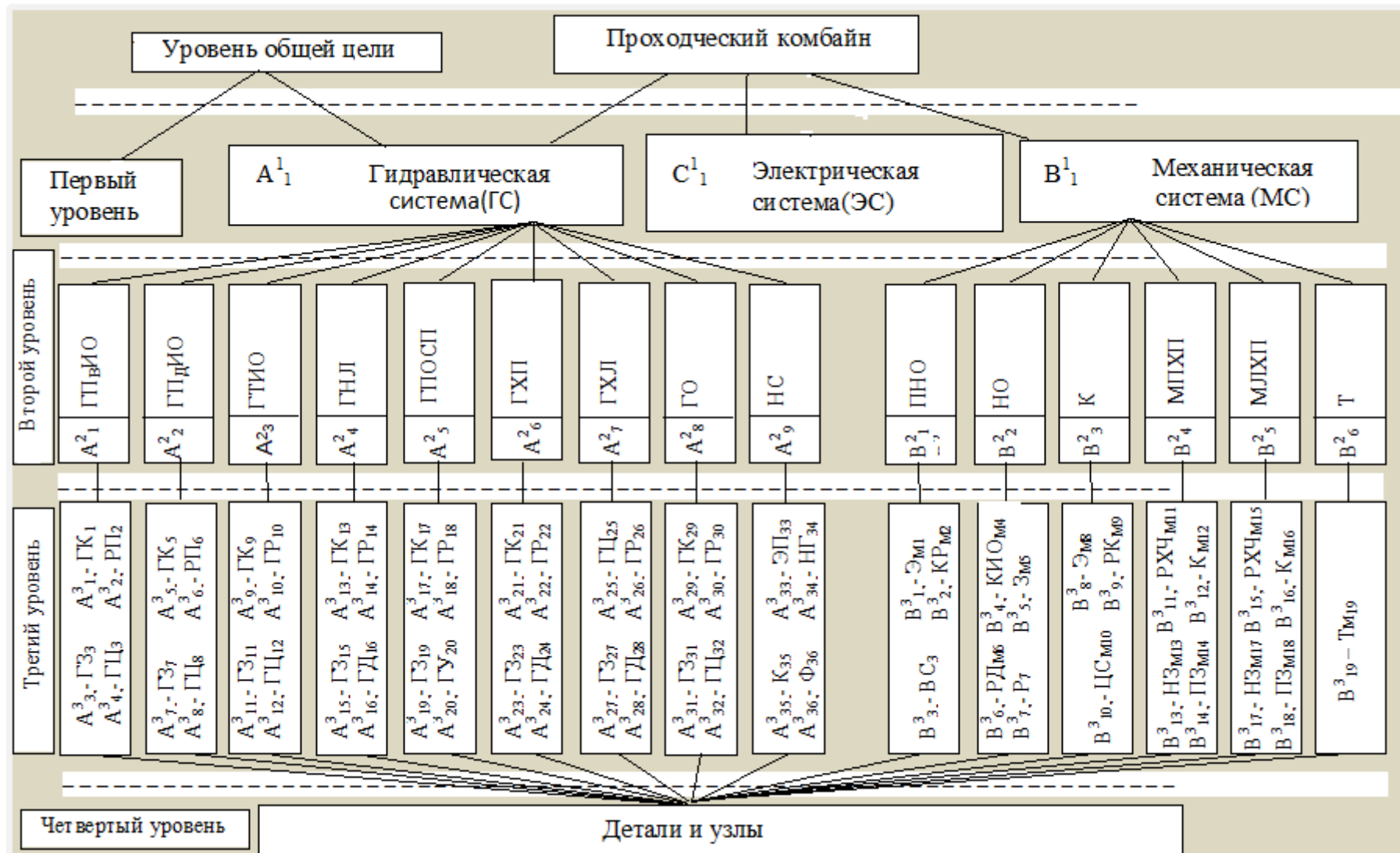


Рисунок 2.2- Структура системы проходческого комбайна типа КСП-32

Структурный анализ подсистем гидравлической системы комбайна КСП-32 показывает, что все подсистемы состоят из элементов с последовательным соединением и представляют собой структуру без резервирования. При таком соединении элементов выход из строя любого элемента приводит к отказу подсистемы в целом. Блок-схема надежности последовательного соединения  $i$ -го числа элементов  $k$ -й подсистемы гидравлической системы проходческого комбайна приведена на рисунке 2.3.

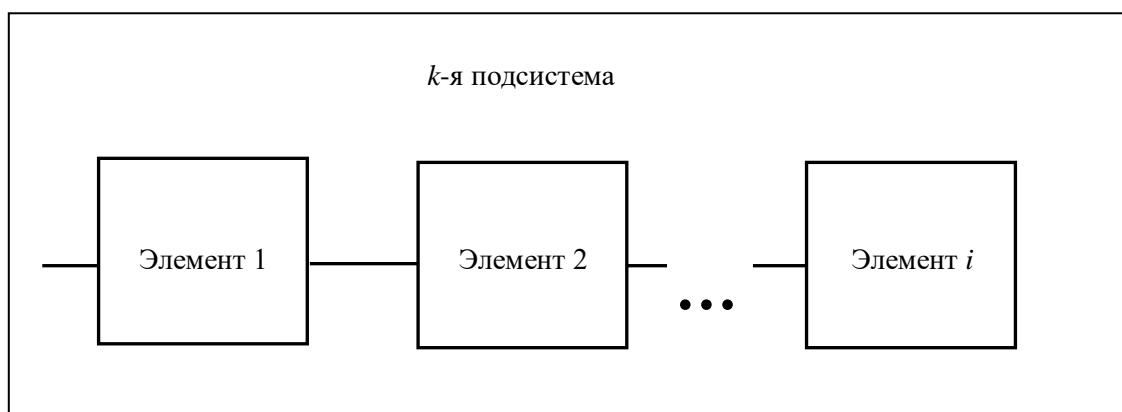


Рисунок 2.3. Блок-схема  $k$ -й подсистемы гидравлической системы проходческого комбайна

Вероятность безотказной работы  $k$ -й подсистемы  $P_{n, k}(t)$  при последовательном соединении ее элементов определяется как произведение вероятностей безотказной работы ее  $i$  элементов  $p_{id}$ :

$$P_{n, k}(t) = p_1(t) p_1(t) \dots p_i(t) = \prod_1^i p_i . \quad (2.1)$$

Следует отметить, что и вся гидравлическая система комбайна также является системой с последовательным соединением подсистем, поскольку выход из строя одной из десяти подсистем приводит к неработоспособному состоянию всей гидравлической системы комбайна. Вероятность безотказной работы системы определяется аналогично зависимости (2.1):

$$P(t) = P_{n,1}(t)P_{n,2}(t)\dots P_{n,10}(t) = \prod_1^{10} P_{n,k}(t). \quad (2.2)$$

Вероятность безотказной работы гидравлической системы не может быть выше вероятности безотказной работы самой ненадежной из ее подсистем. Следовательно, из ненадежных подсистем и составляющих подсистемы элементов нельзя создать высоконадежную систему.

Для обеспечения надежности вновь проектируемых гидравлических систем используются два подхода, дополняющих друг друга.

Первый подход предполагает использование высоконадежной элементной базы, спроектированной и изготовленной по современным технологиям и проверенной на испытательных стендах в условиях завода-изготовителя и в шахтных условиях при интенсивных режимах эксплуатации. При этом целесообразно использовать качественные материалы со стабильными характеристиками, имеющие малый разброс параметров, а также использовать детали с повышенной прочностью, имеющие повышенные износостойкость, коррозионную устойчивость и защиту элементов от вредных внешних воздействий.

Второй подход заключается в применении резервирования. На способ и схему резервирования элементов оказывают влияние причины возникновения отказов. Так, например, в гидравлической насосной станции проходческого комбайна КСП-32 подача рабочей жидкости от насосной группы в напорную магистраль используется последовательное соединение фильтрующих элементов. При этом в случае засорения любого из фильтров происходит отказ системы. При параллельном соединении в случае засорения одного из фильтров весь поток жидкости пойдет через второй фильтр и отказа системы не произойдет, хотя ее характеристики изменятся. Соответственно, в зависимости от схемы соединения фильтрующих элементов и рассматриваемого вида отказа параметры надежности

насосной группы рассчитываются по разным моделям.

Между приведенными на рис. 2.2 структурами систем и подсистем проходческого комбайна и выполняемых ими функций существует связь. Как известно, в системном анализе широко используется функционально-структурный подход [26,48], который применен и в настоящем исследовании для анализа качества функционирования гидравлической системы и приведенных выше подсистем гидравлической системы проходческого комбайна.

Различные подсистемы выполняют разные функции, и анализ их взаимодействия с надсистемой показывает, что на высоко нагруженные подсистемы ГПриО и ГПдИО, обеспечивающие перемещения исполнительного органа в горизонтальной и вертикальной плоскости забоя, действуют высокие суммарные нагрузки от сил резания и подачи на резцах исполнительного органа. Подсистемы ГПриО и ГПдИО, а также подсистема ГНЛ находятся в эксплуатации длительное время, что также отрицательно влияет на надежность работы этих подсистем. Указанные подсистемы не используются только во время перегона комбайна в новое положение для выполнения следующей заходки проходческого цикла и во время распора корпуса комбайна в почву выработки при помощи опорных гидроцилиндров и стола питателя, что в сумме составляет всего примерно пять процентов общего времени работы машины.

Качество функционирования и надежности гидравлической системы, ее подсистем и узлов следует оценивать применительно к качеству функционирования и надежности системы более высокого порядка. То есть функционирование и надежность узлов необходимо оценивать применительно к подсистемам, а функционирование подсистем гидравлической системы – применительно к гидравлической системе, функционирование же гидравлической системы (или механической системы) следует оценивать применительно к качеству функционирования и надежности проходческого комбайна (надсистемы). Это совместное рассмотрение надсистемы, систем, подсистем и составляющих их узлов как целого и как совокупности отдельных частей

(элементов) и применено в настоящей работе.

Гидравлическое оборудование комбайнов, как и любое другое оборудование, в процессе работы изнашивается и нуждается в контроле его состояния, обеспечивающем надежное выполнение предписанных им функций, а также в проведении технического обслуживания. Под техническим обслуживанием систем понимается совокупность мероприятий, которые служат поддержанию и восстановлению рабочих свойств систем. Данные мероприятия включают следующие работы:

- периодическое техническое обслуживание;
- контроль работоспособности и диагностика отказов;
- ремонтные (восстановительные) работы.

К задачам организации технического обслуживания относятся: установление графиков проведения проверок исправности гидравлической системы комбайна; установление графиков проведения профилактического обслуживания. Профилактические (регламентные) работы проводятся в системах проходческих комбайнов, которые еще не утратили работоспособность. Действия, необходимые для восстановления работоспособности после отказов, относятся к ремонтным (восстановительным) работам. Обычно профилактическими работами называют предупредительные, а ремонтные работы называются аварийным восстановлением.

Эффективность функционирования проходческих комбайнов, их систем, подсистем и узлов, входящих в подсистемы, а также техническое обслуживание систем, подсистем и узлов существенно зависит от процессов, происходящих внутри элементов систем и определяющих вид отказов.

В теории надежности различают внезапные и постепенные отказы. Внезапные отказы в гидравлических системах проходческих комбайнов происходят из-за мгновенного выхода из строя элементов, например, разрыва манжет и уплотнений, поломки гидравлических замков, обратных клапанов и распределителей, что переведет систему из работоспособного состояния в



состояние отказа. Постепенные отказы происходят, когда нормальное функционирование элементов систем проходческого комбайна сохраняется в определенном интервале их параметров, которые при эксплуатации, как известно, изменяются с течением времени. Эти отказы происходят, например, при износе выше допустимых значений внутренних поверхностей гидроцилиндров, поверхностей поршней и направляющих втулок цилиндров, а также при износе рабочих поверхностей гидравлических распределителей подсистем ГПрИО, ГПдИО, ГТИО, ГПОСП, ГО.

Контроль изменения значений параметров позволяет наблюдать за состоянием работоспособности или неработоспособности систем и их составляющих элементов. Проверки и диагностика являются обязательной частью стратегии по восстановлению работоспособности систем комбайнов.

В настоящее время для оценки параметров надежности любых технических систем существует множество методов, которые подразделяются на несколько направлений: вероятностно-статистические методы, метод причинно-следственных связей, метод экспертных оценок и другие.

1. В результате проведенного исследования установлено, что для повышения надежности гидравлических систем проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами целесообразно применять системный подход и системный анализ.

2. Структурная схема проходческого комбайна КСП-32 имеет вид дерева целей и представляет собой иерархическую структуру системы из пяти уровней:

– на нулевом уровне (уровне общей цели) представлена сама надсистема – проходческий комбайн;

– на первом уровне представлены гидравлическая, механическая системы и электрическая системы комбайна;

– на втором уровне приведено 15 подсистем, из которых 9 подсистем входят в гидравлическую систему, а 6 подсистем входят в механическую систему комбайна;

– на третьем уровне представлены узлы, входящие в подсистемы гидравлической и механической системы;

– к четвертому уровню отнесены узлы, детали, уплотнения, приборы, различные клапаны, манометры и другие устройства, входящие в элементы подсистемы гидравлической системы и механической системы третьего уровня.

3. Для обеспечения надежности вновь проектируемых гидравлических систем целесообразно использование высоконадежной элементной базы, спроектированной и изготовленной по современным технологиям, а также целесообразно резервирование.

4. Структурно-функциональный анализ позволил поставить задачи экспертного оценивания надежности систем проходческого комбайна

**Вероятностно-статистические методы оценок параметров надежности** предусматривают использование математической статистики и теории вероятности. Они основаны на изучении статистической информации об отказах проходческих комбайнов, работающих в шахтных условиях, предусматривают ее сбор и обработку. Далее после обработки данных отказов элементов комбайнов выбираются наиболее адекватные распределения показателей надежности.

Метод причинно-следственных связей – основан на поиске факторов, определяющих поведение объекта прогнозирования, построения и использования для прогнозов соответствующей модели его поведения.

Эти методы сопровождаются значительными затратами труда и времени для получения данных наблюдений за работой проходческих комбайнов в забоях. Значительные затраты времени необходимы также и для обработки полученных данных наблюдений

### **2.3 Экспертное оценивание надежности систем проходческого комбайна**

Методы экспертных оценок о надежности проходческих комбайнов основаны на индивидуальной оценке экспертов [75]. При оценках учитываются известные в настоящее время знания о состоянии и направлениях развития

горнопроходческой техники. Большое значение имеют научный и конструкторский опыт, опыт эксплуатации, накопленный опыт технических обслуживаний и ремонтов данного типа проходческих комбайнов, а также интуиция специалистов-экспертов. Экспертные оценки не решают проблемы повышения надежности, они представляют информацию, которая может быть использована в решении задачи повышения надежности. Методы экспертных оценок - это методы организации работы со специалистами-экспертами и математической обработки их мнений. Методов получения экспертных оценок в настоящее время разработано огромное количество [40,107]. Некоторые из них, наиболее часто используемые, приведены на блок-схеме (смотри рис. 2.4). Эти методы отображают способы получения экспертной информации.



Рис.2.4 Блок-схема, отображающая наиболее используемые способы получения экспертной информации

Из рисунка 2.4 видно, что все наиболее используемые методы получения экспертной информации можно условно разделить на три группы. Во-первых, группа методов получения качественной информации. Во-вторых, группа методов получения количественной информации. И наконец, группа экспертных методов прогнозирования и планирования

Изучение и анализ всех методов, представленных на блок-схеме, свидетельствуют о том, что разработанные методы охватывают возможность получения экспертных оценок при решении большого круга задач.

Для получения информации о надежности ГП комбайнов автором вначале принят *метод непосредственной оценки*, который позволяет получить не только качественную, но количественную оценки.

Для получения экспертных оценок была сформирована группа из десяти специалистов-экспертов в соответствии с работами [98,101].. В группу включены: специалисты механических и ремонтных служб шахт, на которых эксплуатировались длительное время и эксплуатируются в настоящее время комбайны КСП-32; специалисты механических служб производственного объединения «Макеевуголь»; специалисты ремонтных предприятий, занимающихся ремонтом и восстановлением элементов проходческих комбайнов; специалисты Ясиноватского машиностроительного завода, занимающиеся проектированием, изготовлением и капитальным ремонтом проходческих комбайнов; специалисты Донецкого национального технического университета, занимающиеся научными исследованиями в области повышения производительности и надежности горнопроходческих комбайнов.

Экспертное оценивание тесно связано с методами системного анализа и системного подхода.

На первом этапе составляется матрица «эксперты-факторы», в которой проставляются полученные от каждого эксперта оценки факторов по шкале от 0 до 10. Матрица важности факторов, полученная при опросе экспертов приведена в таблице 2.1.

Затем рассчитывается относительная значимость  $W_{ik}$  всех факторов в отдельности для каждого эксперта. Для оценки данных, полученных от каждого эксперта, они суммируются (по вертикали), а затем нормируются, то есть делятся на общую сумму оценок по всем факторам  $A_1^1 + B_1^1 + C_1^1$ . Вычисляется **нормируемая усредненная оценка** всеми экспертами каждого фактора (НУО).

Для этого нормированные оценки, полученные в предыдущем шаге, суммируются (по горизонтали), а затем рассчитывается средняя арифметическая для каждого фактора

В процессе опроса выяснилось, что у экспертов возникают значительные затруднения в оценке факторов ( $A_1^1, B_1^1, C_1^1$ ) по расширенной шкале от 0 до 10 баллов.

Значения нормированных усредненных оценок (НУО) при этом оценивании, как позже стало известно, значительно отличаются от данных экспериментальных исследований.

Поэтому для сравнения разных методов экспертного оценивания эту же группу экспертов попросили оценить факторы методом ранжирования

Таблица 2.1. Матрица опроса экспертов важности факторов методом непосредственной оценки (1 уровень)

Факторы	Баллы, проставленные эксперт										Сумма НУО
	Усредненные оценки каждого фактора экспертом										
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	
$A_1^1$	4 0,4	8 0,533	7 0,467	5 0,417	7 0,5	8 0,615	6 0,6	5 0,454	5 0,556	9 0,692	64 0,52
$B_1^1$	3 0,3	3 0,2	3 0,2	3 0,25	4 0,286	3 0,231	3 0,3	3 0,273	2 0,222	3 0,231	30 0,249
$C_1^1$	3 0,3	4 0,267	5 0,333	4 0,333	3 0,214	2 0,154	1 0,1	3 0,273	2 0,222	1 0,077	28 0,231
Итого	10	15	15	12	14	13	10	11	9	13	122 1,0

Результаты опроса приведены в таблице 2.2. Три балла эксперты присваивали самому надежному фактору, Один баллов - наименее надежному фактору.

Таблица 2.2. Матрица опроса экспертов важности факторов методом ранжирования (1 уровень)

Факторы	Эксперты									
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10
$A_1^1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$B_1^1$	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
$C_1^1$	3	2	1	1	3	3	3	2	2	3

Известно [23], что ранг – это показатель, определяющий место конкретного фактора в группе факторов.

В соответствии с рекомендациями работы [24] матрицу опроса (табл.2.2) экспертов, преобразовали в матрицу рангов ( табл. 2.3) по зависимости

$$P_{ik} = B_{\max,k} - B_{ik}, \quad (2.3)$$

$P_{ik}$  – ранг k-го эксперта для i-го фактора,

$B_{\max,k}$  -максимальный балл, выставленный k-м экспертом,

$B_{ik}$  , - текущее значение баллов, выставленных k-м экспертом.

Таблица 2.3 Преобразованные значения баллов в ранги (1 уровень)

Факторы	Эксперты										Всего	КВФ
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10		
$A_1^1$	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	17	0,654
$B_1^1$	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	5	0,192
$C_1^1$	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	4	0,154
	Итого										26	1,0

При расчете коэффициента важности факторов (КВФ) в соответствии с [40]

необходимо обеспечить выполнение требований:

- сумма КВФ факторов первого уровня должна составлять единицу;
- сумма КВФ подцелей должна составлять величину КВФ цели, в которую он включен.

В нашем случае КВФ одной из систем первого уровня должна быть равна сумме КФВ всех подсистем второго уровня, входящих в систему первого уровня.

Чтобы выполнить отмеченные выше условия необходимо КВФ, полученные в результате обработки данных опросов, касающихся подсистем на втором уровне, умножить на КФВ соответствующей системы первого уровня.



Рис.2.5 Распределение отказов на первом уровне дерева целей

Таблица 2.4. Преобразованные баллы экспертов в ранги(2 уровень)

Факторы	Эксперты										Сумма	КВФ
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10		
$A_1^2$	8	7	6	4	7	6	6	7	7	7	65	<b>0,140</b>
$A_2^2$	6	6	4	3	6	5	3	5	5	5	48	<b>0,103</b>

Продолжение таблицы 2.4												
$A_3^2$	4	3	4	3	5	4	2	4	5	4	38	<b>0,082</b>
$A_4^2$	5	5	3	2	4	4	5	4	6	3	38	<b>0,082</b>
$A_5^2$	5	4	1	1	3	3	4	2	3	2	28	<b>0,062</b>
$A_6^2$	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	14	<b>0,030</b>
$A_7^2$	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	14	<b>0,030</b>
$A_8^2$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	<b>0,001</b>
$A_9^2$	7	7	3	3	6	7	5	6	8	6	58	<b>0,125</b>
Итого											304	<b>0,654</b>
$B_1^2$	3	4	3	4	4	2	5	4	5	2	36	<b>0,054</b>
$B_2^2$	3	5	5	3	3	3	4	5	4	4	39	<b>0,059</b>
$B_3^2$	2	3	3	3	5	4	3	2	3	1	29	<b>0,044</b>
$B_4^2$	1	2	1	1	1	0	2	0	2	0	10	<b>0,015</b>
$B_5^2$	1	2	1	1	1	0	2	0	2	0	10	<b>0,015</b>
$B_6^2$	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	<b>0,005</b>
Итого											127	<b>0,192</b>

Таблица 2.5. Матрица опроса экспертов важности факторов (3 уровень)

Факторы	Эксперты										Сумма	КВФ
	Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9		
$A_1^3$	3	2	3	1	3	2	3	2	3	2	24	0,0611
$A_2^3$	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	5	0,0127
$A_3^3$	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0,0076
$A_4^3$	2	3	2	1	3	3	1	3	3	2	23	0,0586
Итого											55	0,14
$A_5^3$	3	2	3	1	3	3	2	2	3	2	24	0,04
$A_6^3$	1	0	0	1	0	1	2	1	1	1	8	0,0132
$A_7^3$	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	4	0,0066
$A_8^3$	2	3	2	3	3	3	1	3	3	3	26	0,0432
Итого											62	0,103
$A_9^3$	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	24	0,0258
$A_{10}^3$	2	0	2	3	2	3	2	1	0	2	17	0,0184



Продолжение таблицы 2.5												
$A_{11}^3$	2	1	3	2	3	3	0	3	1	2	20	0,0216
$A_{12}^3$	2	3	3	1	0	0	1	0	3	2	15	0,0162
Итого											76	0,082
$A_{13}^3$	2	2	0	2	3	3	2	2	2	2	20	0,0264
$A_{14}^3$	2	0	1	0	2	3	2	1	0	2	13	0,0173
$A_{15}^3$	0	1	0	1	3	3	1	2	1	2	14	0,0185
$A_{16}^3$	2	3	0	2	0	0	0	3	3	2	15	0,0198
Итого											62	0,082
$A_{17}^3$	2	3	1	2	2	1	3	2	2	3	21	0,026
$A_{18}^3$	2	1	1	1	1	0	2	0	1	2	11	0,0137
$A_{19}^3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,0013
$A_{20}^3$	1	2	0	3	3	2	1	1	3	1	17	0,021
Итого											50	0,062
$A_{21}^3$	1	2	3	2	3	2	2	2	3	2	22	0,0122
$A_{22}^3$	1	0	0	1	1	1	1	3	2	0	10	0,0056
$A_{23}^3$	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0,0017
$A_{24}^3$	1	3	1	3	2	3	2	2	1	1	19	0,0105
Итого											54	0,030
$A_{25}^3$	3	1	2	2	1	3	1	2	3	1	19	0,0106
$A_{26}^3$	1	3	1	0	2	2	0	1	1	3	14	0,0078
$A_{27}^3$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,0005
$A_{28}^3$	1	2	3	3	1	1	2	3	2	2	20	0,0111
Итого											54	0,030
$A_{29}^3$	2	2	2	2	1	3	2	3	1	3	21	0,0004
$A_{30}^3$	3	0	1	0	2	2	3	0	3	2	16	0,0003
$A_{31}^3$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0,0000
$A_{32}^3$	2	1	3	3	1	1	1	2	2	1	17	0,0003
Итого											55	0,001
$A_{33}^3$	2	3	1	1	1	3	1	2	1	1	16	0,0475
$A_{34}^3$	0	1	0	2	1	2	0	1	1	2	10	0,03
$A_{35}^3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$A_{36}^3$	0	2	2	1	2	1	2	2	1	3	16	0,0475
Итого											42	0,125
$B_1^3$	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	7	0,013
$B_2^3$	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0,0056
$B_3^3$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	19	0,0354
Итого											29	0,054
$B_4^3$	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0,0022
$B_5^3$	1	1	1	1	0	1	1	1	0	2	9	0,01

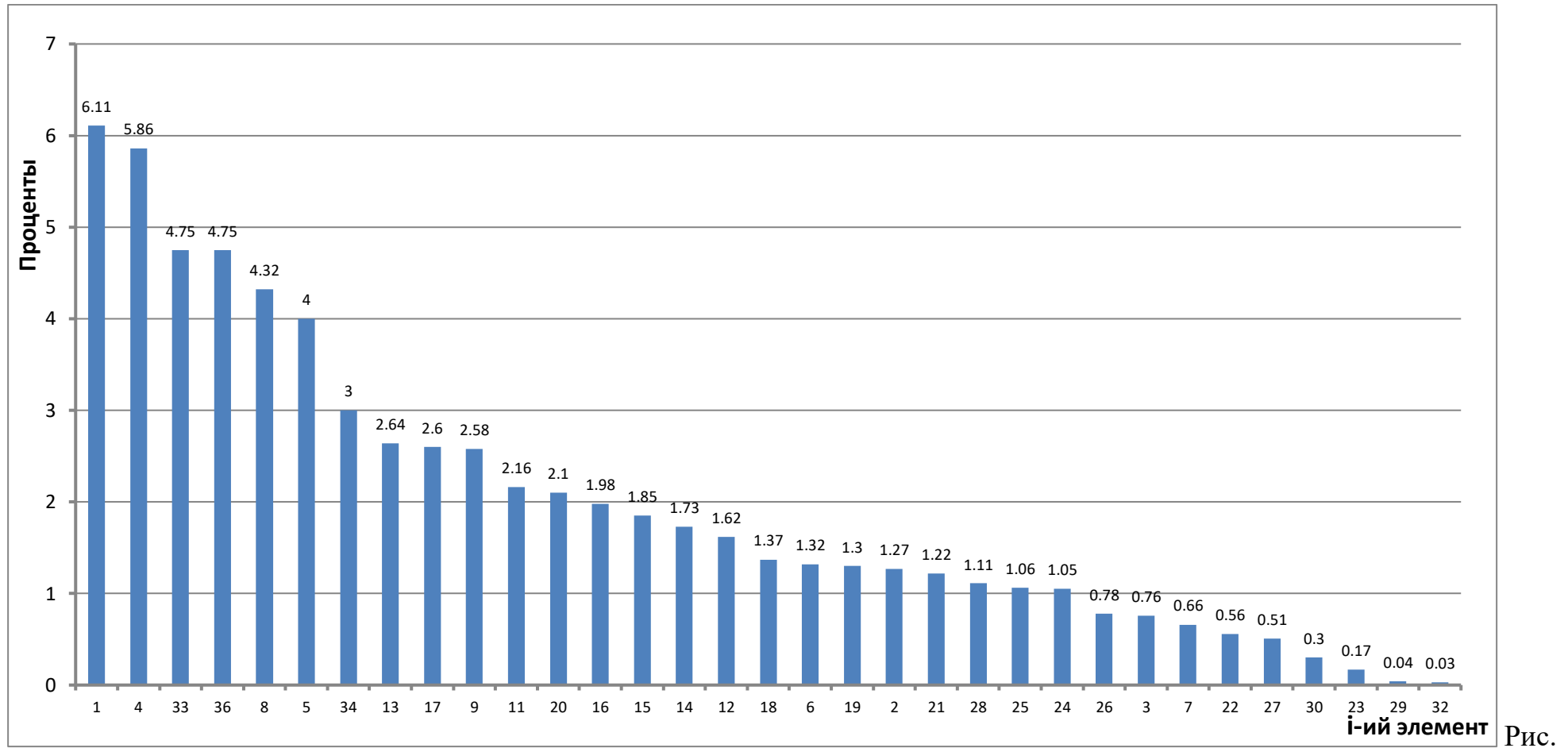
Продолжение таблицы 2.5												
$B_6^3$	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1	18	0,0198
$B_7^3$	3	2	2	3	3	3	3	1	2	3	25	0,0272
Итого											54	0,059
$B_8^3$	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	7	0,0106
$B_9^3$	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0,0031
$B_{10}^3$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,0303
Итого											29	0,044
$B_{11}^3$	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0,0006
$B_{12}^3$	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	7	0,0019
$B_{13}^3$	2	2	2	2	2	3	1	1	2	2	19	0,0053
$B_{14}^3$	2	3	3	3	3	2	3	1	3	3	26	0,0072
Итого											54	0,015
$B_{15}^3$	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0,0006
$B_{16}^3$	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	7	0,0019
$B_{17}^3$	2	2	2	2	2	3	1	1	2	2	19	0,0053
$B_{18}^3$	2	3	3	3	3	2	3	1	3	3	26	0,0072
Итого											54	0,015

Из обработки данных, полученных на первом уровне, видно, что эксперты посчитали гидравлическую систему наиболее важной из-за соображений надежности (65,4 %). Поэтому повышению надежности гидравлической системы проходческого комбайна следует приложить максимальные усилия.

На втором уровне специалисты эксперты посчитали, что из девяти гидравлических подсистем наибольшие значения в надежности гидравлической системы имеют: подсистема поворота исполнительного органа 21,4% (или 14,0 % всех подсистем проходческого комбайна), насосная станция 19,1 % (или 12,5% всего комбайна) и подсистема подъема 15,7 % (или 10,3% всего комбайна).

Результаты определения коэффициентов важности факторов (КВФ) третьего уровня гидравлической системы приведены на рис. 2.5.

Из анализа КВФ видно, что наиболее весомый вклад в надежность проходческих комбайнов: вносят гидравлические коммуникации (6,11%) и гидроцилиндры (5,86%) подсистем приводов исполнительных органов, электропривод (4,75%) и фильтры (4,75%) подсистемы насосной группы, а также гидроцилиндры (4,32%) и



2.5. Гистограмма коэффициентов важности *i-их* элементов гидравлической системы на третьем уровне  $A_i^3$  проходческого комбайна

гидравлические коммуникации (4,0%) подсистем подъема исполнительных органов. В сумме эти шесть позиций обеспечивают значительные данные: вклад в надежность комбайнов составляет 29,75%, а в надежность гидравлической системы вклад составляет 46,83 %. Аналогичные результаты экспериментальным путем получены в работе [57].

Наименьших усилий направленных на повышение надежности требуется, по мнению экспертов, для  $A_{31}^3$  – гидрозамков и  $A_{35}^3$  – клапанов.

Использование принципов системного анализа применительно к исследованию надежности проходческих комбайнов, дало возможность определить значимость элементов с целью повышения надежности. С использованием экспертных оценок найдены значения коэффициентов важности факторов каждого из элементов системы и вклад в обеспечение надежности комбайнов.

В таблице 2.6 приведены данные об отказах систем первого уровня структурной схемы проходческого комбайна типа КСП-32, полученные методом ранжирования экспертных оценок, и данные об отказах этих систем, полученные при экспериментальных исследованиях проходческих комбайнов на шахтах производственного объединения «Макеевуголь».

Таблица 2.6 Данные об отказах систем первого уровня структурной схемы проходческого комбайна типа КСП-32

№ п/п	Наименование системы комбайна	Процент отказов систем комбайнов при:	
		Экспертной оценке	Экспериментальных исследованиях
1	Электрическая	15,4%	12,8%
2	Механическая	19,2%	17,8%
3	Гидравлическая	65,4%	69,4%
	Итого	100 %	100 %

Из данных, приведенных в таблице 2.6 видно, что данные экспертных оценок отличаются от экспериментальных данных на 1,2-4 %, что можно считать высокой степенью сходимостью.

Так как отказы систем проходческих комбайнов, их подсистем или узлов подсистем приводят к значительным экономическим потерям, но, с другой стороны, диагностика и контроль также требуют экономических затрат, возникает задача минимизации общих затрат при разработке методики обслуживания, включающей частоту проверок и сроков проведения технического обслуживания проходческих комбайнов. В этом случае необходимо определить сроки проведения диагностики и контрольных проверок по обнаружению неисправностей, при которых суммарные затраты на проведение контроля и потери от простоя проходческих комбайнов из-за несвоевременного обнаружения и замены вышедших из строя элементов минимизируются.

Ремонтные (восстановительные) [28] мероприятия проходческих комбайнов являются более трудоемкими по содержанию работы. Они связаны с проведением комплексной проверки работоспособности систем, заменой отказавших или выработавших установленный ресурс элементов, регулировкой отдельных параметров и прочими работами.

Еще одна задача, относящаяся к задачам организации обслуживания систем, заключается в том, какое количество запасных элементов необходимо иметь для того, чтобы быть уверенным в том, что система с достаточной вероятностью будет бесперебойно функционировать в течение заданного времени.

## **2.4 Выводы**

В результате проведенного исследования установлено, что для повышения надежности гидравлических систем проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами целесообразно применять системный подход и

системный анализ.

Разработанная на основе системного подхода структурная схема проходческого комбайна КСП-32 имеет вид дерева целей и представляет собой иерархическую структуру системы из пяти уровней:

- на нулевом уровне (уровне общей цели) представлена сама надсистема – проходческий комбайн;
- на первом уровне представлены гидравлическая, механическая системы и электрическая системы комбайна;
- на втором уровне приведено 15 подсистем, из которых 9 подсистем входят в гидравлическую систему, а 6 подсистем входят в механическую систему комбайна;
- на третьем уровне представлены узлы, входящие в подсистемы гидравлической и механической системы;
- к четвертому уровню отнесены узлы, детали, уплотнения, приборы, различные клапаны, манометры и другие устройства, входящие в элементы подсистемы гидравлической системы и механической системы третьего уровня.

Структурно-функциональный анализ позволил поставить задачи установления целесообразности обеспечения запасными частями для технического обслуживания проходческих комбайнов.

Полученные результаты экспертных оценок на основе структурно-функционального анализа показали, необходимость исследования надежности гидропривода проходческого комбайна, поскольку они вносят значительный вклад в надежность работы (12,4 %).

### **3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ**

*(Основные положения этого раздела опубликованы автором  
диссертации в работе [125]).*

#### **3.1 Планирование экспериментальных исследований в шахтных условиях**

Высокие показатели надежности проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами, как известно, обеспечиваются на нескольких этапах – при проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работах, при заводском изготовлении и при эксплуатации. Для разработки рекомендаций по повышению надежности на этих этапах необходимо знание статистических показателей надежности, полученных в реальных шахтных условиях.

Исследования в области эксплуатации проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами показали [125], что среди всех систем горных машин гидросистемы являются наименее надежными, и значительное количество простоев горной техники происходит по причине отказов элементов ГП. Также известно, что за весь срок эксплуатации проходческого комбайна гидросистема как минимум один раз подвергается капитальному ремонту или замене наиболее нагруженных узлов гидросистемы. Поэтому для повышения качества и надежности комбайнов в первую очередь очень важно получение статистических оценок показателей надежности гидравлических приводов при эксплуатации в реальных шахтных условиях.

Известно что экспериментальные исследования подразделяются на активные и пассивные [79]. При пассивном эксперименте данные об исследуемом проходческом комбайне аккумулируются за счет наблюдений, то есть информацию собирают при обычной работе проходческого комбайна в обычных горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации.

В соответствии с работами [63, 79] запланирован пассивный эксперимент при эксплуатации проходческих комбайнов в шахтных условиях.

В пассивных экспериментах (структурную схему эксперимента см. рис.3.1) существуют входные факторы  $X_k$ , которые можно только контролировать, но не управлять (сечение проходимой выработки, крепость вмещающих пород, мощность угольной части забоя, сопротивляемость пласта резанию), выходные факторы  $Y_p$ , которые регистрируются (наработка между отказами, регистрация отказов системы, подсистемы, узлов и элементов подсистем), регистрация времени восстановления, времени доставки запчастей к ремонтируемому комбайну и  $w_n$  – случайные возмущающие воздействия (горно-геологические нарушения в боковых породах, в угольном пласте, интенсивное поступление воды из пород и пласта и др. ).

Считается [100], что возмущающие воздействия не могут контролироваться, так как являются непостоянными и случайными.

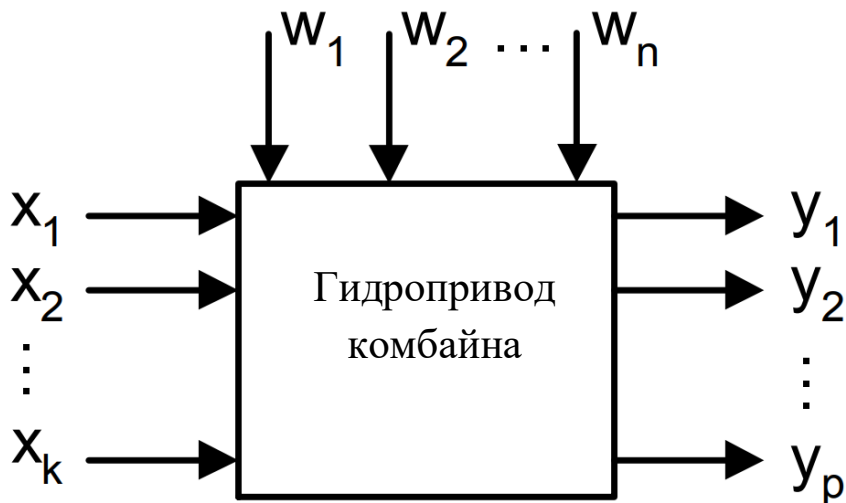


Рисунок 3.1 - Структурная схема пассивного эксперимента

Вместе с тем следует отметить, что условия для исследований экспериментатор может выбирать входные параметры, то есть параметры  $X_k$  можно считать частично управляемые, но в процессе эксперимента неуправляемые.



Задачи планирования в пассивном эксперименте [80,135] состоят в обеспечении организации наблюдений и сбора данных о входных и выходных факторах работы комбайнов и их ГП, выбор объема измерений и обоснование выбор способов обработки полученных данных и измерений.

При выборе представительных горно-геологических условий Донбасса для проведения эксперимента в настоящей работе проанализированы данные работы ИГД им. А.А. Скочинского [72] и данные управления «Укргеологии УССР», приведенных в работе [12]. По 416 шахтопластам 10 производственных объединений (ПО) : «Донецкуголь», «Макеевуголь», «Красноармейскуголь», «Добропольеуголь», «Селидовуголь», «Шахтерскантрацит», «Торезантрацит», «Луганскуголь «Донбассатрацит», «Сверловантрацит» в работе [72] приведены отдельно данные по вмещающим породам кровель и почв пластов, а также данные по сопротивляемости резанию шахтопластов каждого ПО. Результаты анализа приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Результаты анализа горно-геологических условий Донбасса

Производственное объединение	Тип вмещающих пород		Сопротивляемость пласта резанию, (даН/см)
	Кровель	Почв	
Донецкуголь, Макеевуголь, Краноармейскуголь, Селидовуголь, Луганскуголь	Глин. слан.,(f=2-4) 45-56%, Песч. слан., Песч.глинист.слан . (f=4-5) 28-33%. Изветн.,Песчаник (f=10-15) 12-16%	Глин. слан.,(f=2-4) 19-27%, Песч. слан., Песч.глинист.слан . (f=4-5) 60-75%. Изветн.,Песчаник (f=10-15)1 4-25%	65-365 (средняя 150)
Шахтерскантрацит, Торезантрацит, Донбассантрацит, Свердловантрацит	Глин. слан.,(f=2-4) 43-54%, Песч. слан., Песч.глинист.слан . (f=4-5) 27-32%. Изветн.,Песчаник (f=10-15) 18-21%	Глин. слан.,(f=2-4) 17-25%, Песч. слан., Песч.глинист.слан . (f=4-5) 28-33%. Изветн.,Песчаник (f=10-15) 12-16%	130-405 (средняя 197)

Из данных приведенных в таблице видно, что вмещающие породы кровель шахтопластов всех рассмотренных ПО представлены глинистыми сланцами 45-

56%, песчанистыми и песчано-глинистыми сланцами 28-33 %, кроме этого вмещающие породы кровель содержат 12-16 % крепких пород известняка и песчаника. Следует отметить, крепких вмещающих пород в кровлях шахтопластов антрацитовых ПО «Шахтерскантрацит», «Горезантрацит», «Донбассантрацит» и «Свердловантрацит» несколько больше, угольных и составляют 18-21%.

Вмещающие породы почв шахтопластов всех ПО содержат меньшее количество глинистых сланцев 19-27% и несколько большее количество большее количество песчанистых и песчано-глинистых сланцев 62-80%. В угольных ПО вмещающие породы почв шахтопластов содержат меньшее число крепких пород известняков и песчаников 4-9% ., чем антрацитовых ПО 14-18%.

Что касается сопротивляемости пластов резанию ( $A_{пл}$ ), в угольных ПО  $A_{пл}$  изменяется от 65 до 365 даН/см при среднем значении  $A_{пл} = 150$  дан/ см. В антрацитовых ПО  $A_{пл}$  изменяется от 130 даН/см до 405 даН/см. при средних значениях  $A_{пл} = 197$  даН/ см, то есть сопротивляемость антрацитовых несколько выше, чем угольных.

Учитывая, что крепкие породы известняка и песчаника в настоящее время не разрушаются проходческими комбайнами, а проходятся только буровзрывным способом. Влияние несколько повышенной  $A_{пл}$  антрацитовых ПО незначительное, так как при разрушении смешанного угле-породного забоя угольная часть составляет 15 - 25%,. В связи с этим горно-геологические условия ПО «Макеевуголь» можно считать представительными условиями для работы проходческих комбайнов класса КСП-32 для всего Донбасса.

Кроме этого, на выбор условий для пассивного эксперимента повлияло и числа проходческих комбайнов КСП-32, работающих в одном объединении. На шахтах ПО «Макеевуголь» на момент планирования эксперимента эксплуатировалось девять комбайнов КСП-32 на восьми предприятиях. В остальных «доступных» в настоящее время для наблюдений ПО Донбасса

эксплуатировались один, два, а то и не одного комбайна КСП-32. Поэтому для проведения экспериментальных исследований выбраны шахты ПО «Макеевуголь».

Для оценки фактического технического состояния и контроля качества проходческих комбайнов (их основных систем и подсистем) необходимы данные по показателям надежности.

В связи с тем, что на надежность машин оказывает влияние большое число конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, рассчитать ее практически невозможно. Надежность можно оценить только с использованием теории вероятностей и математической статистики [99], причем показатели надежности при этом должны определяться в соответствии с работой Б.В. Гнеденко [20] за период не менее двух лет эксплуатации в реальных шахтных условиях. В настоящей работе срок наблюдений принят два года и четыре месяца.

Основными показателями надежности являются вероятность безотказной работы, т. е. вероятность того, что в заданный промежуток времени отказ изделия не возникает. Оценку фактических показателей надежности проходческих комбайнов производились в работах [50, 78,79] при эксплуатации комбайнов типов ГКПС, КП-20 и КП-21 в условиях Кузнецкого угольного бассейна и на шахтах ПО «Гуковуголь». Работ по фактическому определению показателей надежности проходческих комбайнов, оснащенных мощными приводами, при работе в горно-геологических и горнотехнических условиях шахт Донецкого бассейна проведено недостаточно.

### **3.2 Результаты экспериментальных исследований и результаты их обработки**

Для получения информации о показателях надежности проходческих комбайнов проанализированы данные об их отказах при работе в реальных шахтных условиях, полученных из регистраций, выполненных диспетчерскими и электромеханическими службами шахт, а также при специальных выборочных наблюдениях для сравнения и критического анализа данных шахт.

Для получения полных и достоверных данных о надежности проходческих

комбайнов и для разработки на основе этих данных эффективных мер по повышению надежности в трех периодах – при проектировании, изготовлении и при эксплуатации оборудования, необходимы сведения о количестве и характере отказов, возникших в рассматриваемое время эксплуатации.

Входными контролируемыми, но не управляемыми факторами при проведении этих экспериментов являлись следующие параметры: тип, крепость и абразивность горных пород, сечения и длины проводимых выработок..

Основным преимуществом данных об отказах, полученных в шахтных условиях эксплуатации, является то, что в этом случае наиболее полно учитываются горно-геологические условия работы комбайнов и достаточно полно учитывается влияние на надежность режимов работы, влияние конструкции, технологии изготовления машин и качество управления при их работе.

В соответствии с планом проведения исследований отказы элементов механических и гидравлических систем подразделялись на ремонтируемые (замена резиновых уплотнений, манжет, очистка сапунов, заливка и замена масла редукторов и рабочей жидкости гидросистемы до требуемого уровня, очистка сапунов), неремонтируемые (замена элементов фильтров, гибких рукавов высокого давления) и условно неремонтируемые (ремонт гидроцилиндров, гидрозамков, обратных клапанов, предохранительных клапанов и других элементов гидросистем, которые не ремонтируются в подземных условиях, но ремонтируются после выдачи на дневную поверхность в специализированных ремонтных мастерских или на ремонтных заводах). Замены изношенных и поломанных резцов, а также втулок, в которые закрепляются резцы на исполнительных органах комбайнов в данном исследовании не фиксировались как отказы.

Статистическая информация получена из регистраций выходов из строя комбайнов КСП-32 диспетчерскими и электромеханическими службами шахт ПО «Макееуголь», которые производились на восьми предприятиях (таблица 3.1). В диспетчерских журналах и электромеханических журналах учета отказов

фиксируется время всех остановок проходческого комбайна, их причины и проведенные работы. В настоящей работе проводились и специально контролируемые наблюдения при эксплуатации проходческих комбайнов. Затем данные, полученные при специальных наблюдениях, и данные, полученные из журналов шахт, сравнивались между собой для установления их сходимости.

Таблица 3.2. Шахты ПО «Макеевуголь», на которых получены статистические данные о надежности комбайнов КСП-32

№ п/п	Наименование шахты	Заводской номер комбайна КСП-32	Длина проведенных выработок на шахте, м
1	Имени В.М. Бажанова	263	2122
2	Калиновка-Восточная	268	885
3	Чайкино	336	962
4	Холодная балка	323	1406
5	Имени С.М. Кирова	293	1445
6	Иловайская	295	1166
7	Бутовка	246	3119
8	Бутовка	123	1405
9	Северная	317	2363

Во время сбора статистических данных по надежности работы девяти комбайнов КСП-32 на шахтах, приведенных в таблице 3.2, при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в различных горно-геологических условиях, выявлены различные неисправности исполнительных органов и приводов исполнительных органов, питателей, конвейеров, ходовых частей, маслобака, магистраль

ных трубопроводов, систем управления, подсистем подъема, поворота и телескопа исполнительных органов, а также корпусов комбайнов. Результаты этих наблюдений по выявлению неисправностей комбайнов КСП-32 приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Выявленные неисправности комбайнов КСП-32

№ п/п	Виды неисправностей	№ п/п	Виды неисправностей
Исполнительные органы и приводы исполнительных органов			
1	Разрушение резцедержателей режущей коронки	5	Ослабление болтовых соединений корпусов исполнительного органа
2	Отказы форсунок системы орошения	6	Снижение уровней смазки в отсеках редуктора
3	Отказ двигателя исполнительного органа (2ЭДКОФВ 250LB4У2,5)	7	Ослабление затяжки винтовой стяжки клиновой опоры под электродвигателем исполнительного органа
4	Течь масла через уплотнения на выходном валу исполнительного органа	8	Отказы зубчатых колес и (или) подшипников редуктора исполнительного органа
Гидропривод нагребаяющих лап			
9	Ослабление крепления гидромоторов питателя	12	Отказ гидромотора КСП-32.43.05.200 на питателе
10	Ослабление болтовых соединений секций стола питателя	13	Засорение сапунов редукторов
11		14	
Гидропривод подъема-опускания стола питателя			
15	Снижение уровней смазки в редукторах питателя	17	Отказы гидроцилиндров питателя КСП-32.36.00.000В
16	Засорение сапунов редукторов питателя	18	Течь гидроцилиндров подъема питателя КСП-32.36.00.000А с гидрозамком
Конвейеры			
19	Поломка редукторов приводов конвейеров	21	Отказ гидроблока конвейера КСП-42.09.46.000
	Поломка гибких листов конвейера		Отказ электродвигателя конвейера (ЗВР160S4)

Продолжение таблицы 3.3			
20	Отказ гидроцилиндра подъема конвейера КСП-32.40.01.000 А	22	Отказ гидроцилиндра поворота конвейера КСП-33.03.01.000А
Гидроприводы хода правые и левые			
23	Отказы траков	31	Отказы зубчатых передач и подшипников редукторов
24	Заклинивание опорных катков ходовых тележек	32	Недопустимое состояние качество смазки в редукторах
25	Снижение уровней смазки в редукторах	33	Снижено натяжение траковой цепи
26	Отказы винтов натяжения	34	Износ кулачков на тормозах
27	Ослабло крепления ходовых тележек	35	Ослабло крепления катков
28	Отказ гидромотора КСП - 32.43.05.200 на ходовой тележке	36	Отказ гидроблока хода КСП-32.09.01.100А
29	Ослабление крепления гидромоторов КСП-32.43.05.200	37	Выход из строя гидроблока подпора хода КСП-33.09.04.000
30	Отказ гидроблока тормозного КСП-32.37.04.000		
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000, система управления, трубопроводы			
38	Отказ электродвигателя маслостанции (2ЭДКОФ 250М4У2,5)	44	Отказ гидроблока управления КСП-32.37.10.000
39	Отказы насосов НШ50М-4 и НШ10-3 на приводе КСП-33.09.02.000	45	Отказ гидроблока тормозной КСП-32.37.04.000
40	Отказ уст-ва управления КСП-32.20.00.000	46	Отказ установки для закачки масла (АИУ90Л4У2,5)
	Отказ гидроблока предохранительно-измерительного КСП-32.24.09.000А	47	Течь масла в соединениях металлических трубопроводов и рукавов высокого давления (РВД)

Продолжение таблицы 3.3			
41	Течь масла по рукавам высокого давления (РВД)	48	Отказы фильтров 2ФГА-32.00.000-25
42	Ослабление крепления редуктора маслонасосов	49	Отказ насоса шестеренчатого НШ 10
43	Засорение сапуна 20, ОСТ2-Г45-74		
Подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа			
50	Отказ гидроцилиндра подъема исполнительного органа КСП-32.16.00.000А	54	Отказ гидрозамка одностороннего с дросселем и обратным клапаном КП-32.00.01.200Б
51	Отказ гидроцилиндра телескопа КСП-32.33.00.000А	55	Отказ переключателя КСП-32.37.00.300
52	Отказ гидроблока предохранительно-измерительного КСП-32.24.09.000А	56	Отказ гидроблока конвейера КСП-22.29.05.000
53	Отказ гидроблока исполнительного органа КСП-32.09.04.000М	57	Отказ гидроцилиндра поворота исполнительного органа КСП-32.19.04.000А
Гидропривод опор			
58	Ослабление крепления станции управления и гидробака	62	Ослабление соединения рамы корпуса комбайна с задней рамой
59	Ослабление крепления нижних крышек гидроопор	63	Увеличение люфта качания верхней поворотной рамы исполнительного органа
61	Отказы гидроопор	64	Отказ гидроблока КСП-32.37.10.000.

В таблице 3.4 приведены сведения о количестве отказов подсистем и групп подсистем девяти проходческих комбайнов за время работы более двух лет. При этом в таблице разделены данные об отказах по механическим и гидравлическим составляющим подсистем. Отказы элементов электрических систем комбайнов в этой таблице не приводятся, в связи с тем они составляют всего 12,8 % от отказов



всех систем комбайнов (раздел 2). Фотографии некоторых отказавших элементов проходческих комбайнов приведены в приложении П2.

Таблица 3.4 - Сведения о количестве отказов подсистем проходческих комбайнов КСП-32

Наименование подсистем (групп подсистем) комбайнов	Механическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов		Гидравлическая составляющая подсистем (групп подсистем) комбайнов	
	Количество отказов	Процентное отношение	Количество отказов	Процентное отношение
Исполнительные органы и привода исполнительного органа	35	23 %	-	-
Гидропривод нагребных лап	-	-	86	16 %
Гидропривод подъема опускания стола питателя	-	-	69	13 %
Механическая составляющая правых и левых ходовых частей	51	32 %	-	-
Конвейеры	72	45 %	43	8 %
Гидроприводы хода правые и левые	-	-	45	8 %
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, трубопроводы	-	-	82	15%
Подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного ор-на	-	-	152	28 %
Гидропривод опор	-	-	67	12 %
Всего:	158	100 %	544	100 %
Процент отказов механической и гидравлической систем от всех отказов		17,8 %		69,4 %

Из данных, приведенных в таблице 3.4, следует, что число отказов гидравлических подсистем составляет 69,4 % от всех отказов гидравлических и механических систем, зафиксированных при работе девяти проходческим комбайнов. Число отказов механических систем при этом составляет 17,8 %. Такое распределение числа отказов обуславливаются двумя факторами. Во-первых, в проходческом комбайне типа КСП-32 количество гидравлических подсистем, узлов и элементов значительно больше, чем механических подсистем, узлов и элементов. Во-вторых, надежность гидравлической системы комбайна значительно ниже, чем надежность механической системы.

Наибольшее число отказов механических систем приходится на конструкции конвейеров, а наибольшее число отказов гидравлических систем приходится на подсистемы поворота, подъема и телескопа исполнительного органа. Эти подсистемы являются наиболее нагруженными из всех систем проходческого комбайна. Следует отметить, что в число отказов, приведенных в таблице 3.4, включены как нетрудоемкие в части восстановления отказы, такие как засорение сапунов редукторов, снижение уровней смазки в редукторах, течь рабочей жидкости из соединений трубопроводов, так и отказы, для устранения которых требуются значительные трудовые и материальные затраты. В их число входит также замена гидродомкратов и гидромоторов после износных отказов.

Данные средних наработок между отказами и данные среднего времени восстановления приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 - Данные о средних наработках между отказами и о средних

## значениях времени на восстановление

Наименование подсистем (групп подсистем) комбайнов	Механические системы комбайнов		Гидравлические системы комбайнов	
	Средняя наработка между отказами, ч, $T_{cp}$	Среднее время восстановления, ч, $\tau_{cp}$	Средняя наработка между отказами, ч, $T_{cp}$	Среднее время восстановления, ч, $\tau_{cp}$
Исполнительный орган и привод исполнительного органа	2002	15,1	-	-
Гидропривод нагребаяющих лап	-	-	813	4,2
Гидропривод подъема-опускания стола питателя	-	-	1014	3,3
Конвейеры	1372	6,5	1627	4
Механическая составляющая правых и левых ходовых частей	972	7,0	-	-
Гидроприводы хода правые и левые	-	-	1555	7
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы	-	-	853	4,5
Подсистема поворота, подъема и телескопа исполнительного органа	-	-	460	5,2
Гидропривод опор	-	-	1044	3,5

Из данных таблицы 3.5 определены средневзвешенные (по времени работы подсистем) наработки между отказами механической системы комбайна, составляющие 1620 часов и гидравлической системы комбайна – 983 часа.

Экспериментальные наблюдения за механической и гидравлической частями проходческих комбайнов КСП-32 показали, что распределения наработок между отказами и время восстановления гидравлических подсистем подчиняются экспоненциальному закону распределения (таблица 3.6 и см. рисунок 3.1), на котором приведены распределений наработок между отказами и времени восстановления.

Табл. 3.6 Результаты статистической обработки информации о надежности гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов типа КСП-32

Наименование подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов	Статистические значения параметров распределения безотказности			Статистические значения параметров восстановления		
	Закон распределения	$T_{cp}$ , ч.	Дисперсия, ч <sup>2</sup>	Закон распределения	$T_{cp}$ , ч	Дисперсия, ч <sup>2</sup>
Гидропривод подъема-опускания стола пита-ля	экспоненциальный	1014	$1,03 \cdot 10^6$	экспоненциальный	3,3	10,9
Гидроагрегат КСП-33.09.01.000 В, система управления, трубопроводы	экспоненциальный	853	$0,73 \cdot 10^6$	экспоненциальный	4,5	20,25
Подсистема поворота, подъема и телескопа исполнительного органа	экспоненциальный	460	$0,21 \cdot 10^6$	экспоненциальный	5,2	27
Гидроприводы хода правые и левые	экспоненциальный	1555	$2,43 \cdot 10^6$	экспоненциальный	7	49

Из данных таблицы 3.6 и рисунка 3.1 следует, что преобладающим законом распределения времени наработки на отказы гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов КСП-32 является экспоненциальный закон.

Функция плотности экспоненциального распределения, соответственно, имеет вид :

$$f(t)=\lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t) , \quad (3.1)$$

где  $\lambda$  – параметр экспоненциального распределения.

При экспоненциальном законе распределения функции вероятности безотказной работы  $P(t)$  и интенсивности отказов  $\lambda(t)$  определяются:

$$P(t)=1 - \lambda \exp(-\lambda \cdot t), \quad (3.2)$$

$$\lambda(t)=\lambda . \quad (3.3)$$

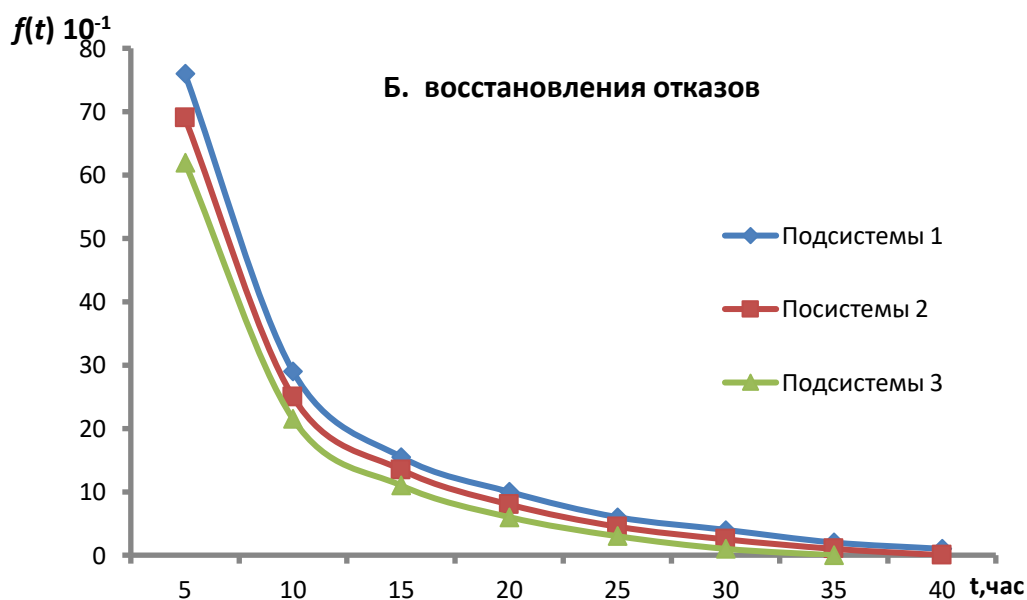
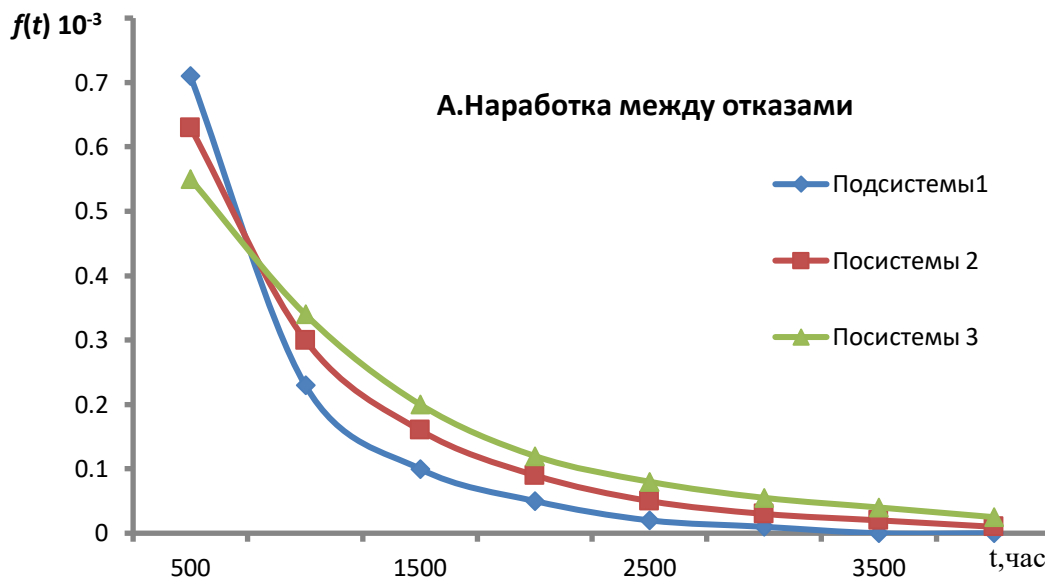


Рисунок 3.2. Зависимости плотностей вероятностей времени наработок наработки между отказами А и времени восстановления Б подсистем: 1- поворота,

подъема и телескопа исполнительных органов; 2- гидроагрегатов КСП-33.09.01.000В; 3- подъема - опускания столов питателей комбайнов КСП-32.

Экспоненциальный закон распределения свидетельствует о преобладании внезапных отказов с небольшими значениями времени безотказности над износowymi отказами со значительными значениями времени безотказности

Следует отметить, распределения времени восстановления что и также подчиняются экспоненциальным законам, которые характеризуются значительным преобладанием частоты небольших значений времени восстановления над длительными значениями.

Проведенный анализ выхода элементов гидравлических подсистем свидетельствует, что чаще всего при внезапных отказах теряют работоспособность уплотняющие манжеты и резиновые кольца (которые не обеспечивают герметичность), чистильщики, элементы силовых гидроблоков, управляющих гидравлических распределителей и др.

На основе анализа статистической информации о надежности элементов гидравлических подсистем и составных узлов разработаны рекомендации по конструктивному изменению элементов ГП проходческих комбайнов. Эти изменения связаны в основном с устранением наиболее частых отказов вышеперечисленных узлов, которые приводили к значительным простоям комбайнов.

### **3.3.Выводы**

При проведении наблюдений за работой девяти комбайнов КСП-32 на восьми шахтах при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в различных горно-геологических условиях зафиксированы различные виды отказов: исполнительных органов и их приводов, питателей, конвейеров, ходовых частей, гидроагрегатов, магистральных трубопроводов, систем управления, а также подсистем подъема, поворота и телескопа исполнительных органов.

Установлено, что число отказов гидравлических подсистем составляет 68 % от всех отказов, зафиксированных при работе девяти проходческих комбайнов. Число отказов механических систем при этом составляет 17,8 %. Это свидетельствует о том, что надежность гидравлической системы комбайна значительно ниже, чем надежность механической системы. Причем средняя наработка между отказами механических систем комбайнов более значительная, чем средняя наработка между отказами гидравлических систем.

Исследования позволили выявить, что преобладающим законом распределения времени наработки между отказами гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов КСП-32 является экспоненциальный закон. Этому закону подчиняется распределение времени восстановления гидравлических подсистем (групп подсистем).

Экспоненциальный закон распределения наработки до отказа свидетельствует о преобладании внезапных отказов над износowymi отказами. Проведенный анализ выхода элементов гидравлических подсистем свидетельствует, что чаще всего при внезапных отказах теряют работоспособность (выходят уплотняющие манжеты и резиновые кольца (из-за снижения пластичности и герметичности) чистящие кольца, гидрозамки, обратные клапаны, элементы силовых гидроблоков и управляющих электрогидравлических распределителей.

#### **4.ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ**

## ТЕХНИЧЕСКИХ ОБСЛУЖИВАНИЙ И РЕМОНТОВ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

*(Результаты исследований, приведенных в настоящем разделе, опубликованы автором диссертации в работе [127]).*

### 4.1 Общие положения по выбору рациональной периодичности технических обслуживаний и ремонтов комбайнов

Эксплуатация комбайнов со стреловидными разрушающими органами и экспериментальные исследования надежности машин в шахтных условиях позволили установить, что из трех их систем – механической, электрической и гидравлической, наименее надежной является гидравлическая система комбайна, и значительное количество простоев горной техники происходит по причине отказов ее элементов.

Решение проблемы повышения надежности проходческих комбайнов обеспечивается за счет повышения эффективности проектирования, применения современных методов и средств технологии при изготовлении, грамотной (в допустимых режимах) эксплуатации, которая обуславливается регламентными документами и инструкциями завода-изготовителя, а также своевременного технического обслуживания и ремонта машин (ТО и Р) [116, 130].

ТОиР предусматривает выполнение комплекса работ, направленных на обеспечение исправного состояния проходческого комбайна, надежной, безопасной и экономичной его эксплуатации, проводимых с определенной периодичностью и последовательностью, при оптимальных трудовых и материальных затратах [115].

Одним из основных понятий теории надежности является понятие отказа [84]. Отказ – это, как известно, потеря способности проходческого комбайна выполнить требуемые функции, т.е. разрушать горную породу и грузить



разрушенную массу в транспортное средство. Отказы по времени наступления и степени ожидания подразделяются на внезапные отказы и постепенные отказы. Внезапные отказы – это отказы, проявляющиеся в резком (мгновенном) изменении характеристик объектов. Постепенные отказы – это отказы, происходящие в результате медленного, постепенного ухудшения качества объекта.

Для предупреждения возникновения отказов оборудования проводились планово-предупредительные ремонты (ППР) [86], которые длительное время были основой для технического обслуживания проходческих комбайнов в целом и их гидравлических систем в частности.

Система ППР применялась при ремонте комбайнов в течение многих лет [85,86,87] в советское и постсоветское время и состояла из двух подсистем: технических обслуживаний и капитальных ремонтов. Технические обслуживания предполагают набор работ, которые отличаются друг от друга объемом, периодичностью проведения и перечнем обслуживаемых узлов.

Вместе с тем, наблюдения, проведенные во время длительного периода эксплуатации проходческих комбайнов, показывают, что произошедшие отказы являются следствием эксплуатационных факторов, которые, как правило, не были учтены при проектировании машин [117]. В этой связи работы по восстановлению работоспособности комбайнов следует проводить не только со стратегией регламентированных работ, а и в соответствии со стратегией по их текущему состоянию.

В настоящее время практикуется два варианта ремонтов. Первый вариант предусматривает проведение ППР, регламентируемых [96] с определенной периодичностью, которая не зависит от технического состояния гидравлических систем комбайнов. Второй вариант ремонтов предусматривает вместо ППР использовать систему технического обслуживания по фактическому техническому состоянию [133], которая является более прогрессивной. Основная

идея системы технического обслуживания по фактическому состоянию заключается в том, что в процессе эксплуатации осуществляется диагностика элементов гидропривода[133]. На основе полученных данных определяется текущее техническое состояние ГП, а затем на основании данных о техническом состоянии принимается решение [9] о необходимости проведения ТО и Р.

Этап эксплуатации проходческих комбайнов является одним из важнейших этапов их жизненного цикла. В начале своего функционирования они имеют высокую надежность, которая затем постепенно снижается. С течением времени в процессе эксплуатации системы проходческих комбайнов подвергаются воздействию различных факторов: агрессивных сред, запыленности воздуха в проходческих забоях, высоких динамических нагрузок при разрушении горных пород (в том числе и пород с твердыми включениями), низкого качества электрического питания приводных электродвигателей, недостаточного качества обслуживания и ремонта. Все перечисленное влияет на техническое состояние их узлов, и в них происходят необратимые физико-химические процессы, приводящие к отказам.

Для организации ТО и Р, определяющих эффективность использования и надежность проходческих комбайнов, необходимо установить взаимосвязь между процессом эксплуатации и процессом изменения их технического состояния. Эту взаимосвязь можно описать математической моделью прогнозирования эксплуатационной надежности.

## **4.2 Разработка методики оценки надежности элементов ГП**

В соответствии с работами [82. 134] методики прогнозирования надежности разрабатываются либо на основе степенных зависимостей, либо на основе статистических показателей надежности. В настоящем исследовании методики прогнозирования надежности узлов рассматриваются на основе данных

статистических показателей надежности для подсистем проходческих комбайнов, требующих восстановления, то есть без ремонта или замены вышедшего из строя элемента системы (или подсистемы) эксплуатация невозможна.

Одним из основных показателей надежности восстанавливаемых систем [80] является вероятность безотказной работы (ВБР)  $P(t)$ , статистическая оценка которой показывает, что вероятность того, что время наработки до отказа превышает величину  $t$ .

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (4.1)$$

где  $N = N_k \times N_9$  – число исходных объектов наблюдения;  $N_k$  – число наблюдаемых комбайнов;  $N_9$  – число элементов наблюдения в каждом комбайне;  $n(t)$  – число отказавших объектов за время  $t$ .

Статистические параметры потока отказов (ППО)  $\omega(t)$ , характеризующие интенсивность отказов для восстанавливаемых узлов (подлежащих ремонту или замене при отказах), определяются по зависимости:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (4.2)$$

где  $n(\Delta t)$  – число объектов, отказавших в интервале времени  $(t - 0,5 \cdot \Delta t) / (t + 0,5 \Delta t)$ .

Как отмечалось выше, гидравлическая система является наименее надежной из всех систем проходческого комбайна КСП-32, а гидравлические подсистемы перемещения исполнительного органа в плоскости забоя и подсистема погрузки (нагребающих лап) являются наименее надежными из всех подсистем гидравлической системы. На рисунке 4.1 приведена диаграмма, которая построена по результатам наблюдений за работой комбайнов КСП-32 на восьми шахтах ПО «Макеевуголь».

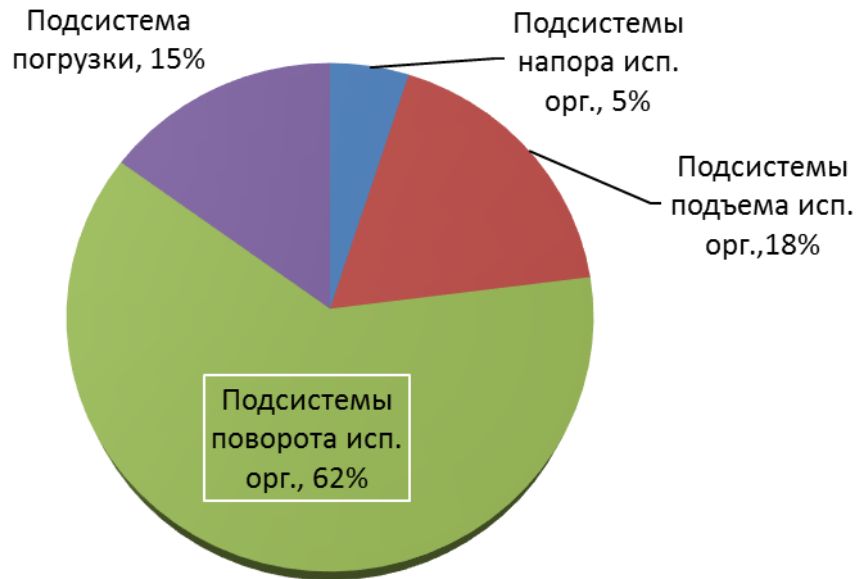


Рисунок 4.1. Диаграмма отказов гидравлических подсистем напора, подъема, поворота исполнительных органов и подсистем погрузки проходческих комбайнов КСП-32

Из данных, приведенных на рисунке 4.1, следует, что наименее надежными являются подсистемы поворота исполнительных органов, отказ которых составляет 62 % всех отказов подсистем, перемещающих исполнительные органы, и отказов подсистем погрузки (нагребающих лап). Анализ расстояний, на которые перемещаются исполнительные органы комбайнов за счет гидроцилиндров в горизонтальной и вертикальной плоскости, а также при надвиге на забой во время разрушения забоя арочной формы, свидетельствует, что наиболее нагруженными являются подсистемы поворота. За один проходческий цикл они при примерно одинаковых моментах сопротивления перемещают исполнительные органы на примерно в 4 раза большие расстояния, чем подсистемы подъема, и примерно в 12 раз на большие расстояния, чем подсистемы напора.

На рисунке 4.2 приведена гистограмма отказов подсистем поворота исполнительных органов.

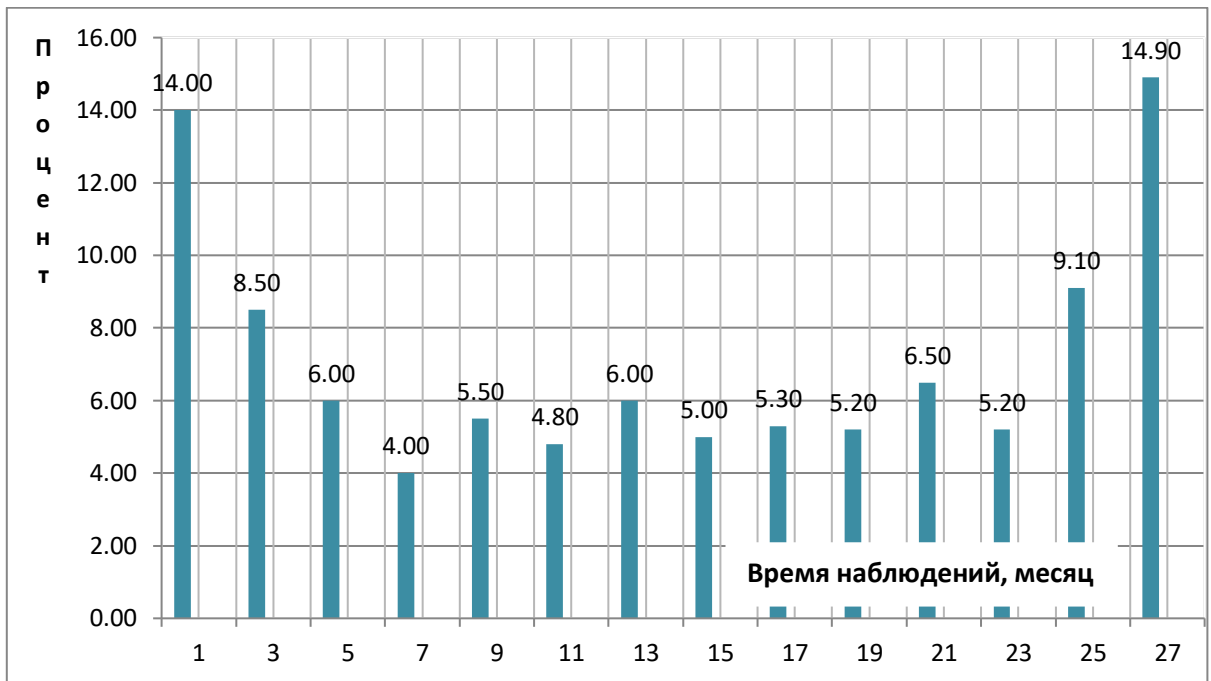


Рисунок 4.2. Гистограмма отказов подсистемы поворота по месяцам наблюдения

Из гистограммы, приведенной на рисунке 4.2, следует, что число отказов в первые шесть месяцев имеет высокие значения и составляет в сумме более 28 % всех отказов за все время эксплуатации. Объясняется это тем, что в первые шесть месяцев происходит приработка узлов комбайнов, приводящая к частым отказам. Затем в последующие 18 месяцев (в период нормальной эксплуатации) происходит примерно 47,5 % отказов, но на каждые шесть месяцев приходится в два раза меньше отказов (16 %). В последующие четыре месяца наблюдений за комбайнами происходит еще примерно 23 % отказов, то есть происходит возрастание интенсивности отказов, что объясняется явлениями износа и старения элементов гидравлической системы.

Определение рациональной периодичности ТОиР ГП проходческих комбайнов избирательного действия включает три этапа [47,55].

На первом этапе разработана методика прогнозирования эксплуатационной надежности узлов гидравлической системы, основанная на установлении ВБР, ППО и ресурса до капитального ремонта.

На рис. 4.3 приведены статистические графические зависимости ВБР и ППО от времени эксплуатации комбайнов, сглаженные методом скользящей медианы (функция medsmooth редактора MathCAD).

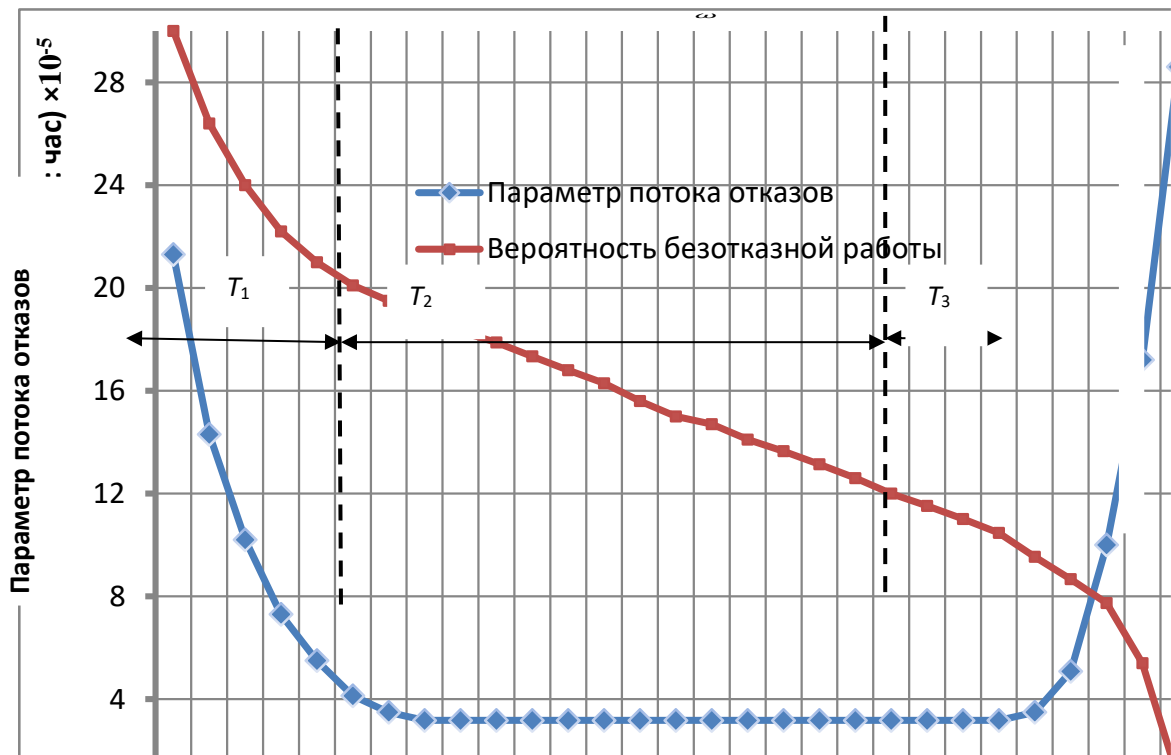


Рис.4.3. Зависимость ППО и ВБР подсистем поворота исполнительных органов от времени эксплуатации комбайнов

Из графика видно, что время эксплуатации (в течение 28 месяцев) подсистем поворота состоит из трех явно выраженных периодов:  $T_1$  – периода приработки,  $T_2$  – периода нормальной эксплуатации и  $T_3$  – периода интенсивного износа. Период приработки (6 месяцев) характеризуется высокими показателями интенсивности отказов, которые с течением времени снижаются. Отказы в этот период вызваны недостатками производственного характера: погрешностями при механической и

термической обработке, недостаточным качеством манжет и резиновых уплотнений, дефектами при сборке и монтаже и др.

Большинство погрешностей и дефектов обнаруживаются и устраняются в процессе заводских и приемочных испытаний, но часть элементов подсистем поворота остаются со скрытыми дефектами, которые проявляются и вызывают отказы в первый период эксплуатации  $T_1$  – период приработки. Эти отказы гидравлической подсистемы поворота исполнительных органов происходят внезапно (случайно) и не имеют какой-либо определенной закономерности. Высокие показатели отказов объясняется также интенсивными режимами работы, которые характеризуется большим числом циклов работы и динамическими режимами нагрузки, формирующимися при разрушении горных пород. Период нормальной эксплуатации  $T_2$  (6...24 месяца) согласно рис. 3 следует за периодом приработки. В этом случае имеет место наиболее низкий уровень ППО, приблизительно постоянной величины  $3,17 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Функция ППО носит экспоненциальный характер. После 24 месяцев эксплуатации проходческих комбайнов наступает период износа элементов подсистемы поворота, характеризующийся значительным увеличением ППО. В течение четырех месяцев интенсивность отказов увеличивается более чем в 9 раз и достигает  $28,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ . Отказы элементов поворота связаны с необратимыми процессами, связанными со старением резиновых уплотнений, износом металлических и пластмассовых деталей. Функция ППО описывается законом Вейбулла (табл.4 1).

Алгоритм определения законов распределения показателей надежности приведен на рисунке 4.4.

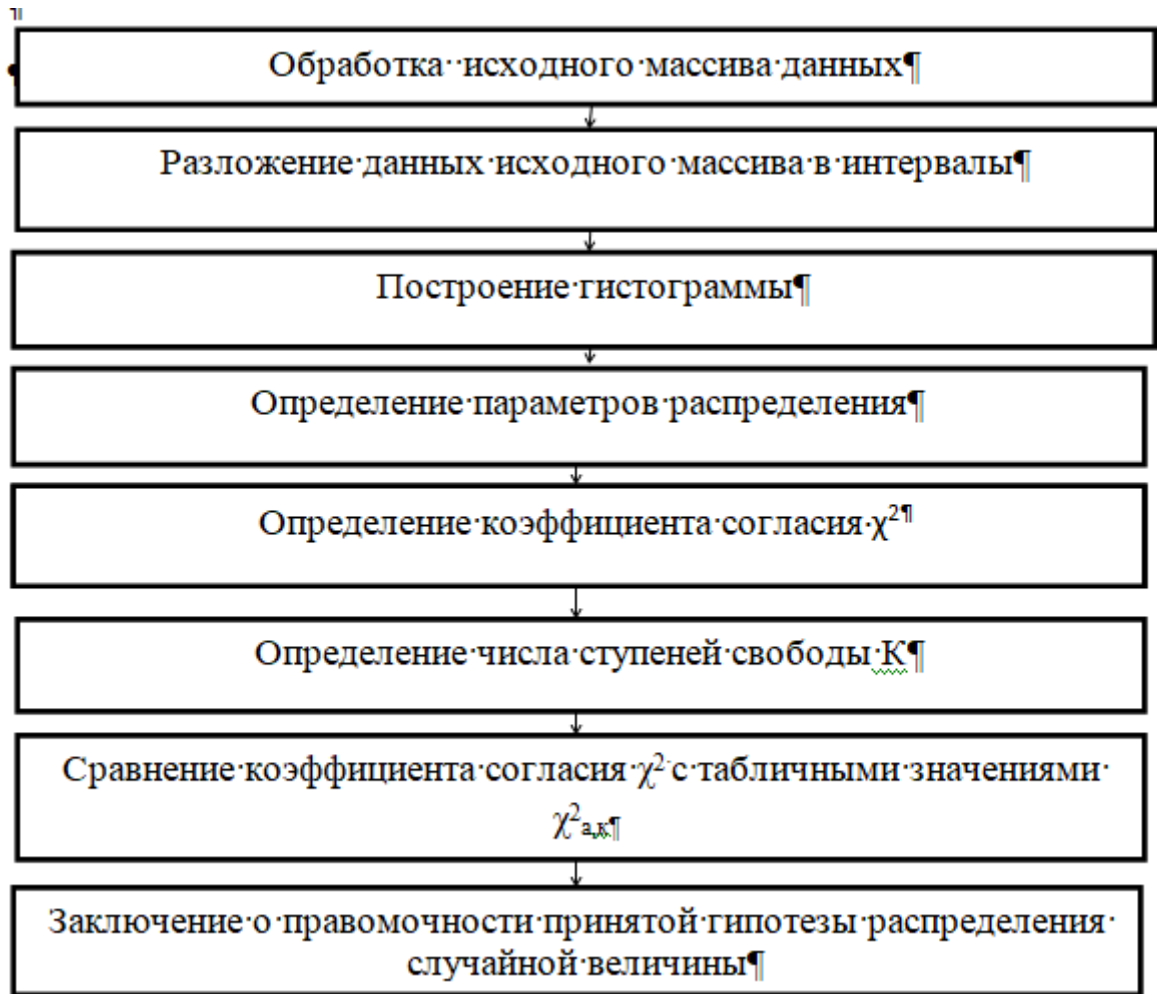


Рис. 4.4 Алгоритм определения законов распределения показателей надежности

Функции ВБР и ППО определялись по выражениям, приведенным в работе [44]:

– распределения Вейбулла:  $P(t)=1-\exp[-(\frac{t}{a})^b]$ ,  $\omega(t)=[\frac{b}{a}(\frac{t}{a})^{b-1}]$ ; (4.3)

– экспоненциальное распределение:  $P(t)=1-\exp[-(\frac{t}{a})]$ ;  $\omega(t)=[-(\frac{1}{a})]$ , (4.4)

где  $a$  – параметр масштаба,  $b$  – параметр формы.



Таблица 4.1 Результаты проверки гипотез распределения

№ п/п	Этап эксплуатации	Гипотеза закона распределения	Коэффициент степеней свободы	$\chi^2$	$\chi^2_{\alpha, k}$	Принятый закон распределения
1	Приработка	а) экспоненц.	5	12,7	11,07	Вейбулла
		б) Вейбулла	4	<u>8,05</u>	<u>9,49</u>	
		в) Лог. Нор-й	4	15,1	9,49	
2	Нормальный режим	а) экспоненц.	16	<u>18,1</u>	<u>26,3</u>	Экспоненциальный
		б) Вейбулла	15	28,7	25,3	
		в) Лог. Нор-й	15	30,2	25,3	
3	Износный режим	а) экспоненц.	2	6,71	5,99	Вейбулла
		б) Вейбулла	1	<u>2,83</u>	<u>3,84</u>	
		в) Лог. Нор-й.	1	8,92	3,84	

Таблица 4.2. ВБР и ППО подсистем поворота исполнительных органов

Период эксплуатации, месяцы	Закон математической модели	Зависимость ВБР	Зависимость ППО
1...6	Вейбулла	$P_1(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{1327}\right)^{0,95}\right]$	$\omega(t) = \left[\frac{0,95}{1327} \left(\frac{t}{1327}\right)^{-0,05}\right]$
6...24	Экспоненциальный	$P_2(t) = 1 - \exp\left[-\frac{t}{350}\right]$	$\omega(t) = \frac{1}{350}$
24...28	Вейбулла	$P_3(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{215}\right)^{1,25}\right]$	$\omega(t) = \left[\frac{1,25}{215} \left(\frac{t}{215}\right)^{-0,25}\right]$

Зависимости ВБР, приведенные в табл. 4.2, используются для прогнозирования надежности и определения долговечности подсистемы поворота. Алгоритм методики прогнозирования надежности приведен на рисунке 4.5.

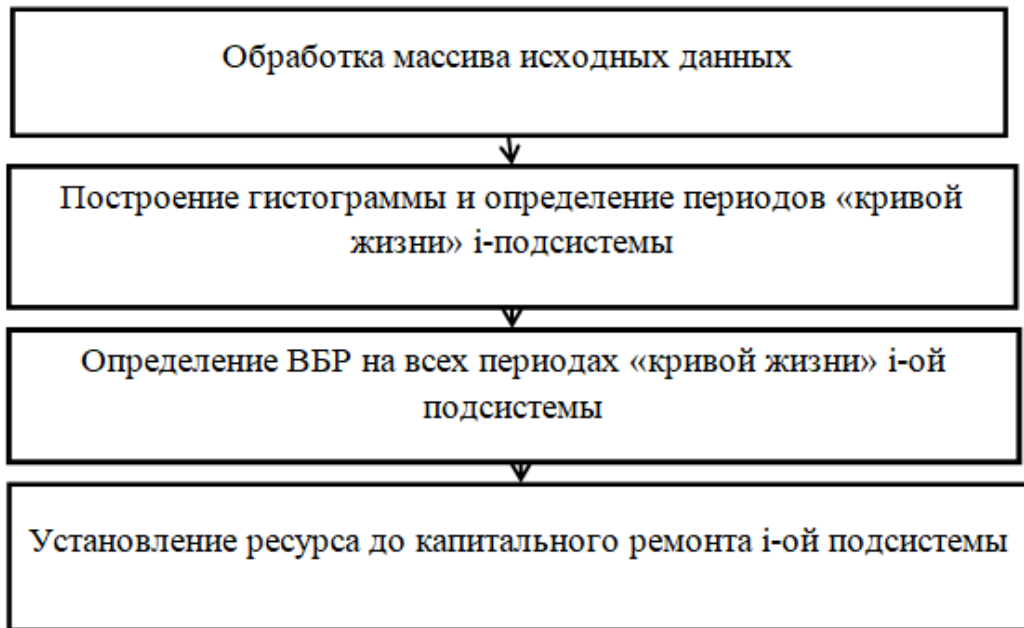


Рисунок 4.5 Алгоритм прогнозирования надежности

Долговечность характеризуется средним ресурсом до капитального ремонта  $T_p$  подсистем поворота и определяется по формуле:

$$T_p = \sum_{i=1}^n P(t) \cdot \Delta t, \quad (4.5)$$

где  $n$  – количество рассматриваемых интервалов времени  $\Delta t$ .

$$T_p = \left[ \sum_{i=1}^6 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{1327}\right)^{0,95} \right] \cdot \Delta t + \left[ \sum_{i=7}^{19} 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{350}\right) \right] \cdot \Delta t + \left[ \sum_{i=20}^{32} 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{350}\right) \right] \cdot \Delta t + \left[ \sum_{i=33}^{38} 1 - \exp\left(-\frac{t_i}{215}\right)^{1,25} \right] \cdot \Delta t \quad (4.6)$$

На втором этапе определяется периодичность и объем ТОиР на основе результатов прогнозирования эксплуатационной надежности. Для обеспечения рационального ТОиР проходческих комбайнов, широкого внедрения специализации ремонтных работ, а также для своевременного обеспечения

ремонтных работ материалами, запчастями и комплектующими узлами необходима оценка комплексных показателей надежности проходческих комбайнов. На рис. 4.6 приведены функции ВБР подсистем поворота при проведении ТОиР. После времени приработки  $T_{пр}$  происходит снижение ВБР до очень низкой величины 0,65. Срочно требуются ремонты, восстанавливающие ресурсы подсистем поворота (графики построены из предположения, что ресурсы после ремонтов восстанавливаются до 97% от первоначальных значений). Затем после каждых 14 месяцев нормальной работы  $T_{н1}$  и  $T_{н2}$  также требуются ремонты. Следует отметить, что в период работы  $T_{из}$  после 34 месяцев эксплуатации комбайнов целесообразно не проводить восстанавливающие ремонты подсистем поворота, а выполнять капитальные ремонты проходческих комбайнов на ремонтных заводах. Это объясняется тем, что в период износа очень резко снижается ВБР и через 5 месяцев работы достигает низкой величины 0,25.

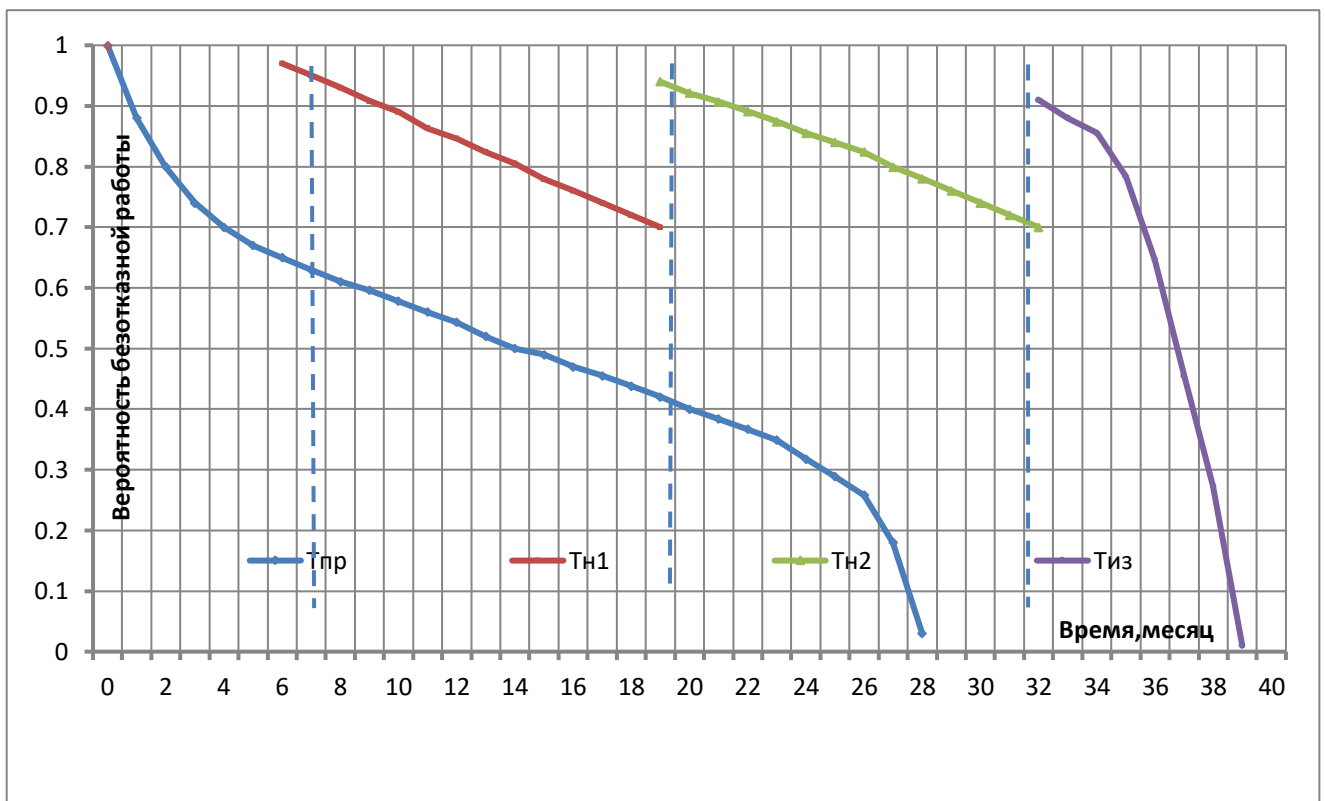


Рис. 4.6 Функция ВБР подсистем поворота исполнительных органов при проведении ТОиР и без проведения ТОиР.

Третий этап включает в себя разработку технических мероприятий по повышению надежности.

### 4.3 Разработка рекомендаций по техническим обслуживаниям и ремонтам комбайнов

На рис.4.7 приведена блок-схема предлагаемого рационального состава работ по ТОиР ГП проходческих комбайнов. Следует отметить, что проведение проверок, предусмотренных техническими обслуживаниями и текущими ремонтами, и устранение выявленных неполадок восстанавливает надежность подсистем гидравлических систем комбайнов.



Рис. 4.7 Рациональный состав работ по техническому обслуживанию и ремонту ГП проходческих комбайнов

Мероприятия по техническому обслуживанию ГП включают

регламентированные обслуживания, которые вытекают из опыта эксплуатации и предусмотрены в конструкторских, эксплуатационных или нормативных документах, а также включают обслуживания по техническому состоянию. Необходимо также производить предэксплуатационное техническое обслуживание при монтаже в монтажной камере, демонтаже в демонтажной камере и монтаже в новой монтажной камере на новом проходческом участке.

Регламентированные технические обслуживания следует производить ежемесячно, ежесуточно, еженедельно и ежемесячно. Технические осмотры оборудования, которые выполняют для контроля его технического состояния и своевременного выявления дефектов, производятся с применением внешних средств контроля или диагностирования. Для контроля используются как встроенные в конструкции комбайнов средства измерений, так и переносные устройства, используемые для измерения герметичности, вибрации и других показателей. Кроме этого, используются визуальные и измерительные контроли отдельных сборочных единиц оборудования с частичной, при необходимости, его разборкой, очистка смазочных жидкостей с помощью внешних очистительных устройств или замена смазочного материала.

Контроль исправности измерительных систем и средств измерений, наблюдения за креплениями металлических и гибких частей трубопроводов, подводящих рабочую жидкость ко всем потребителям гидравлической энергии, а также проверки на исправность подсистем гидравлической системы комбайна выполняются с остановкой работы или на работающей машине.

Кроме этого, на стадии эксплуатации комбайнов необходим контроль соблюдения режимов работы, условий и правил эксплуатации гидравлических систем, сбор и анализ информации о надежности комбайнов для выявления причин отказов, повреждений и разработки предложений по устранению этих причин. Очень важным для повышения надежности работы гидравлических приводов является необходимость обучения машинистов комбайна и слесарей-

ремонтников инженерно-техническим составом шахт особенностям конструкции машин, передовым методам их эксплуатации, ремонта и обслуживания [61].

*Ежесменное ТО.* Производится в каждой смене перед началом работы. Машинист комбайна и электрослесарь должны произвести визуально внешний осмотр всех составных частей комбайна с целью проверки их общего состояния и устранения замеченных недостатков. Также машинист обязан вести контроль работы систем и подсистем комбайна для сбора сведений об их техническом состоянии. Эти сведения необходимы для планирования работ по техобслуживанию в ремонтной смене. При контрольных технических осмотрах оборудования имеется возможность устанавливать фактическое состояние деталей, сопряжений и сборочных единиц, их соответствие планируемому виду технического обслуживания и вносить возможные изменения в планы текущих ремонтов. По этой причине контрольные осмотры особенно эффективны для осуществления своевременной замены быстроизнашивающихся деталей и оценки состояния наиболее ответственных функциональных систем.

Выполнение мелких ремонтных работ для уплотнения времени на техобслуживание, необходимо использовать промежутки технологического цикла, когда можно произвести безопасное устранение неисправностей и осуществлять контроль состояния исполнительных механизмов без остановки работы комбайна.

*Ежесуточное ТО.* Работы производятся в каждую ремонтную смену – это, как правило, первая смена из четырех суточных рабочих смен. К этим работам относится проверка и пополнение (в случае необходимости) уровня рабочей жидкости в гидравлическом баке, герметичности гидросистемы, редукторов и состояние отверстий сапунов гидробака. Проверяется и при необходимости производится настройка давления срабатывания предохранительных клапанов гидросистем. Настройка клапанов выполняется по манометру в интервалах между включениями соответствующих ГП комбайнов.

*Еженедельное и ежемесячное ТО.* При работе комбайнов в конкретных

условиях эксплуатации постепенно накапливаются данные о времени наработок между отказами, интенсивности отказов, результатах измерения контролируемых параметров, техническом обслуживании, текущих и других ремонтах. Поэтому после накопления информации можно усовершенствовать методику надежности и остаточного ресурса гидравлической системы комбайнов. На каждом горнопроходческом участке устанавливается состав работ по техническому обслуживанию и периодичность (график) их выполнения для каждой системы или подсистемы проходческого комбайна с учетом опыта эксплуатации. Вводится система контроля над своевременным проведением и выполненным объемом работ при техническом обслуживании, оформляются журналы технического обслуживания по отдельным системам и подсистемам комбайна, в которые должны вноситься сведения о выполненных работах, сроках выполнения и исполнителях. Указанные документы должны быть проанализированы и проработаны с персоналом и находиться на рабочих местах.

Ремонты оборудования комбайнов должны быть основаны на изучении и анализе ресурса работы деталей и узлов с установлением технически и экономически обоснованных планов.

Нерегламентированные ремонты – это предаварийные ремонты и аварийные ремонты, выполняемые для восстановления работоспособности объекта при внезапных поломках оборудования, вызванных нарушением условий эксплуатации, перегрузками или другими причинами.

Специфика ремонта проходческих комбайнов определяется их технической сложностью и большим разнообразием узлов (механических, гидравлических, электрических, измерительной аппаратуры и др.), входящих в системы и подсистемы машин. Для обеспечения технического обслуживания оборудования и выполнения ремонтных работ по устранению дефектов и неисправностей оборудования, возникших в процессе эксплуатации, необходимы ремонтные бригады, которые выполняют текущие и средние ремонты. Эти ремонты, как

правило, производятся в подземных условиях на месте эксплуатации или в монтажных и демонтажных камерах, и выполняются силами ремонтного звена проходческой бригады, а более сложные ремонты производятся ремонтными участками электромеханических служб шахт. При этом некоторые узлы, которые невозможно отремонтировать на предприятии, передаются для ремонта на специализированные ремонтные предприятия.

После использования всего ресурса комбайна необходимо проводить капитальный ремонт в заводских условиях, который выполняется для восстановления полного (или близкого к полному) ресурса. При этом заменяются или восстанавливаются практически все его части, включая базовые детали и баки для гидравлической жидкости.

Кроме капитального ремонта проходческих комбайнов в заводских условиях осуществляются ремонты по восстановлению изношенных деталей с одновременным повышением прочности, износостойкости, коррозионной стойкости и др. на основе применения современных технологических процессов (наплавка, электромеханическая обработка поверхностей, газотермическое напыление и др.).

Шахты и производственные объединения должны иметь запасной фонд агрегатов, узлов и деталей проходческих комбайнов, необходимых для проведения ремонтов. Источниками создания обменного фонда изделий и их составных частей являются: комплекты, поставляемые вместе с оборудованием; запасные части, поставляемые заводом-изготовителем по специальным заказам; узлы и детали, восстановленные в условиях шахтных мастерских и (или) в условиях специализированных ремонтных предприятий.

Основой для разработки плана ремонта проходческого комбайна или его основных узлов является прогнозируемая средняя наработка в часах, которую можно рассматривать и как количество пройденных метров горной выработки, или как объем разрушенной горной массы в период от начала до конца



ремонтного цикла.

Надежность отдельных систем и подсистем комбайнов в значительной степени определяется особенностями условий эксплуатации. Выше отмечалось, что элементы и детали гидравлической системы проходческого комбайна: клапаны, поршни и плунжеры, штоки, уплотнительные манжеты и уплотнительные кольца – имеют низкий ресурс. В связи с этим ППО их резко возрастают, что приводит к необходимости выполнения значительного объема неплановых технических ремонтов (ТР).

Для предотвращения отказов, а, следовательно, и уменьшения объема неплановых ремонтов для замен узлов и деталей необходимо выполнение в пределах системы ТО контрольных осмотров с выявлением по внешним признакам повреждений и отказов деталей (сборочных единиц). Это позволяет поддерживать определенный уровень надежности оборудования путем своевременного предупреждения и устранения отказов.

Исходя из вышесказанного, работы, проводимые по результатам контрольных технических осмотров, могут быть подразделены на две группы. В рамках проведения ТО: регулировочные работы (например, регулировка предохранительных клапанов) или устранение возникших повреждений (затяжка соединений и др.). В рамках проведения ТР предусмотрены замены вследствие отказа отдельных деталей (например уплотнительных манжет) или сборочных единиц (например в гидроагрегате).

Известно, что затраты на предэксплуатационное обслуживание зависят от периодичности демонтажных работ на пройденном проходческом участке и монтажных работ на новом участке. При небольшом периоде между монтажами вероятность нахождения проходческих комбайнов на момент осмотра в работоспособном состоянии будет высокой и излишнее предэксплуатационное ТО и Р только увеличит затраты, обусловленные простоями проходческого участка. Поэтому при прохождении небольших по протяженности выработок между монтажами ТО и Р целесообразно проводить с определенной периодичностью, а не при каждом демонтаже-монтаже.

#### 4.4. Выводы

Разработана методика прогнозирования надежности узлов гидравлической системы, основанная на установлении вероятности безотказной работы, параметров потока отказов и ресурсов до капитальных ремонтов.

Определено, что зависимости параметров потока отказов подсистем поворота исполнительных органов комбайнов состоят из трех явно выраженных периодов: периода приработки  $T_1=6$  месяцев, периода нормальной эксплуатации  $T_2=18$  месяцев и периода интенсивного износа  $T_3=4$  месяцев.

Установлено что закон распределения вероятности безотказной работы гидравлической подсистемы поворота исполнительных органов на участке приработки описывается законом распределения Вейбулла, на участке нормальной эксплуатации – экспоненциальным законом распределения, на участке износа – законом Вейбулла.

Для обеспечения современного технического обслуживания и ремонта проходческих комбайнов на основе результатов прогнозирования надежности определена рациональная периодичность и объем ТО и Р.

Предложены технические мероприятия по повышению надежности ГП проходческих комбайнов, которые включают рациональный состав и периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту.

## 5. РАЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ РЕМОНТОВ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

*(Основные положения этого раздела опубликованы автором диссертации в работе [128]).*

### 5.1 Разработка принципов определения рационального состава запасных частей

. Время восстановления комбайнов в работоспособное состояние после отказов и особенно после внезапных отказов зависит от сложности и времени доставки запасных частей к ремонтируемым комбайнам. В случае если запасные части имеются в местах хранения на проходческих участках или на складах механических мастерских шахт, то не требуются больших затрат времени на доставки к местам ремонтов комбайнов, поэтому и простои оборудования, связанные с ремонтами незначительные. Это позволяет повысить показатели надежности проходческих комбайнов такие как, например, время восстановления, коэффициенты готовности и др.

Для обеспечения повышения уровня надежности комбайнов очень важно определение номенклатуры и количества запасных частей, которые необходимо хранить в доступных местах, обеспечивающих без затруднений доставку и использование при ремонтах проходческих комбайнов избирательного действия и их ГП .

Определению номенклатуры и количества запасных частей (ЗИП [29,71] ) для ремонтов оборудования посвящено большое число работ. В статье [88] предлагается на основе данных исследований потока расходования ЗИП для ремонтов автомобилей крупного транспортного предприятия разработать предложения по оптимальным объемам и наименованию запасных частей. В работе [77] приведены результаты исследований по определению объемов и ЗИП горных машин, используемых для проведения горных выработок в объемах

поставок запасных частей для производственных объединений. Отсутствие системы достаточного учета расхода запасных частей [77.109], приводит к недостаточности запаса номенклатуры и количества ЗИП, что обуславливает необоснованно большие убытки из-за простоя оборудования. Вместе с тем в работах Орембургского государственного университета [110] отмечается, что кроме нехватки ЗИП, которая влияет на простои технологического оборудования и приводит к значительным убыткам, существует и проблема излишнего запаса ЗИП. Излишки ЗИП также приводят к значительным убыткам из-за материальных затрат на покупку запасных частей, которые не используются или недостаточно используются при ремонтах и обслуживании проходческих машин.

Количественный и номенклатурный состав запасных частей должны отвечать [110] двум основным требованиям. Первое требование обеспечивается при достаточности ЗИП, определяющих минимальное время восстановления после отказов, что приводит к повышению коэффициента готовности проходческих комбайнов и исключает простои оборудования из-за отсутствия отдельных типов деталей, подлежащих замене. Во-вторых, исключение накопления не используемых запасных частей, что снижает стоимость на их закупку транспортировку и складское хранение. Так как финансовые и трудовые затраты на реализацию различных количественных и номенклатурных вариантов поставки и хранения запасных частей будет различаться, то возникает вопрос оптимизации (минимизации) затрат с учетом указанных ограничений.

Для снижения простоев при эксплуатации и повышения коэффициентов готовности проходческих комбайнов типа КСП-32 за счет оптимизации необходимого для ремонтов количества и перечня ЗИП, были выбраны критерии определения необходимого резерва ЗИП, разработаны принципы и последовательность установления в их потребности. Затем были проведены экспериментальные исследования для получения данных о затратах времени восстановления агрегатов и узлов ГП проходческих машин типа КСП-32.

При определении необходимого количества запасных частей, обеспечивающих своевременные ремонты проходческих комбайнов данного типа с минимальными затратами, возможны следующие случаи формирования ЗИП:

- только для одного комбайна, эксплуатируемого на шахте;
- для нескольких комбайнов одного типа, эксплуатируемых на шахте;
- для большого числа комбайнов одного типа, работающих на группе шахт.

При любом варианте формирования ЗИП одним из критериев может быть время восстановления узла, агрегата или подсистемы  $T_{вос}$ , которое определяется по зависимости:

$$T_{вос} = T_u + T_{п.з.}, \quad (5.1)$$

Где  $T_в$  – время работы до восстановления;

$T_u$  – идеальное время восстановления работоспособности узла или подсистемы комбайна после отказа, т.е. в предположении, что запчасти для ремонта доставлены и находятся на рабочем месте ремонтников;

$T_{п.з.}$  - время доставки запчастей к комбайну для ремонта.

Коэффициент готовности  $K_г$  в этом случае определяется:

$$K_г = \frac{T_в}{T_в + T_u + T_{п.з.}}, \quad (5.2)$$

Формулу (5.2) можно преобразовать, умножив и числитель, и знаменатель на сумму  $(T_в + T_u)$ .

$$K_г = \frac{T_в}{T_в + T_u} \cdot \frac{T_в + T_u}{T_в + T_u + T_{п.з.}} = K_{г1} \cdot K_{п.з.}, \quad (5.3)$$

Где  $K_{г1}$  - коэффициент готовности без учета времени доставки запчастей для ремонта,

$K_{п.з.}$  - составляющая коэффициента готовности, учитывающая доставку запчастей для ремонта, и она может учитываться как критерий достаточности ЗИП для ремонта.

Время доставки запчастей может изменяться в значительных пределах. При доставке из хранилища (кайбаша) на проходческом участке  $T_{п.з.}$  может

исчисляться минутами, при доставке с поверхностного склада шахты - часами, при доставке с центрального склада производственного объединения – днями, а при поставке с завода изготовителя – неделями. Поэтому простои комбайна и, связанные с простоями комбайна, простои проходческого участка могут быть значительными.

В перечень возимого (непосредственно на комбайне) ЗИП должны быть включены элементы, которые могут быть повреждены во время ремонта или техническом обслуживании, при разборке и сборке узлов, а также могут быть утеряны, например, из-за вибраций при эксплуатации (это различного рода прокладки, болты, шпильки, кронштейны для крепления трубопроводов, винты, гайки и др.). Желательно также, чтобы эти комплекты ЗИП включали также необходимый перечень расходных материалов и быстроизнашиваемых деталей подсистем гидравлических систем проходческих комбайнов, которые могут внезапно отказывать и должны немедленно заменяться в процессе эксплуатации машин.

Очень часто принцип выбора ЗИП сводится к следующему [110].

Определяется математическое ожидание количества ремонтов после отказов однотипных элементов за время эксплуатации

$$m_3 = N_k k \omega T_3 \quad (5.4)$$

где  $N_k$  – число комбайнов эксплуатируемых на конкретной шахте или в конкретном производственном объединении;

$k$  – число однотипных элементов в конструкции одного комбайна;

$T_3$  – время эксплуатации, на которое рассчитана деталь или элемент гидросистемы;

$\omega$  – параметр потока отказов детали или элемента.

Затем вычисляется стоимость  $Z$  затрат, связанных с заменой вышедших из строя элементов

$$Z = (Z_{np} + m_3 Z_3) / N_k \quad (5.5)$$

где  $Z_{np}$  - стоимость затрат на приспособления, необходимые для ремонта.;

$Z_{э}$ - стоимость затрат на одну запасную часть (элемент).

Находим математическое ожидание времени восстановления  $t_{в.ср}$  одного изделия в часах за рассматриваемое время эксплуатации  $T_{рэ}$ .

$$t_{в.ср} = k \cdot t_{ei} / N_k \quad (5.6)$$

,где  $t_{ei}$ -время восстановления подсистемы за счет замены  $i$ -го вышедшего элемента на новую запасную часть.

Если стоимость затрат  $Z$  и среднее время восстановления  $t_{в.ср}$  не превышают заданных значений, то данная запасная часть включается в перечень необходимых запчастей.

Следует заметить, что значение времени  $T_{рэ}$  практически никогда не равно значению времени эксплуатации комбайна до капитального ремонта, которое может составлять и 30, и 40 месяцев. Рассматриваемое время  $T_{рэ}$  – это время, на которое рассчитывается запас ЗИП. Для проходческих комбайнов – это время составляет примерно 6÷9 месяцев. После использования для ремонтов какой-то позиции из номенклатуры или числа резерва запчастей, производится пополнение необходимого количества запчастей на следующий промежуток времени  $T_{рэ}$ . также примерно 6÷9 месяцев.

## **5.2 Экспериментальные данные исследований и разработка рекомендаций по резервированию ЗИП**

В таблице 5.1. приведены данные по времени восстановления отказов некоторых элементов гидравлических приводов проходческих комбайнов избирательного действия, полученных при проведении экспериментальных исследований в шахтных условиях.

Табл.5.1 Время восстановления неисправностей узлов комбайна КСП-32.

№п /п	Вид неисправностей	Вид ремонта	Время восстановления, час
1.	Течь гидроцилиндров подъема стола питателя КСП-32.36.00.000А	А) Замена резинотехнических изделий на одном гидроцилиндре.	16,5÷20
		Б) Замена одного гидроцилиндра	17,0 ÷19,5
2.	Течь гидроцилиндров поворота исполнительного органа КСП-32.19.04.000А	А) Замена резинотехнических изделий на одном гидроцилиндре. Б) Замена одного гидроцилиндра	16,0÷20,5 17,0 ÷19,0
3.	Течь гидроцилиндров телескопа исполнительного органа КСП-32.19.04.000А	А) Замена резинотехнических изделий на одном гидроцилиндре. Б) Замена одного гидроцилиндра	16,5÷20,5 16.5 ÷19
4.	Течь гидроцилиндров телескопа исполнительного органа КСП-32.16.00.000А	А) Замена резинотехнических изделий на одном гидроцилиндре. Б) Замена одного гидроцилиндра	16,0÷20,0 17 ÷19
5.	Поломка гидромотора КСП-42.03.02.220 ходовой тележки;	Замена гидромотора	11÷12,5
6.	Отказ гидромотора КСП-42.03.02.220 привода питателя;	Замена гидромотора	11,5÷13,5

Из данных, приведенных в таблице 5.1, следует, что время восстановления (простоя), приведенной номенклатуры узлов значительное и достигает иногда



более трех рабочих смен. При работе комбайнов часто наблюдаются ремонты, связанные с заменой резинотехнических изделий в подземных условиях, что приводит к большим простоям, но коэффициент восстановления ресурса ремонтируемого узла при этом низкий. Поэтому способ ремонта, основанный на замене агрегатов, является более предпочтительным, так затраты времени на восстановление примерно такие – же, как и при замене резинотехнических изделий, но восстановление ресурса при агрегатном ремонте значительно выше.

Наиболее простой способ определения среднего  $a_{cp}$  значения запасных частей состоит в делении рассматриваемого срока эксплуатации элемента на величину его наработки между отказами [110]

$$a_{cp} = \frac{T_{рз}}{T_{cp}}, \quad (5.7)$$

где  $T_{cp}$  - средняя наработка между отказами элемента.

Зависимость (5.7) позволяет определить среднее необходимое количество запасных частей. Вместе с тем, существует некоторая вероятность того, что в какой-то промежуток времени может потребоваться меньшее или больше, чем среднее количество запасных частей. Поэтому для более точного расчета необходимости в запасных частях вводится доверительный интервал, определяемый по формуле:

$$a = \omega T_{рз} + U \sqrt{\omega T_{рз}} \quad (5.8)$$

$U$  - квантиль функции нормального распределения для заданной вероятности  $P$  ( $P = 0,9 \dots 0,99$ ). Значения  $U$  табулированы [110].

### 5.3 Выводы

Выбраны критерии для определения необходимого запаса ЗИП, обеспечивающие минимальные экономические потери при отказах ГП комбайнов.

Разработаны принципы и последовательность установления рациональной потребности в ЗИП для ремонтов.

Проведены экспериментальные исследования в шахтных условиях по получению данных о затратах времени восстановления агрегатов и узлов ГП проходческих машин типа КСП-32.

Разработаны рекомендации электромеханическим службам шахт по резервированию ЗИП, необходимых для ремонтов с минимальными потерями.

## **6.ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ГП ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ**

*(Основные результаты исследований, представленные в данном разделе опубликованы автором диссертации в работах [122, 124]).*

### **6.1 Общие положения о ремонтпригодности ГП комбайнов**

Длительность, стоимость и сложность ремонтов в связи с наступлением отказов, в значительной степени, зависит от ремонтпригодности комбайнов и их гидравлических систем. Поэтому вопросы повышения ремонтпригодности проходческих комбайнов являются важными с позиций повышения эксплуатационной надежности и снижения материальных и трудовых затрат на обслуживание рассмотрены в нашей работе [124].

Проходческие комбайны относятся к машинам (объектам), у которых [45] на стадии эксплуатации отказавшие элементы ремонтируются или заменяются на новые, то есть комбайны относятся к *восстанавливаемым* объектам. Понятие ремонтпригодность [54] относится только к восстанавливаемым объектам. Свойство ремонтпригодность входит в состав перечня показателей надежности [44]. Для сложных изделий, к которым следует отнести и проходческие комбайны, так как во время их эксплуатации требуются значительные объемы работ по техническим обслуживаниям и ремонтам, в дополнении к свойству ремонтпригодность применяются другие свойства: эксплуатационной и ремонтной технологичности[137] изделия и его подсистем.

Ремонтпригодность ГП проходческих комбайнов характеризуется качественными и количественными показателями.

К качественным показателям ремонтпригодности относятся простота конструкций ГП с точки зрения сборки, разборки и демонтажа узлов и деталей. Также важна возможность диагностики с целью определения отказавших элементов и причин отказов для ремонтов.

При рассмотрении вопросов, связанных с ремонтпригодностью используются термины: повреждения и отказы. Под понятием повреждения [33] следует понимать отклонения от исправных состояний элементов комбайнов, но при сохранении их работоспособности. Такие повреждения возникают при износах и при старении металлических, пластмассовых и резинотехнических материалов элементов ГП. Комбайны находятся в исправном состоянии, если их состояние соответствует всем положениям нормативных документов и документам завода изготовителя. Проходческое оборудование находится в неисправном состоянии, если оно не соответствует хотя бы одному из этих требований [45]. Повреждения подлежат обязательному устранению (ремонту), потому что повреждения с течением времени могут превратиться в отказы.

Отказ работоспособности связан с изменением способности выполнять функции с требуемыми техническими параметрами, то есть, происходит переход работоспособного состояния в неработоспособное или не полностью работоспособное состояние.

## **6.2 Показатели ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов**

Улучшать ремонтпригодность ГП проходческих комбайнов возможно только при наличии набора ее количественных показателей. Численные характеристики ремонтпригодности, как и все показатели надежности машин и оборудования являются случайными величинами, поэтому для их определения используется математический аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Основными количественными показателями ремонтпригодности являются: вероятность восстановления за заданное время, плотность

вероятности и интенсивность восстановления, среднее время восстановления (ремонта) элементов ГП проходческих комбайнов.

1. Вероятность восстановления отказа за заданное время  $P_e(t)$  – это вероятность того, что время восстановления объекта в работоспособное состояние  $\tau$  не превысит заданного времени  $t$ :

$$P_e(t) = P(\tau < t), \quad (6.1)$$

Статистическая оценка вероятности восстановления работоспособного состояния определяется по зависимости:

$$P_e^*(t) = \frac{N_B(t)}{N_{OB}}, \quad (6.2)$$

где  $N_B(t)$  – число восстановленных элементов гидросистемы комбайнов за время  $t$ ;  $N_{OB}$  – общее число элементов гидросистемы, подлежащих восстановлению.

2. Плотность вероятности восстановления объектов в работоспособное состояние

$$f_e(t) = \frac{d[P_B(t)]}{dt} = \theta(t)e^{-t\theta} \quad (6.3)$$

где  $\theta(t)$  – интенсивность восстановления объекта в работоспособное состояние.

Статистическая оценка плотности вероятности восстановления объектов в работоспособное состояние:

$$f_e^* = \frac{N_B(\Delta t)}{\Delta N_{OB}}, \quad (6.4)$$

где  $N_B(\Delta t)$  – число восстановленных объектов в интервале времени  $\Delta t$ .

Статистическая оценка интенсивности восстановления объектов определяется по зависимости:

$$\theta^*(t) = \frac{N_B(\Delta t)}{\Delta t[\Delta N_{OB} - N_B(t)]}. \quad (6.5)$$

3. Значения среднего времени устранения отказа (выполнения ремонта)  $T_e$  чел-час., обеспечивает вероятность выполнения ремонта в заданное время.

Статистическая оценка среднего времени восстановления объекта в работоспособное состояние

$$T_{\text{в}}^* = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{ОВ}}} t_{\text{в}i}}{\sum_{i=1}^{N_{\text{ОВ}}} n_i}, \quad (6.6)$$

Где  $t_{\text{в}i}$  и  $n_{\text{в}i}$  - соответственно длительность  $i$ -го восстановления и число  $i$ -х восстановлений.

Из выражения (6.6) следует, что  $T_{\text{в}}^*$  - это среднее время, затрачиваемое на восстановление одного отказа в одном объекте.

Кроме приведенных численных показателей ремонтпригодности используются и комплексный ремонтпригодности показатель коэффициента готовности  $K_z$ , измеряемый в % или часах. Этот показатель характеризует период времени, в течение которого данное оборудование должно находиться в эксплуатационной готовности. Коэффициент готовности является комплексным показателем, характеризующим два свойства оборудования – его безотказность (время наработки между отказами) и ремонтпригодность (время устранения отказа).

### **6.3 Экспериментальные исследования ремонтпригодности в шахтных условиях**

На основе экспериментальных исследований проходческих комбайнов типа КСП-32 на восьми шахтах производственного объединения по добыче угля «Макеевуголь» Донбасса получены данные численных показателей ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов. Данные параметров восстановления элементов гидросистем проходческих комбайнов избирательного действия, полученные во время проведения пассивных экспериментов в горных выработках сечением  $S_{\text{в}} = 23 \div 28 \text{ м}^2$  и  $S_{\text{в}} = 10 \div 12 \text{ м}^2$ , приведены в таблице 6.1.

Табл.6.1 Статистические значения параметров восстановления элементов гидравлических систем комбайнов КСП-32

№ пп	Вид неисправности,	Способ устранения неисправности	Модель восстановления	Вероятность восстановления при :	Среднее время восстановления, при ремонтах, ч ас
				$S_B = 23 \div 28 \text{ м}^2$ $S_B = 10 \div 12 \text{ м}^2$	
1	Течь гидроцилиндров подъемного стола питателя КСП-32.36.00.000	А. Замена гидроцилиндра	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,1587]$	6,3
				$P_e(t) = \exp [-0,09]$	11,1
		Б. Замена манжетных и резиновых уплотнений (МРТИ)	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,139]$	7,2
				$P_e(t) = \exp [-0,1163]$	8,6
2	Течь гидроцилиндра подъемного исполнительного органа КСП-32.16.00.000 А	А. Замена гидроцилиндра	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,1099]$	9,1
				$P_e(t) = \exp [-0,0064]$	15,4
		Б. Замена МРТИ	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [0,1052]$	9,5
				$P_e(t) = \exp [-0,0877]$	11,4
3	Течь гидроцилиндров - телескопа КСП-32.33.00.000 А	А. Замена гидроцилиндра	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,167]$	6,0
				$P_e(t) = \exp [-0,099]$	10,1
		Б. Замена МРТИ	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,1562]$	6,4
				$P_e(t) = \exp [-0,1205]$	8,3
4	Течь гидроцилиндров поворота	А. Замена гидроцилиндра	экспоненциальный	$P_e(t) = \exp [-0,1639]$	6,1
				$P_e(t) = \exp [-$	10,7

	КСП-32.19.04.000 А;	Б. Замена МРТИ	экспоненциальная	$0,0935]$	
				$P_6(t) = \exp [-0,1492]$	6,7
				$P_6(t) = \exp [-0,1149]$	8,7
5	Выход из строя гидромотора ходовой тележки КСП - 42.03.02.220	Замена гидромотора	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,3125]$	3,2
				$P_6(t) = \exp [-0,2083]$	4,8
6	Выход из строя гидромотора питателя КСП - 42.03.02.220	Замена гидромотора	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,2631]$	3,8
				$P_6(t) = \exp [-0,1538]$	6,5
7	Выход из строя насоса НШ50М-4	Замена насоса	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,3125]$	3,2
				$P_6(t) = \exp [-0,2632]$	3,8
8	Выход из строя насоса НШ10-3	Замена насоса	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,3226]$	3,1
				$P_6(t) = \exp [-0,25]$	4,0
9	Выход из строя гидроблока подпора хода КСП-33.09.04.000	Замена гидроблока	экспоненциальный	$P_6(t) = \exp [-0,2857]$	3,5
				$P_6(t) = \exp [-0,1923]$	5,2
10	Выход из строя гидроблока хода КП-32.09.01.100 А	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,2941]$	3,4
				$P_6(t) = \exp [-0,270]$	3,7
11	Выход из строя гидроблока управления КСП-	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,2777]$	3,6
				$P_6(t) = \exp [-0,25]$	4



	32.37.10.000				
12	Выход из строя гидроблока тормозной КСП-32.37.04.000	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,25]$	4
				$P_6(t) = \exp [-0,1923]$	5.2
13	Выход из строя гидроблока предохранительно-измерительного КСП-32.24.09.000 А	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,2632]$	3,8
				$P_6(t) = \exp [-0,2]$	5
14	Выход из строя гидроблока исполнительного органа КСП-32.09.04.000 Б	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,3448]$	2,9
				$P_6(t) = \exp [-0,24]$	4,1
15	Выход из строя фильтра 2ФГА-32.00.000-25	Замена фильтра	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,3125]$	3,2
				$P_6(t) = \exp [-0,303]$	3.3
16	Выход из строя переключателя КСП-32.37.00.300	Замена переключателя	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,25]$	4
				$P_6(t) = \exp [-0,243]$	4.1
17	Выход из строя гидроблока конвейера КСП-22.29.05.000	Замена гидроблока	экспоненциальная	$P_6(t) = \exp [-0,4]$	2,5
				$P_6(t) = \exp [-0,3846]$	2.6
18	Течь масла	Замена	экспонен-	$P_6(t) = \exp [-$	2,1

	по рукавам высокого давления(РВД)	рукавов высокого давления	циальная	$0,4762]$	
				$P_e(t) = \exp [-0,4545]$	2,2
19	Выход из строя устройства управления КСП-33.20.00.000	Замена устройства управления	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,2857]$	3,5
				$P_e(t) = \exp [-0,2174]$	4,6
20	Выход из строя гидроопоры КСП-32.34.06.000	Замена гидроопоры	экспоненциальная	$P_e(t) = \exp [-0,1613]$	6,2
				$P_e(t) = \exp [-0,0952]$	10,5

Следует отметить, что комбайны КСП-32 используются для проведения выработок сечением от 10 до 28 м<sup>2</sup>. Данные, приведенные в таблице 6.1, относятся к условиям проведения выработок больших сечений 23 ÷ 28 м<sup>2</sup>. Из таблицы 6.1 видно, что вероятности восстановления подчинены экспоненциальному закону. Определены зависимости вероятности восстановления и значения математических ожиданий восстановлений, которые изменяются в широких пределах от 15,4 часа до 2,1 часа. Более высокие значения времени восстановления относятся к крупным и тяжелым узлам (гидроцилиндры, гидромоторы, тяжелые гидроблоки), меньшие значения относятся к ремонтам легких элементов (гидрораспределители, гидрозамки, клапаны, гидромагистраль и др.). При проведении выработок малых сечений 10 ÷ 12 м<sup>2</sup> значения математических ожиданий времени восстановления возрастают в полтора, а иногда и в два раза в сравнении с математическими ожиданиями восстановления гидроузлов при проходке выработок больших сечений. Это происходит из-за затруднений использования подъемных механизмов при проведении ремонтов в подземных подготовительных выработках. Кроме этого доставка крупных и тяжелых (массой до 450 кг) запасных частей к местам ремонтов требует значительных затрат труда.

Поэтому повышение ремонтпригодности проходческих комбайнов должно происходить с учетом горно-геологических и горнотехнических особенностей подземных условий ремонтов.

К особенностям ремонтов проходческих комбайнов в подземных условиях следует отнести, во-первых, стесненные условия проводимых горных выработок. Во-вторых, наличие в атмосфере выработки значительной запыленности воздуха, а на почве разрушенной горной породы, штыба и грязи, что предъявляет требования к защите запасных частей и расходных материалов от возможных загрязнений. Стесненные, а иногда и загроможденные проходы, затрудняющие доставку тяжелых и крупногабаритных агрегатов и узлов к ремонтируемым комбайнам. В-третьих, при ремонтах комбайнов обслуживающий персонал должен находиться только в закреплённом пространстве. В-четвертых, должны быть усилены арочная крепь и верхняки рам, к которым подвешиваются грузоподъёмные устройства - жаки, ручные и электрические лебедки, а также блоки и шкивы. Установка дополнительной крепи и верхняков требует затрат времени и приводит к увеличению сроков ремонтов. В-пятых, должно обеспечиваться достаточное освещение рабочих мест, где производятся ремонты.

Анализ статистических данных ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов позволяет разработать рекомендации по усовершенствованию ремонтов проходческих комбайнов.

Конструкции комбайнов должны обеспечивать легкую доступность к узлам и деталям для осмотра или замены. Крупные детали запчастей должны иметь съемные рымболты, которые после установки на проходческий комбайн должны сниматься, а отверстия должны «глушиться» пробками для предохранения резьбы.

Сменные детали должны быть взаимозаменяемыми с запасными частями, что накладывает значительные ограничения на так называемые «ремонтные» размеры, применяемые часто на предприятиях по восстановлению элементов ГП.

Замена поврежденных узлов должна происходить *на заранее подготовленные и доставленные к ремонтируемым комбайнам*, что значительно сокращает ремонтный простой машины и повышает показатели ремонтпригодности.

Кроме этого весьма важно совершенствование и улучшение руководящих положений завода-изготовителя по ремонту и обслуживанию ГП комбайнов.

Желательно чтобы в конструкции комбайнов были встроены устройства для диагностики, позволяющие без разбора на составные части элементов комбайнов определять причины повреждений и узлы, подлежащие замене. Это позволит уменьшить трудоемкость ремонтов, но, к сожалению, и приведет к увеличению стоимости изготовления проходческих комбайнов.

#### **6.4 Предлагаемые способы восстановления изношенных элементов ГП проходческих комбайнов**

Вопросам упрочнения и восстановления изношенных поверхностей деталей посвящено большое число научно-исследовательских работ. Так, например, в работе [95] рассмотрены вопросы восстановления деталей за счет алмазной обработки материалов. В работах [45,137] восстановление рабочих поверхностей деталей предлагается за счет их лазерной обработки. В [92,95] предложены прогрессивные импульсные технологии, способ электроконтактной и комбинированной фрикционно-электрической обработки стальных поверхностей материалов, абразивно-изношенных сопрягаемых поверхностей деталей [11,54,70,13]. Одним из наиболее перспективных, на наш взгляд, способов упрочнения и восстановления внутренних поверхностей

гидроцилиндров ГП является технология электромеханической обработки, разработанная в Ульяновском сельскохозяйственном институте.

С целью снижения затрат на ремонты, важной задачей является разработка современных рекомендаций по восстановлению вышедших агрегатов, узлов и деталей. Восстановление этих объектов производится на специализированных предприятиях, занимающихся ремонтом элементов ГП проходческих комбайнов.

Все элементы гидравлических систем проходческих комбайнов КСП-32, которые во время ремонтов демонтируются, а затем меняются на новые элементы, и в последующем подлежат восстановлению на ремонтных предприятиях, можно разделить на пять групп.

1. Гидроцилиндры телескопа, гидроцилиндры гидроопор, гидроцилиндры подъема и поворота конвейера, гидроцилиндры подъема, поворота исполнительного органа и питателя.

2. Гидроблоки погрузки и исполнительного органа, гидроблоки предохранительно-измерительные, гидроблоки управления и подпора хода гидроблок конвейера. электрогидроблоки, гидрораспределители;

3. Гидромоторы механизма перемещения и питателя;

4. Насосы гидроагрегата;

5. Гидроклапаны давления, гидроклапаны типа «ИЛИ», двухсторонние гидрозамки, гидрозамки, клапаны дроссельные, переключатели манометров, краны.

В элементах первой группы изнашиваются внутренние поверхности цилиндров, поверхности штоков, поршней и грундбукс. Для восстановления поверхностей цилиндров обычно их растачивают до ремонтных размеров, увеличивая диаметры на 1...2 мм и затем раскатывают на раскатном станке для упрочнения поверхностей и получения необходимой чистоты.

Такая практика ремонтов приводит к потере взаимозаменяемости, что может сказаться, например, при замене манжетных уплотнений в подземных условиях. Отсутствие манжет ремонтного размера приведет к значительным простоям, материальные убытки от которых могут значительно превысить стоимость восстановленной детали с использованием ремонтных размеров.

Поэтому для восстановления изношенных поверхностей гидроцилиндров

целесообразно использовать следующие способы: наплавку, металлизацию, хромирование, никелирование, осталивание, упрочнение поверхности деталей и восстановление их формы под давлением а также электромеханический способ восстановления изношенных внутренних поверхностей гидроцилиндров рассмотрен в нашей работе[122].

Внутренние изношенные поверхности корпусов элементов 3–5 групп целесообразно восстанавливать притиркой с использованием алмазной пасты либо хонингованием. Эта технология автором передана заводу «Спец-реммаш» г Горловка Донецкой области, где она используется в настоящее время. Изношенные поверхности подвижных деталей элементов групп 2; 3 и 4 рекомендовано восстанавливать твердыми пористыми хромовыми покрытиями (толщина покрытия 0,25- 0,3 мм). Поры при гальваническом покрытии пористым хромом образуются при изменении анодного тока. Также предлагается восстанавливать штоки и плунжера гидроцилиндров за счет наплавки нержавеющей проволокой и наращивания слоя стали (осталивание, или железнение), который является один из эффективных методов, позволяющий наращивать слой стали в 20 раз больше, чем слой гальванического покрытия хрома. После гальванического покрытия необходима механическая обработка.

Рабочие детали (шарики, грибочки, конусы и др.) в 5-ой группе элементов ГП рекомендовано заменять новыми деталями, которые изготавливаются промышленностью массово или большими сериями при их низкой себестоимости.

### **6.5 Исследование восстановления внутренних поверхностей гидроцилиндров электромеханическим способом**

Как известно в проходческих комбайнах со стреловидными исполнительными органами перемещение разрушающих коронок в плоскости забоя происходит за счет линейных ГП включающих большое число гидродомкратов. На заводах-изготовителях гидродомкраты, правило,

изготавливаются из нормализованной стали 30ХГСА и твердость их рабочих поверхностей не превышает значений 230...270 НВ. Ни на заводах-изготовителях и ни на ремонтных предприятиях при восстановлении гидродомкратов внутренние поверхности не термообрабатываются и не упрочняются. Известно [95], что твердость поверхностей, при прочих равных условиях, влияет на стойкость материалов при абразивном изнашивании.

Следует отметить, что гидродомкраты перемещения исполнительных органов в вертикальной и горизонтальной плоскостях совершают до 300 движений за один цикл заходки, при этом количество изменений движений за сутки может достигать до 1500 – 2000. Скорости перемещения исполнительных органов довольно высокие и достигают 0,15м/с при значительных (достигающих  $10^2$  кН) суммарных нагрузках на исполнительном органе в направлении его движения.

Большие нагрузки, высокие скорости движения и попавшие в зазоры пар трения ГП абразивные частицы обуславливают абразивный износ внутренних поверхностей гидроцилиндров, имеющих небольшие значения твердости. Абразивные частицы обычно попадают в рабочие полости машины из воздуха. Из абразивных частиц, перемещаемых воздухом, наибольшее изнашивающее действие оказывают частицы колчедана и других крепких пород и включений, имеющие высокую твердость. Их размер может составлять 30 мкм и более, и они могут находиться во взвешенном состоянии в воздухе. Воздушные фильтры (сапуны) маслобаков проходческих комбайнов задерживают крупные частицы абразивной пыли, а мелкие попадают в емкость рабочей жидкости, а затем абразивные частицы вместе с рабочей жидкостью поступают в пары трения. Кроме этого абразивные частицы могут поступать из литейных полостей узлов и деталей комбайнов, а также появляются в рабочей жидкости как продукты разрушения металлических поверхностей механизмов гидравлической системы комбайна. Все эти частицы участвуют в абразивном износе. Абразивный износ

заключается в разрушении внутренних поверхностей гидроцилиндров твердыми зернами абразива при микрорезании трущихся поверхностей и при их пластической деформации, а также твердые зерна могут впрессовываться в более мягкую поверхность пары трения, скользить или перекатываться вдоль внутренней поверхности цилиндра, пластически деформируя и изнашивая её. Кроме абразивного износа в гидравлических системах проходческих комбайнов присутствует в том числе и гидроабразивный износ. При гидроабразивном износе носителями абразивных частиц являются рабочие жидкости гидросистемы. Поток рабочей жидкости при движении с большой скоростью ударно воздействует абразивными частицами на элементы гидросистемы проходческого комбайна и при этом изнашивают их. В связи с очень большой запыленностью воздуха в проходческих забоях абразивный и гидроабразивный износы являются доминирующими для проходческих машин и оборудования. Поэтому для повышения износостойкости гидродомкратов необходимо повышать твердость их внутренних поверхностей.

В настоящей диссертационной работе были проведены исследования по повышению твердости и износостойкости внутренних поверхностей гидроцилиндров перемещения исполнительного органа в вертикальной и горизонтальной плоскости КСП 32 .16.00.000, КСП 32 .19.04.000 и гидродомкратов подъема питателя КСП 32 .31.00.000. за счет электромеханической обработки при восстановлении на ремонтном предприятии.

При проведении исследований входит произведен замер износа внутренних поверхностей гидродомкратов, взятие и анализ проб на загрязнение рабочей жидкости гидросистем проходческих комбайнов КСП-32, эксплуатируемых на различных шахтах (в различных горно-геологических условиях). При анализе рабочей жидкости устанавливаются размер, литографический состав и твердость породных включений.

В таблице 6.2 приведены данные состояния рабочей жидкости



гидросистемы проходческих комбайнов. Пробы рабочей жидкости (масло ИГП 72) взяты в подземных условиях шахт. Анализы проб рабочей жидкости выполнены в лаборатории Института физики горных процессов.

Таблица 6.2. Результаты анализа проб рабочей жидкости гидросистемы проходческих комбайнов

Номер п/п	Наименование предприятия	Тип комбайна	Содержание (%) породных включений	Содержание (%) металлических включений
1	Шахта «Ждановская»	КСП-32	1,4	0,2
2	Шахта «им.Засядько»	КСП-32	0,9	0,1
3	Шахта «Россия»	КСП-32	1,2	0

Результаты анализов качества рабочей жидкости, проведенные на заводе Спецреммаш, показали, что рабочие жидкости содержат до 1,5 % породных, металлических и окалинных примесей. Максимальные размеры включений достигают 75 мкм. Установлено, что породные включения содержат частицы колчедана, пирита, кварца, кремния, песчаника, песчанистого сланца и угля. Некоторые частицы являются абразивами очень высокой твердости, значительно (в несколько раз) превышающей твердость внутренней поверхности цилиндров, что приводит к интенсивному повреждению и износу их внутренних поверхностей. Изношенные внутренние поверхности цилиндров свою очередь за счет возникшей шероховатости приводят к разрушению направляющих втулок, очистительных колец и манжет, это обуславливает увеличение зазоров между цилиндрами и поршнями домкратов, повышению утечек и к выходу их из эксплуатации. На рисунке 6.1 приведен образец изношенной манжеты

В таблице 6.3 приведены результаты дефектирования ГП перемещения исполнительного органа в вертикальной плоскости комбайна (КСП 32 .16.00.000), ГП перемещения исполнительного органа в горизонтальной плоскости (КСП 32 .19.04.000) и ГП подъема питателя (КСП 32 .31.00.000 )



Рисунок 6.1. Образец изношенной манжеты

Замер шероховатости износа производился при помощи профилометра ПЧ-2, приведенного на рисунке 6.2



Рисунок 6.2. Профилометр ПЧ-2

Таблица 6.3. Результаты дефектирования гидродомкратов комбайна типа КСП32

Но мер п/п	Наименова ние предприяти я	Заводской номер чертежа домкрата	Длина изношенно й части домкрата, мм	Максималь- ный износ диаметра, мм	Максималь- ная глубина рисок, мкм
1	Шахта «Ждановск ая»	КСП -32 .16.00.000	550	0,4	120
		КСП- 32 .19.04.000	630	0,7	100
		КСП- 32 .31.00.000	370	1,2	150
2	Шахта «Засядько»	КСП-32 .16.00.000	650	1,1	170
		КСП- 32 .19.04.000	430	0,7	130
		КСП -32 .31.00.000	330	1,6	100
3	Шахта « Россия»	КСП -32 .16.00.000	540	0,5	100
		КСП- 32 .19.04.000	460	1,2	150
		КСП-32 .31.00.000	280	0,7	110

Из анализа данных приведенных в таблице 6.3 следует, что износ внутренних поверхностей цилиндров по длине составили от 280 мм до 630 мм, износ диаметров значительный и достигает 0,7мм для гидродомкратов КСП-32.31.00.000, 1,2 мм- для гидродомкратов КСП-32 .19.04.000, 000 и 1,6 мм - для гидродомкратов КСП-32. 31. 00.

Максимальная глубина рисков изменяется в пределах 100...170 мкм для ГП КСП32. 16. 00. 000. Максимальная глубина рисков 100...150 мкм для ГП КСП32. 19. 04. 000. Максимальная глубина рисков 100 ...110 мкм для гидродомкратов КСП32. 31.00. 000.

Для восстановления, упрочнения и повышения твердости внутренних поверхностей гидродомкратов проходческих комбайнов на заводе Спецреммаш проводился эксперимент по электромеханической обработке поверхностей на установке, приведенной на рисунке 6.3.

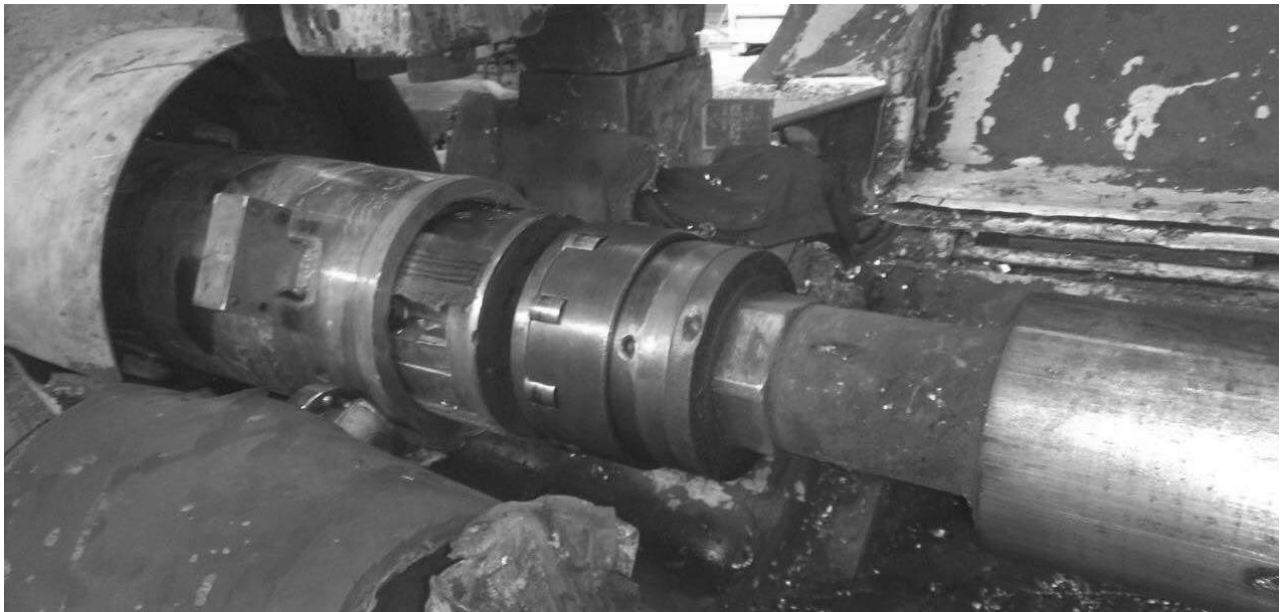


Рисунок 6.3. Экспериментальная установка для электромеханической обработки внутренней поверхности цилиндров

Установка базируется на токарно-винторезном станке типа 1М63. В задней бабке устанавливается раскатная головка. Последовательность обработки внутренней поверхности цилиндра состоит в следующем: гидроцилиндр устанавливается и закрепляется в патроне передней бабки токарного станка. Соосность гидроцилиндра и раскатной головки при обработке обеспечивается неподвижным роликовым люнетом типа 1М63Б.66.000.

Электромеханическая обработка (упрочнение) [11;13] основана на использовании термического и силового воздействия на внутренние поверхности гидроцилиндров. В результате значительно изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя, повышается микротвердость и износостойкость. Сущность обработки состоит в том, что через деформирующий элемент, например, раскатный ролик пропускают ток большой силы (100...1200 ампер) и низкого напряжения (1...8 вольт). В результате чего в зоне контакта ролика с поверхностью детали из-за высокого электрического сопротивления зоны контакта происходит сильный нагрев контактирующих неровностей (гребешков) обрабатываемой поверхности, и под силовым воздействием инструмента они

деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой упрочняется (закаливается) за счет быстрого отвода тепла в основную массу материала и скоростного охлаждения от эмульсии. При этом разогрев до температур фазовых превращений ( $t=850-950^{\circ}\text{C}$ ) приводит к упрочнению поверхностного слоя металла.

Электромеханическое упрочнение характеризуется следующими особенностями:

1. Термическое и деформационное действие на плоскость материала выполняется одновременно;
2. Нагрев поверхностного слоя происходит от 2-х источников: внешнего источника из-за теплоты трения и деструкции при накатке; внутреннего источника из-за термической энергии, возникающей при прохождении электрического тока.
3. Длительность нагрева и паузы зависит от размера поверхности контакта и скорости обкатки, является довольно кратковременной и измеряется сотыми, а иногда тысячными долями секунды;
4. Большая скорость остывания определяется интенсивностью отвода тепловой энергии из тонкого поверхностного слоя в массив холодной детали и подачей охлаждающей жидкости;
5. Внешний слой детали может подвергаться многократному термическому действию, при нескольких проходах раскатки.

Большими достоинствами этого способа являются отсутствие нагрева и термообработки основной массы металла детали. Упрочнению подвергается только поверхностный слой, при этом основная масса металла остается “мягкой” и вязкой, что повышает безопасность эксплуатации при динамических режимах нагружения деталей.

В качестве источника технологического тока использовался однофазный трансформатор. Раскатная головка представлена на рис.4. подключается к вторичной обмотке трансформатора, ее корпус изолировано установлен в задней

бабке токарного станка. Ролики диаметром 20 мм раскатной головки выполнены из материала ШХ15.



Рисунок 6.4. Раскатная головка для электромеханического упрочнения внутренней поверхности цилиндров.

При экспериментальных исследованиях испытывались образцы гидроцилиндров с различной степенью изношенности. Цилиндры с низкой изношенностью до 0,25 мм подвергались электромеханической обработке без предварительной расточки. Гидроцилиндры с большей степенью изношенности растачивались до ремонтных размеров +0,5 (первый ремонтный вариант размера внутреннего диаметра цилиндра) и +1,0 мм (второй ремонтный вариант размера диаметра). Внутренние поверхности гидроцилиндров после электромеханической обработки исследовались на твердость по Роквеллу (HRC) и микротвердость по Виккесу (HV), а также определялась шероховатость поверхности Ra. В таблице 3 приведены результаты замеров твердости, микротвердости и шероховатости внутренних поверхностей цилиндров различного назначения.

Таблица 6.4 Результаты замера твердости, микротвердости и шероховатости внутренних поверхностей цилиндров.

Но мер п/п	Номер чертежа цилиндра	Твердость по Роквеллу, HRC	Микротвердость по Виккерсу, HV	Шероховатость, Ra, мкм
1	КСП32.16.00.000	55,3	645	0,1...0,32
2	КСП32.19.04.000	58,6	730	0,1...0,32
3	КСП32.31.00.000	61,5	816	0,1...0,32

Из данных, приведенных в таблице 6.4, следует, что для гидроцилиндров КСП32.16.00.000, для гидроцилиндров КСП32.19.04.000 и для гидроцилиндров КСП32.31.00.000 твердость по Роквеллу изменяется в пределах 55...62 HRC , микротвердость по Виккерсу изменяется в пределах 645...816 HV , а шероховатость изменяется в пределах Ra 0,1...0,32 мкм. Значения этих данных свидетельствуют о высоких показателях технических параметров с упрочненными поверхностями внутренних поверхностей ГП , а метод электромеханической их обработки и упрочнения является эффективным при ремонтном восстановлении и при изготовлении новых гидроцилиндров.

## 6.5 Выводы

Определено что основными количественными показателями ремонтпригодности в настоящей работе приняты: вероятность восстановления за заданное время, плотность вероятности и интенсивность восстановления, среднее время восстановления (ремонта) элементов ГП проходческих комбайнов. Кроме этих показателей ремонтпригодности использовался и комплексный показатель ремонтпригодности - коэффициента готовности

Установлено что, количественные параметры восстановления отказавших элементов гидросистем проходческих комбайнов зависят от сечения выработок. При меньших сечениях выработок время восстановления увеличивается в полтора

, а иногда в два раза, то есть ремонтпригодность комбайнов значительно зависит от горнотехнических условий эксплуатации машин.

Определены зависимости вероятности восстановления и значения математических ожиданий восстановлений, которые изменяются в широких пределах от 15,4 часа до 2,1 часа

Разработаны рекомендации по усовершенствованию организации ремонтов и рекомендации по совершенствованию конструкций ГП проходческих комбайнов.

С целью повышения ремонтпригодности комбайнов разработаны рекомендации по восстановлению вышедших агрегатов, узлов и деталей, которые производятся на специализированных предприятиях, занимающихся ремонтом элементов ГП проходческих комбайнов.

Выявлено, что для восстановления изношенных поверхностей гидроцилиндров целесообразно использовать следующие способы: наплавку, металлизацию, хромирование, никелирование, осталивание, упрочнение поверхности деталей и восстановление их формы под давлением, а также электромеханический способ восстановления изношенных внутренних поверхностей гидроцилиндров.

Установлено, что для повышения надежности гидродомкратов перемещения исполнительных органов избирательного действия в плоскости пласта целесообразно использовать метод электромеханического упрочнения внутренних поверхностей гидроцилиндров, изготовленных из стали 30ХГСА для получения высокой поверхностной твердости до 55...62 HRC, микротвердости 645...816 HV и для получения шероховатости поверхности  $R_a = 0,01 \dots 0,32 \text{ мкм}$ .



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, включающую как экспериментальные, так и теоретические исследования, которая решает актуальную и важную для народного хозяйства задачу, состоящую в повышении надежности проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами за счет повышения надежности их гидроприводов

Основные научные положения и практические результаты состоят из следующего.

1. Проведены наблюдения за работой девяти комбайнов КСП-32 на восьми шахтах при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в течение 2 лет и 4 месяцев в различных горно-геологических условиях. Зафиксированы различные виды неисправностей: исполнительных органов и их приводов, питателей, конвейеров, ходовых частей, гидроагрегатов, магистральных трубопроводов, систем управления, а также подсистем подъема, поворота и телескопа исполнительных органов. Установлено, что число отказов гидравлических подсистем составляет 68 % от всех отказов, зафиксированных при работе девяти проходческих комбайнов. Число отказов подсистем механической системы при этом составляют 19,2 %, электрической системы - 12,8 %. Это свидетельствует о том, что надежность гидравлической системы комбайна значительно ниже, чем надежность механической системы и электрической системы. Причем средняя наработка между отказами механических систем комбайнов более значительная составляет 1620 ч, чем средняя наработка между отказами гидравлических систем составляет 893 ч. Выявлено, что распределение наработок между отказами и распределение времени восстановления подсистем гидравлической системы подчиняются экспоненциальному закону.

2. С использованием системного подхода и системного анализа разработана структурная схема проходческого комбайна КСП-32 в виде дерева целей и представляет собой ступенчатую подчиненную структуру системы из пяти

уровней:

а) на нулевом уровне (уровне общей цели) представлена сама надсистема – проходческий комбайн;

б) на первом уровне представлены гидравлическая, механическая системы и электрическая системы комбайна;

в) на втором уровне приведено 15 подсистем, из которых 9 подсистем входят в гидравлическую систему, а 6 подсистем входят в механическую систему комбайна;

г). на третьем уровне представлены узлы, входящие в подсистемы гидравлической и механической системы;

д) к четвертому уровню отнесены узлы, детали, уплотнения, приборы, различные клапаны, манометры и другие устройства, входящие в элементы подсистемы гидравлической системы и механической системы третьего уровня.

3. Результаты экспертных оценок показали, что надежность гидропривода проходческого значительно (65,4 %) влияет на общую надежность комбайна. Определены наиболее ненадежные шесть элементов гидравлической системы, влияние которых на надежность комбайнов составляет в сумме 29,75%,

4. Разработан методика оценки показателей надежности ГП, представляющая собой математические зависимости и связи между ними, которая позволяет определять закономерности распределения параметров потоков между отказами (экспоненциальное распределение, распределение Вейбулла и др). Проверка сходимости полученных теоретических зависимостей распределения с экспериментальными распределениями показателей производится с помощью критериев согласия .

5. Проведены исследования по определению показателей надежности для подсистем поворота, подъема, телескопа, подъема-опускания питателя, привода питателя, ходовых частей, гидроагрегата и др. гидравлической системы комбайна. Определено, что «жизненные циклы» подсистем гидравлической системы состоят

из трех явно выраженных периодов: периода приработки, нормальной эксплуатации и периода интенсивного износа. В частности, для подсистем поворота исполнительных органов комбайнов период приработки составляет  $T_1=6$  месяцев, период нормальной эксплуатации  $T_2=18$  месяцев, а период интенсивного износа  $T_3=4$  месяца. Установлены закономерности распределения параметров потока отказов подсистемы поворота исполнительных органов на участке приработки описывается распределения Вейбулла, на участке нормальной эксплуатации – экспоненциальным законом распределения, а на участке износа – законом Вейбулла.

6. Исследования позволили выявить, что преобладающим законом распределения параметров потока между отказами гидравлических подсистем (групп подсистем) проходческих комбайнов КСП-32 является экспоненциальный закон. Экспоненциальный закон распределения наработки до отказа свидетельствует о преобладании внезапных отказов над износными отказами. Этому же закону подчиняется распределение времени восстановления гидравлических подсистем (групп подсистем).

7. Разработан метод прогнозирования надежности узлов и элементов гидравлической системы, основанный на установлении вероятности безотказной работы, параметров потока отказов и определении ресурсов до капитальных ремонтов. На основе результатов прогнозирования эксплуатационной надежности определена рациональная периодичность и объем ТО и Р. Предложены технические мероприятия по повышению надежности ГП проходческих комбайнов.

8. Предложены мероприятия по повышению надежности ГП проходческих комбайнов, которые включают рациональный состав по номенклатуре и количеству ЗИП, а также предложены места их хранения.

Разработаны принципы и последовательность установления рациональной потребности в ЗИП для ремонтов. Разработаны рекомендации

электромеханическим службам шахт по резервированию ЗИП, необходимых для ремонтов с минимальными потерями.

9 Анализ данных ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов позволяет сделать следующие рекомендации:

- предложены рекомендации по усовершенствованию конструкции комбайна по устранению «узких мест» с ограниченной доступностью для осмотра или замены отказавших элементов гидроприводов

- крупные детали запчастей должны иметь приспособления, которые с помощью подъемных механизмов облегчают демонтаж и монтаж при ремонтах;

- восстановленные узлы и детали, которые теряют взаимозаменяемость из-за так называемых «ремонтных» размеров, но широко в настоящее время применяются на угледобывающих предприятиях, должны учитываться и регистрироваться в специальных журналах для исключения потери времени при ремонтах;

- предложены уточнения и улучшения руководящих положений завода-изготовителя по ремонту и обслуживанию ГП комбайнов.

11. Выявлено, что для восстановления изношенных поверхностей гидроцилиндров целесообразно использовать электромеханический способ восстановления и упрочнения изношенных внутренних поверхностей гидроцилиндров, позволяющий повысить твердость до 55...62 HRC и микротвердость до 645...816 HV.

12. Результаты проведенных исследований предложены промышленным предприятиям и внедрены на шахтах ПО «Макеевуголь» и на ремонтных заводах, занимающиеся ремонтом горной техники.,

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Резникова, А. Н. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник/А. Н. Резникова . – М.: Машиностроение, 1977.- 391с.
2. Азрилиян, А. Н. Новый экономический и юридический словарь/ А.Н. Азрилиян, О.М. Азрилиян. –М.: Институт новой экономики, 2003.-1088 с.
3. Алгоритмический аспект: сборник статей. – К.: Наукова думка, 2002. – 381 с.
4. Алексеенко, А. П. Совершенствование технологии диагностирования гидропривода одноковшовых строительных экскаваторов по объемному коэффициенту полезного действия: дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук.:05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» /Алексеенко Андрей Петрович .- СПб. - 2002.- 180 с.
5. Альшиц, Я. И. Формирование вектора возмущения на шнековых исполнительных органах угледобывающих комбайнов/ Я. И. Альшиц, Г.В. Малеев, В.Г. Гуляев // Изв. Вузов. Горн. Журн. – 1975.-№10.- С.103-107.
6. Андронов, С.А. Методы оптимального проектирования: текст лекций / С. А. Андронов. М.:СПб ГАП. СПб,- 2001.-169 с.
7. Анохин, А.М. Методы определения коэффициентов важности критериев/ А.М. Анохин, В. А. Глотов, В. В. Павельев, А. М. Черкашин// Автомат. и телемех.- 1997, -№ 8, С.3–35.
8. Антонов, А. В. Системный анализ: учебное пособие для вузов/А. В. Антонов. – М.: Высш. школа, 2004. – 454 с.
9. Аполов, О. Г. Теория систем и системный анализ: курс лекций/ О. Г. Аполов. – Уфа: 2012. – 274 с.
10. Аронов, И. З. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний / И.З. Аронов, Е.И. Бурдасов. – М.: Изд. стандартов, 1987. – 184 с.
11. Аскинази, Б. М. Упрочнение и восстановления деталей электромеханической обработкой/Б. М. Аскинази.- Л.: Машиностроение, 1977.-

183с.

12. Афендииков, Н.Г. Выбор рациональных параметров очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами для работы в сложных условиях по зарубаемости: дис. на соискание ученой степени канд.техн. наук: 05.05.06/ Афендииков Николай Георгиевич.-Донецк, 1980. -202 с.

13. Багмутов, В.П. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, реализация/ В.П. Багмутов, С.Н. Паршев, Н.Г. Дудкина, И.Н. Захаров.– Новосибирск: Наука, 2003. – 318 с.

14. Базер, Я.М. Проходческие комбайны/ Я. М. Базер. - М.: Недра, 1974.- 174 с.

15. Барон, Л.И. Разрушение горных пород проходческими комбайнами/ Л.И. Барон, Л.Б. Глатман, Е.К. Губенков.- М.: Наука, 1968.-215 с.

16. Бескровный, Н.Т. Экономика и оптимизация надежности ремонта горношахтного оборудования/Н.Т. Бескровный. - М.: Недра, 1974 .- 209 с.

17. Блауберг, И.В. Системный подход в современной науке / И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин // В кн. Проблемы методологии системных исследований. – М.: Мысль.- 1970. – С. 7-48.

18. Веденева, Е.А. Функции и формулы Excel 2007/Е. А. Веденева. – СПб.: Питер, 2008. – 384 с.

19. Виноградов, В.А. Система, ее актуализация и описание: системные исследования. ежегодник. / В.А. Виноградов, Е.Л. Гидсбург.– М.: Мысль, 1972. – 432 с.

20. Гнеденко, Б.В. Вопросы математической теории надежности /Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.

21. Воскобойников, А.Э. Системные исследования: базовые понятия, принципы и методология[Электронный ресурс]. /А.Э. Воскобойников // Знание. Понимание. Умение. – 2013. – №6.– С 30 – 43. Режим доступа: [http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/6/Voskoboinikov\\_Systems-Research/](http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/6/Voskoboinikov_Systems-Research/)

22. Гетопанов, В.Н. Горные и транспортные машины и комплексы: учебник для вузов/ В.Н. Гетопанов, Н.С. Гудилин, Л.И. Чугреев.- М.: Недра, 1991. – 304 с.
23. Гетопанов, В.Н. Проектирование и надежность средств комплексной механизации: учебник для вузов/ В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек.- М.: Недра, 1986. - 207 с.
24. Голубев, В.А. Надежность горного оборудования и эффективность его использования/ В.А. Голубев, А.Е.Троп.- М.: Недра, 1974. – 80 с
25. Горбатов, П.А. Горные машины для подземной добычи угля: : учебн. пособ. для вузов / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко. – 2-е изд. перераб. и доп. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669 с.
26. Горбатов, С.В. Системный подход в современной науке / С.В. Горбатов, В.Н. Юдин // Проблемы методологии системных исследований . Информатика и Образование. – 2008. – №5. – С.312.
27. Городниченко, В.И. Основы гонного дела /В.И. Городниченко, А.П.Дмитриев- М.: МГИ, 2008. – 510 с.
28. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта. Термины и определения[Электронный ресурс]/ Межгосударственный стандарт // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. -2016. – Режим доступа: <https://mega>
29. ГОСТ 2.601-2013 «Единая система конструкторской документации.
30. ГОСТ 27.004-2015: Надежность в технике. Термины и определения [Электронный ресурс]/ Межгосударственный стандарт// Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. -2015.– Режим доступа: [https://standartgost.ru/g/ГОСТ 27.002-2015](https://standartgost.ru/g/ГОСТ_27.002-2015)
31. ГОСТ Р 27.607-2013 Надежность в технике (ССНТ). Управление надежностью. Условия проведения испытаний на безотказность и статистические критерии и методы оценки их результатов

32. ГОСТ Р 50703-2002. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Общие технические требования и методы испытаний. - М.: Стандартиформ, 2002.
33. ГОСТ Р 53480 – 2009 Надежность в технике. Термины и определения. [www.norn-load.ru](http://www.norn-load.ru).
34. ГОСТ Р 27.004-2009 Надежность в технике (ССНТ). Модели отказов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.norn-load.ru](http://www.norn-load.ru)
35. ГОСТ 27.301 2011 .Надежность в технике. Управление надежностью. Техника анализа безотказностью. Основные положения. – .М. : Стандартиформ, 2011. – 16 с.
36. ГОСТ 27.504-81 Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. – Введ. 1985-07-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1984. – 41с
37. Грабчак, Л.Г. Горнопроходческие машины и комплексы: учебник для вузов/ Л.Г. Грабчак, В.И. Несмотряев, В.И. Шендеров.- М.: Недра, 1990. – 336 с.
38. Гудилин, Н.С. Гидравлика и гидропривод/ Н.С. Гудилин, Е.М. Кривенко, Б.С. Маховиков, И.Л. Пастоев. - М.: МГУ, 1996. – 519 с.
39. Гуляев, В.Г. Научные основы оптимизации динамических свойств очистных комбайнов с демпфирующими устройствами: дис. докт. техн. наук: 05.05.06/ Гуляев Владимир Георгиевич.-Днепропетровск, 1985. – 498 с.
40. Давние, В.В. Прогнозные модели экспертных предпочтений : Монография / В. В. Давние, В. И. Тинякова. – Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 248 с.
41. Бренер, В. А. Динамика проходческих комбайнов/ В.А. Бренер, А.А. Каралюс, П.П. Палеев, В.И. Солод. – М.: Машиностроение, 1977. – 224 с
42. Долгов В. Л. Совершенствование проходческих машин и мероприятия по повышению их надежности. Вопросы создания новой техники: Научное сообщение. Институт Горного дела им.А.А.Скочинского. М.:1987, с.23-27



43. Евсеев, В.С. Применение проходческих комбайнов на шахтах/В.С. Евсеев. -М.: Недра, 1981. – 183 с.
44. Ефремов, Л.В. Практика вероятностного анализа надежности техники с применением компьютерных технологий/Л.В. Ефремов.- Санкт-Петербург.: Наука, 2008. – 221с.
45. Жилиев, В. А. Повышение эксплуатационных свойств деталей из коррозионно-стойких упрочняемых сталей лазерной обработкой: автореф. дис. канд. техн. наук: /Жилиев В.А.- Волгоград, 2005.- 25с.
46. Исекеев, М.М. Разработка и обоснование расчетно-оптимизационной системы выбора параметров и анализа работы гидропривода проходческих комбайнов: автореф. дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук: /Исекеев Михаил Михайлович. - М.,1989. – 22 с.
47. Карпухин, В.Д., Повышение интенсивности эксплуатации и надежности очистных комбайнов за счет совершенствования технического обслуживания и создания рационального обменного фонда: автореф.дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук:/Карпухин В.Д.- М., 1981. – 23 с.
48. Качала, В.В. Основы системного анализа/В.В. Качала. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2004. – 104 с.
49. Коблов, Е.Н. Обеспечение надежности проходческих комбайнов типа 1ГПКС в эксплуатации: автореф.дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук:/ Коблов Евгений Николаевич. — М. ,1992. – 25 с.
50. Ковалев, В.А. Эксплуатация проходческих комбайнов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / В.А. Ковалев и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. – С. 26-33.
51. Ковалевский, В.Ф.Справочник по гидроприводам горных машин/В.Ф. Ковалевский, Н.Т Железняков, Ю.Е. Бейлин.: М.: Недра, 1973. 504 с.
52. Коваль, А.Н.Техническое обслуживание и ремонт горно-шахтного оборудования/ А.Н. Коваль, А.М. Горлин, В.И. Чекавский.- М.: Недра, 1987. –

343 с.

53. Коваль, П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: учебник для вузов по специальности «Горные машины и комплексы»/П.В. Коваль. - М.: Машиностроение, 1979. – 387 с
54. Козлов, В.Г. Новый способ электроконтактной обработки. Журнал Современные проблемы науки и образования./В.Г.Козлов – 2015. –№ 2 (часть 2 URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21903> (дата обращения: 07.11.2019).)
55. Колегаев, Р.Н. Экономическая оценка качества и оптимизация системы ремонта машин/Р.Н. Колегаев. - М.: Машиностроение, 1980. -. 282 с.
56. Колесников, В.П. Исследование конструктивных параметров и нагруженности стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна: дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук:05.05.06/ Колесников В.П.- М.,1972
57. Комаров, А. А. Надежность гидравлических систем/А.А. Комаров. - М.: Машиностроение, 1969. – 236 с.
58. Братченко, Б.Ф. Комплексная механизация и автоматизация очистных работ в угольных шахтах/ Б.Ф. Братченко. - М.: Недра, 1977. – 415 с.
59. Кондратов, И.В. Обоснование рациональных параметров комбайновой технологии проведения выработок: дис. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук: 05.05.06/Кондратов Иван Владимирович -М., 1998.- 202с.
60. Кондрахин, В.П. Математическое моделирование рабочих процессов и оптимизация структуры и параметров породоразрушающих горных машин: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.05.06/ Кондрахин Виталий Петрович – Донецк, 1999. -35с.
61. Консон, А.С. Экономика ремонта машин/ А.С. Консон.-М.: Экономика, 1970. – 216 с.
62. Коришонков, С.Р. Понятие о технологичности конструкции изделия/ С.Р. Коришонков // Вестник науки и образования №5 (59) часть 1, Российское

общество «Знание».-2019.- С.11-13.

63. Лапач, С.Н. Планирование в пассивном эксперименте/С.Н. Лапач // Математические машины и системы. – 2013. –№4 - С. 156-160.
64. Леванковский, И. А. Анализ и оценка влияния основных факторов и условий на износ поворотных резцов при работе проходческих комбайнов/ И. А. Леванковский, Л. Б. Глатман // Разрушение горных пород и композиционных материалов поворотными резцами. Сб. научн. тр. – М.: Изд. Акад. горн. наук, 1998.– С. 81 – 109.
65. Леусенко, Е.А. Капитальный ремонт горного оборудования/ Е.А. Леусенко, С.И. Шанин,- Донецк: Донбасс, 1973. – 87 с.
66. Леусенко, Е.А. Экономика, организация и планирование ремонта горных машин/ Е.А. Леусенко. -М.: Недра, 1980. – 121 .
67. Лозовский, В.Н. Надежность гидравлических агрегатов/ В.Н. Лозовский. - М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
68. Лоханин, К.А. Эксплуатация проходческого комбайна ГЖ-8М/ К.А. Лоханин. М.: Недра, 1978. – 43 с.
69. Малевич, Н.А., Горнопроходческие машины и комплексы: учебник для вузов/ Н.А. Малевич.- М.: Недра, 1980. – 384 с.
70. Машков Ю.К. Комбинированное фрикционно-электрическое модифицирование стальных поверхностей трения/ Ю.К. Машков, В.Р. Эдигаров, М.Ю. Байбарацкая, З.Н. Овчар // Трение и износ- Т. 27. - 2006.- №.3. - С. 89-92.
71. Методика формування номенклатури та кількості запасних частин, що входять в склад матеріальних запасів автотранспортного підприємства. / А.П. Поляков, О.П. Антонюк. Наукові праці ВНТУ, Вінниця, 2013, № 2 с 128-130
72. Методика оценки и классификация показателей разрушаемости угольных пластов основных бассейнов СССР. -М.:Недра, 1978. – 46 с.
73. Методология обоснования предельных состояний и резерва элементов гидропривода горных машин тема диссертации и автореферата по ВАК

РФ доктор технических наук: 05.05.06/ Рахутин, Максим Григорьевич,- М 2010. – 296 с.

74. Молдавский, Л.А., Финкельнштейн, З.Л., Верклов, Б.А. Виды повреждений и долговечность трансмиссий горных машин./ Л.А.Молдавский, З.Л.Финкельнштейн, Б.А.Верклов, – М.: Недра, 1981. – 321 с.

75. Муромцев, Д.И. Введение в технологию экспертных систем./Д.И.Мухортников – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.

76. Мухортиков, С.Г. Диагностика технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия: Сборник научно-технических работ горных инженеров/С.Г.Мухортников- СУЭК № 0В2. Изд. «Горная книга». 2013 с 71-75.

77. Носенко, В. В. Сервисное обеспечение эксплуатации шахтных погрузочных машин и проходческих комбайнов избирательного действия.. автореф. дисс.... канд. техн. наук: 05.05.06/ Носенко Виктория Владимировна. Новочеркасск – 2010. 27 с.

78. Носенко, И.А. Повышение надежности горнопроходческих комбайнов применением оперативной диагностики привода исполнительного органа: автореф. дисс.... канд. техн. наук: 05.05.06 / Носенко Иван Алексеевич. – Новочеркасск, 2008. – 23 с.

79. Носенко, С.И. Методика организации сбора и анализа информации об эксплуатационных качествах проходческого оборудования в условиях Российского Донбасса / С.И. Носенко, Е.А. Шемшура. – Шахты: Изд-во «Шахты», 1996. – 40 с.

80. Острейковский, В.А. Теория надежности : учеб. для вузов. - 2-е изд. перераб. и доп./В.А.Острейковский - М. : Высш. шк., 2008. - 463 с.

81. Пасюк, М.А. Прогнозирование ресурса узлов оборудования/ М.А Пасюк// Известия Вузов СНГ, 2005- с 60-65.

82. Пасюк, М.А. Математическая модель надежности узлов оборудования для определения оптимального межремонтного интервала /М.А

Пасюк//Известия вузов СНГ. – 2009. – №1. – С. 72-76.

83. Петрушкин Г.В. Исследование и выбор параметров привода стреловидного исполнительного органа высокопроизводительного проходческого комбайна. Дис. на соиск. уч. степ...канд. техн. Наук:05.05.06/Петрушкин Григорий Васильевич- Донецк, ДПИ.: – 1976, - 120 с.

84. Половко, А.М., Гуров, С.В. «Основы теории надёжности». Практикум.: Учебник для ВУЗОВ./А.М.Половко,С.В. Гуров М.:ВНУ 2006г.- 506 с.

85. Положение о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта оборудования угольных и сланцевых шахт Министерства угольной промышленности СССР. – М.: Минуглепром, 1981.-31с. Г

86. Положение о планово-предупредительной системе технического обслуживания и ремонта оборудования угольных и сланцевых шахт Министерства угольной промышленности СССР. – М.: Минуглепром, 1981. – 31 с.

87. Положение о ППР оборудования и транспортных средств на предприятиях министерства цветной металлургии. М. Недра - 1984.- 176 с.

88. Поляков,А.П., Галушак,Д.А.; Галушак,А.А; Антонюк,О.П. Метод формирования необходимого количества запасных частей для ремонта средств транспорта: Наукові праці ВНТУ/А.П Поляков- 2012, № 2 с 1-5.

89. Поминов, К.П., Влияние параметров гидросистемы на производительность проходческого комбайна избирательного действия // Горный информационно-аналитический бюллетень /К.П. Поминов-.№4 , 2004-С. 247-248.

90. Поминов, К.П., Рахутин М.Г., Обоснование рациональных соотношений усилия подачи и мощности привода исполнительного органа проходческого комбайна избирательного действия: II Журнал «Горное оборудование и электромеханика»/К.П Поминов- № 6,2008 г, стр. 14-17.

91. Поминов, К.П.Обоснование взаимосвязи параметров гидропривода проходческих комбайнов избирательного действия. : автореф. дисс.... канд. техн.

наук: 05.05.06 / Поминов, Константин Петрович -М.: 2010. - 18 с.

92. Баранов, М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности: Електротехніка і Електромеханіка./ Баранов М.И.,. 2009. №1

93. Рахутин, Г.С. Вероятные методы расчета надежности, профилактики и резерва горных машин /Г.С.Рахутин "Наука,", 1970 : 204 с.

94. Рахутин, М.Г. Обоснование и выбор регламента замен по техническому состоянию элементов гидрооборудования проходческих комбайнов избирательного действия.: автореф. на соиск. уч. степ, канд.техн. наук 05.05.06. / Рахутин Максим Григорьевич.— М.,1993. – 20 с.

95. Ржевская, С.В. Материаловедение Учебник, 4-е изд. «Логос»/С.В.Ржевская-М.: 2004, 413 с.

96. Руководство по эксплуатации комбайна КСП-32. – Ясиноватский машиностроительный завод , 2017-198 с..

97. Самохвалов, Ю.Я. Согласование экспертных оценок в матрицах экспертных оценок . –<http://www.osmi.qrsu.by/docs/library/methods/expert.doc>.

98. Самохвалов, Ю.Я., Науменко Е.М. Методика формирования экспертных групп для проведения сложных экспертиз// Защита информации/ №1 (14). – К.: НАУ, 2003. – С. 6 – 16.

99. Семенюта, В.Г. Динамические нагрузки в системе привода погрузочного устройства высокопроизводительного проходческого комбайна и пути их снижения. Дисс.... канд. техн. наук: 05.05.06./ Семенюта Владимир Григорьевич; Донецк – 1985. – 192 с.

100. Славутский, Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: / Л.А.Славутский// – Чебоксары: ЧГУ, 2006. – 200 с.

101. Современный этап развития теории экспертных оценок.– 1№ 1(14). – К.: НАУ, 2003. – С. 6 – 16..

102. Солод, Г.И. Технология машиностроения и ремонт горных машин:

учебник для вузов [Текст] / Г.И. Солод, В.И. Морозов, В.И. Русихин. //– М.: Недра, 1988. – 421 с..

103. Статистическое измерение качественных характеристик. – М.: Статистика, 1972. С 35-94.

104. Судов,Е.В,Петров,А.Н.,Петров,А. В.,Осяев,А.Т.,Серебрянский,С. А. Технологии интегрированной логистической поддержки в процессах жизненного цикла авиационной техники/Е.В. Судов//—Москва: Эдитус, 2018— 174с.

105. Коваль, А.Н. Горлин, А.М. Чекавский, В.И. Техническое обслуживание и ремонт горношахтного оборудования/ А.Н. Коваль - М.: Недра, - 1987. – 444с

106. Топчиев, А.В. Проблемы повышения надежности и долговечности оборудования. «Горные машины и автоматика»/А.В. Топчиев М.: Недра, - 1963, №9, с.3-6..

107. Тоценко, В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект: Наукова думка / В.Г.Тоценко – К., 2002. – 381 с.

108. Тоценко, В.Г. Об унификации алгоритмов организации экспертиз: Научно-практический журнал «Проблемы правовой информатизации»/ В.Г. Тоценко – Минск, 2006 – № 2(12) – С. 96–101.

109. Труханов, В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов./В.М.Труханов М., Машиностроение, 2003. - 320 с.

110. Филатов, М.И., Юсупова, О.В. Формирование резерва запасных частей для ремонта транспортно-технологических машин: Вестник Орембургского гос. университета №10 (171)/М.И. Филатов. 2014. С- 213-218.

111. Финкельштейн, З.Л. Повышение долговечности ГП горных машин: Наук. Віст. НАН Укр. №3/З.Л. Финкельштейн .- , 1998. – с.35 – 37.

112. Финкельштейн З. Л. Пути повышения работоспособности гидравлических механизмов перемещения угольных комбайнов / З. Л.

Финкельштейн, А. Ю. Гусев // Промислова гідравліка і пневматика. – 2009. – № 3. – С. 98-100.

113. Финкельштейн, З. Л. Эксплуатация гидравлического оборудования / З. Л. Финкельштейн, А. М. Финкельштейн // Гидравлика. Пневматика. Приводы. – 2009. – № 2. – С. 21-27

114. Финкельштейн, З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З. Л. Финкельштейн. - М. : Недра, 1986. - 232 с.

115. Фишберн, П.К. Измерение относительных ценностей/П.К Фишберн// Статистическое измерение качественных характеристик. – М.: Статистика, 1972. С 35-94.

116. Хорешок, А.А. Кудреватых, А.В. Кузнецов, . В.В Характеристика методов технического обслуживания горно-транспортного оборудования/А.А Хорешок // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2011.- №55 - С. 48-61.

117. . Хорин, В.Н. Развитие техники для подземной добычи угля, калийных и марганцевых руд./В.Н.Хорин- М.: Недра, 1985. – 154 с.

118. Храпов, Ю.Г. Исследование режимов работы и установление параметров стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна для пород крепостью до  $f=6$ : автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук:/Храпов Юрий Григорьевич.-М.:1975. – 21 с.

119. Черных, В. Г. Повышение эффективности системы технического обслуживания и ремонта шахтных погрузочных машин: На примере машины 2ПНБ 2 в условиях Восточного Донбасса : Автореф. дисс. канд.тех.наук: 05.05.06/ Черных, Владимир Геннадьевич. – Новочеркасск, 2005. – 19 с.

120. Шабаев, О.Е. Техническая диагностика режцового исполнительного органа проходческого комбайна / О.Е. Шабаев, И.И. Бридун, Н.В. Хиценко. – Донецк, 2015. – 199 с.

121. Шабаев, О.Е. Научные основы анализа и синтеза горных машин как



мехатронных систем: дисс. ... на соискание науч. степени докт. техн. наук: 05.05.06 / Шабаев Олег Евгеньевич. – Донецк, 2011. – 371 с.

122. Шендрик, А.В. Повышение надежности гидроприводов проходческих комбайнов за счет электромеханической обработки внутренних поверхностей гидроцилиндров / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2017. - №4(10) - С. 22-27

123. Шендрик, А.В. Повышение надежности проходческих комбайнов избирательного действия со стреловидными исполнительными органами / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик, К.Б. Ломаковский // Вестник ДонНТУ. – 2018. – № 4(14). – С. 16-23.

124. Шендрик, А.В. Повышение ремонтпригодности ГП проходческих комбайнов/ Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Международная конференция г Тольяти (Россия). Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук.- 2019 - С-10-16.

125. Шендрик, А.В. Статистическое оценивание показателей надежности гидравлических приводов проходческих комбайнов избирательного действия/ Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик// Вестник ДонНТУ. – 2019. – № 3(17). – С. 8-16.

126. Шендрик, А.В. Экспертная и экспериментальная оценка надежности проходческих комбайнов избирательного действия./ Н.Г.Афендииков, А.В.Шендрик, К.Б.Ломаковский// Международная научно-практическая конференция «Материалы и методы инновационных научно-практических исследований и разработок», Россия, г.Калуга, 2019. С 30-34.

127. Шендрик, А.В.Определение рациональной периодичности технических обслуживаний и ремонтов гидроприводов проходческих комбайнов избирательного действия/ О.Е. Шабаев, Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Вестник ДонНТУ 2019, №2(19). С. 61-71

128. Шендрик, А.В. Определение состава запасных частей для обеспечения необходимого уровня надежности гидроприводов проходческих

комбайнов избирательного действия/ IV Международная научно-техническая конференция. Г Казань (Россия) 2019г. Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем. . С 30-34.

129. Шиклеева, Н.Г., Исследование области эффективного использования проходческих комбайнов в условиях шахт Карагандинского бассейна. автореф. дисс. на соиск. уч. степ, канд. техн. наук 05.05.06./Шиклеева Н.Г.—М.:, 1979. – 19 с.

130. Шиповский, И.А. Эксплуатация и ремонт оборудования шахт.: Учебное пособие для вузов./И.А.Шиповский – М. : Недра, 1987. – 215с

131. Шэннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука./Р.Шеннон–М. : Мир, 1978. – 418 с.

132. Эмби, Р.У. Введение в кибернетику. – Изд. 2-е стереотипное. Иностранная литература/Р.У Эмби– М.: 2005. – С. 125-142.

133. Ящура, А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборуд.Справочник/А.И Ящура-М.,ЭНАС, 2012.-360с.

134. Carlson G. Maintenance is key factor in Runker success story. Concrete products. 1986. vol 89. - N 4. - p.20-23.

135. Diccio, T.J. Bootstrap Confidence Intervals / T.J. Diccio, B. Efron // Statistical Science. –1996. – Vol.11. – No.3. – P. 189-228.

136. Experimental analysis of ductile damage of metals under tensile stresses zapara m.a, tutyshkin n.D., Müller W.H., Wille R. .с.62-64IV международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 25-28 октября 2011 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ– С.62-64

137. Kim V.A., Usaty A.V., Karimov Sh.A. Laser hardening of tool steel SKD61 ... “Mashinostroenie Publishers”, “Strengthening Technologies and Coatings”, 2015 с.15-21.

138. Pan, J. Software Reliability / Dependable Em-bedded Systems. – Carnegie Mellon University, 1999. – 311 p. .

139. Trachtenberg, M. Discovering How to Ensure ISSN 2518-1653 (online).  
Интернет: [vestnik.donntu.org](http://vestnik.donntu.org) Software Reliability / RCA Engineer. – 1982. – No.1-2. –  
P. 53-57.

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ТОиР – техническое обслуживание и ремонт.  
ППР – планово-предупредительный ремонт.  
ТР – текущий ремонт.  
СР – средний ремонт.  
КР – капитальный ремонт  
ТО – техническое обслуживание.  
ЗИП – запасные части и приспособления.  
ГП – гидравлический привод.  
ВБР - вероятность безотказной работы.  
ППО – параметр потока отказов.  
НУО – нормированная усредненная оценка.  
КВФ – коэффициент важности факторов.  
ПК - проходческий комбайн.  
МСК механическая система комбайна.  
ЭСК - электрическая система комбайна.  
ГПриО - гидропривод поворота исполнительного органа.  
ГПдИО - гидропривод подъема исполнительного органа.  
ГТИО - гидропривод телескопа исполнительного органа.  
ГНЛ - гидропривод нагребующих лап.  
ГПОСП - гидропривод подъема-опускания стола питателя.  
ГХП - гидропривод хода правый.  
ГХЛ- гидропривод хода левый.  
ГХП - гидропривод хода правый.  
ГХЛ - гидропривод хода левый.  
НС - насосная станция.  
ПИО - привод исполнительного органа.  
ИО исполнительный орган.  
К – конвейер.  
МПХЧ - механическая составляющая правой ходовой части.  
МЛХЧ – механическую составляющую левой ходовой части.  
Т – турель.  
ПО – производственное объединение.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**Сертификаты, подтверждающие участие автора диссертационной работы  
Шендрика А.В. в международных конференциях**



**EVANSYS**  
FEDERAL CENTER OF SCIENCE AND EDUCATION



**ЭВЕНСИС**  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

# СЕРТИФИКАТ

**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

«ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК»

УЧАСТНИК

**ШЕНДРИК А.В.**

Тема: «ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ  
ГИДРОПРИВОДОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ»

25.05.2019  
Руководитель Института  
Инновационных технологий



Гриб Л.В.



Научный проект  
Института Инновационных  
Технологий

г. Тольятти, 2019



**OMEGA SCIENCE**  
INTERNATIONAL CENTER  
OF INNOVATION RESEARCH



**OMEGA SCIENCE**  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР  
ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

# СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

*Шендрик Александр Владимирович*

принял(а) участие в

Международной научно-практической конференции  
«МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИННОВАЦИОННЫХ НАУЧНО-  
ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК»

28 октября 2019 г., г. Калуга,  
Российская Федерация

Дата и место проведения



*А.А. Сукиасян*  
Директор ИНИИ «Омега Сайнс»  
г. Сукиасян А.А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**Фотографии некоторых вышедших из строя элементов ГП  
проходческих комбайнов типа КСП-32**



Рисунок П2. 1 – Коррозия ротора гидродвигателя





Рисунок П2.2 Дефекты подшипника гидродвигателя



П2.3 Загрязнение фтльтрующего элемента



Рисунок П2.4 Износ плунжера гидродвигателя

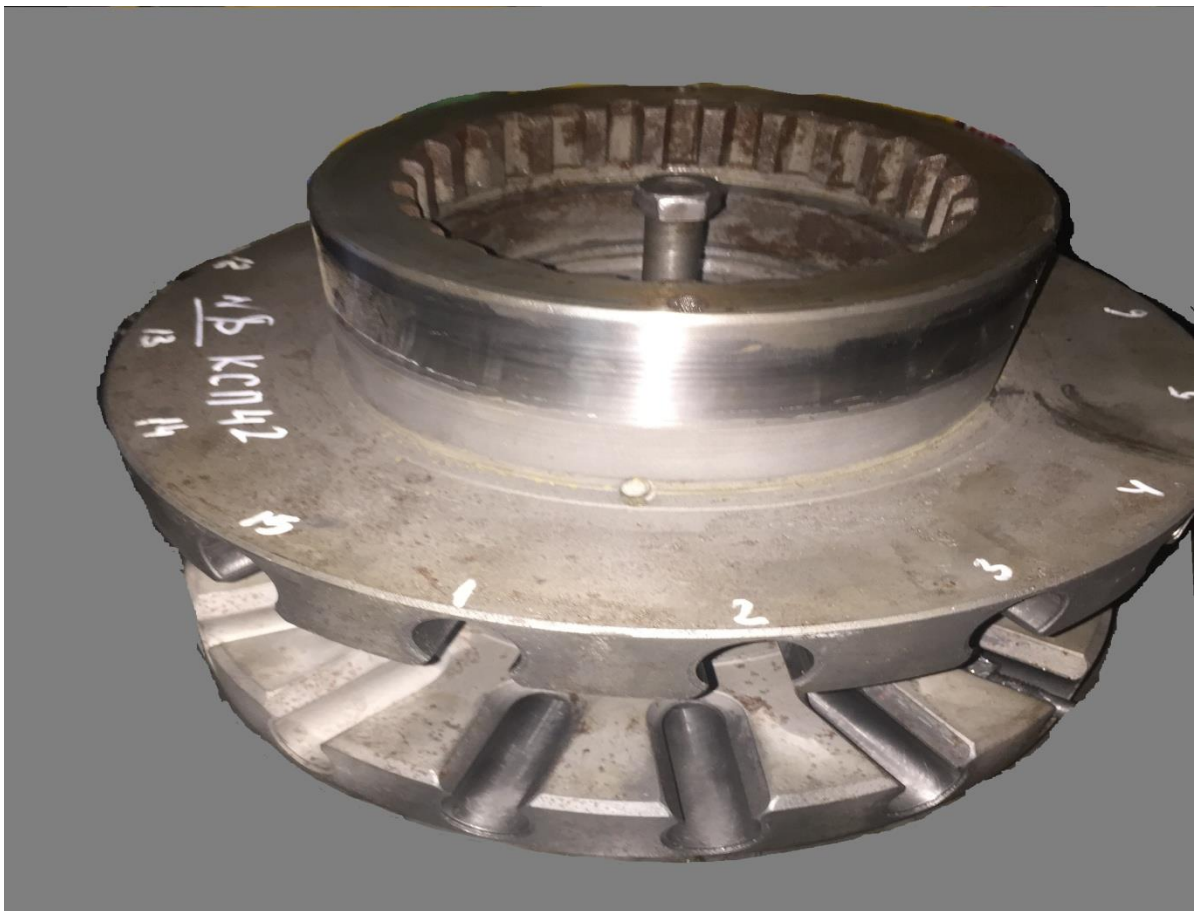


Рисунок П2.5 Ротор гидродвигателя



Рисунок П2.6 Износ распределительной втулки

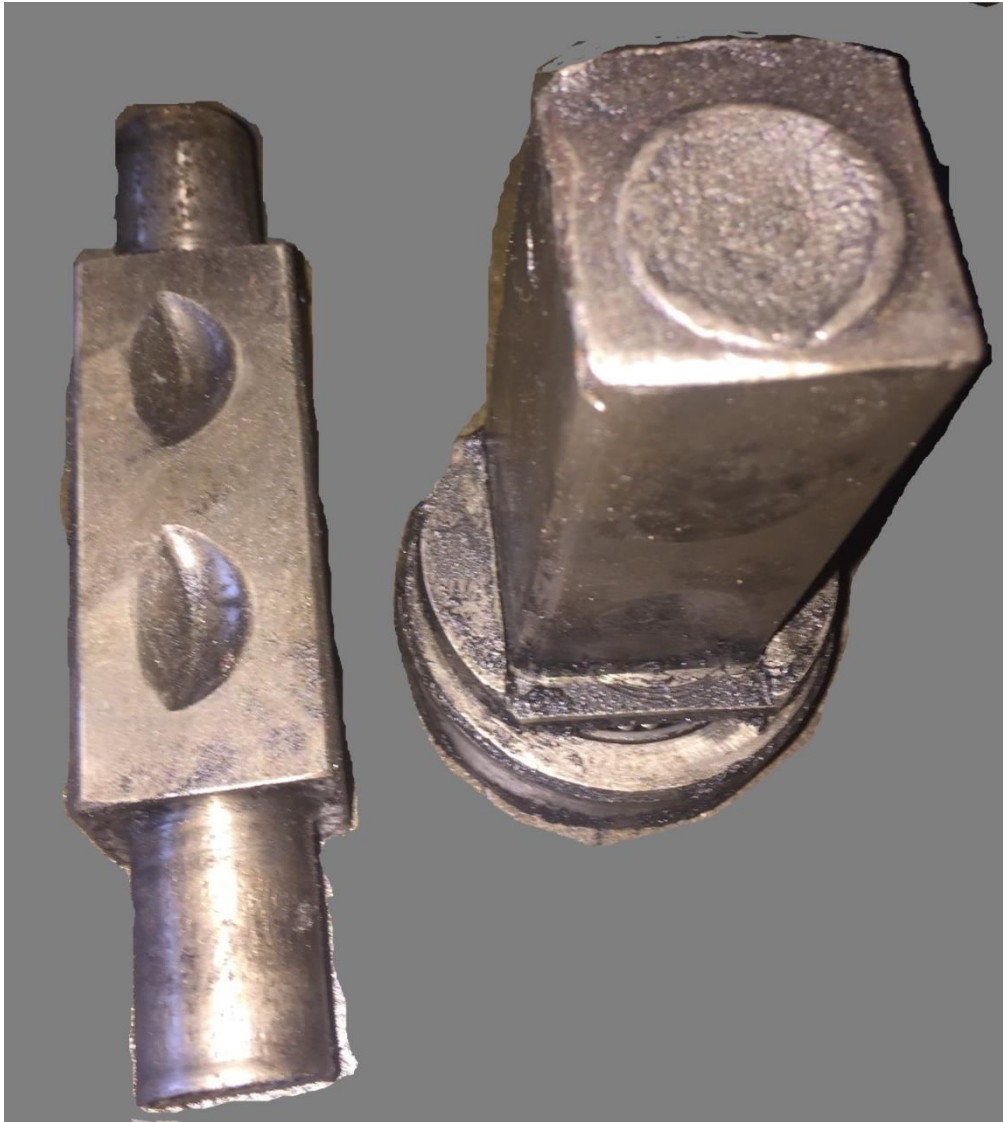


Рисунок П2.7 Износ траверсы гидродвигателя



Рисунок П2.8 Износ РВД



Рисунок П2.9 Загрязнение фильтрующего элемента

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3****Акты внедрения и использования результатов диссертационной работы****Общество с ограниченной ответственностью  
«РЕМТЕХСЕРВИС»**

ОКПО 31330575

ДНР, 84612, г. Горловка, ул. Мамедова 22

р/с 40702810423410000146, Банк ЦРБ ДНР, БИК банковского учреждения 3101101001

тел/факс (095)172-09-30, (071) 306-03-93, (071)392-28-18, (071)361-04-52, (071)350-06-38

эл.адрес [remtb2018@mail.ru](mailto:remtb2018@mail.ru)

« 06 » ноября 2019 г.

**АКТ*****внедрения результатов диссертационной работы Шендрика А.В.***

Результаты и рекомендации диссертационной работы Шендрика А.В. на тему «Повышение надежности гидроприводов проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами типа КСП-32», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 «Горные машины», являются актуальными для ООО «РЕМТЕХСЕРВИС».

Разработанные в диссертации рекомендации и предложения по восстановлению деталей горных машин различными способами и методами (наплавкой, хромированием, никелированием и электромеханическим восстановлением) будут проработаны и внедрены в ООО «РЕМТЕХСЕРВИС».

Начальник производства

Михайлов В.Г.



**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«СПЕЦ – РЕММАШ»**

ДНР, 84630, г. Горловка, Никитовский район ул. Дарвина, 14а  
ОКПО 34782555, р/с № 26009210200100 в ЦРБ ДНР  
МФО 400019, св -во № 055264 Серия АА03  
E-mail: spec-remmash@mail.ru

№ 234 от 28.10.2019г.

Утверждаю  
Технический директор  
ООО «СПЕЦ – РЕММАШ»  
Е.Н.Семенов

Акт внедрения результатов диссертационной работы Шендрика А.В.

На предприятии по ремонту горного оборудования ООО «СПЕЦ – РЕММАШ» использованы рекомендации по восстановлению и упрочнению внутренних поверхностей гидроцилиндров горных машин за счет их электромеханической обработки, разработанные при выполнении диссертационной работы Шендриком Александром Владимировичем на тему «Повышение надежности гидроприводов проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами типа КСП32», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06. «Горные машины»

Главный механик  Петров Е.С.



Министерство угля и энергетики  
Донецкой Народной Республики

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«МАКЕЕВУГОЛЬ»**

ГП «МАКЕЕВУГОЛЬ»

пл. Советская, 2, г. Макеевка, 286157, тел. (06232)-9-32-32, факс: (062)-300-34-72  
e-mail: po@mcoal.donbass.net, Идентификационный код 32442295

29.10.19 № 5.1/64  
На № \_\_\_\_\_



Утверждаю:  
Генеральный директор  
ГП «Макеевуголь»  
Сидоренко Т.В.

Акт

внедрения результатов диссертационной работы Шендрика А.В.

На Государственном предприятии «Макеевуголь» использованы результаты диссертационной работы Шендрика Александра Владимировича на тему «Повышение надежности гидроприводов проходческих комбайнов со стреловидными исполнительными органами типа КСП32», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06. «Горные машины» при:

1. Разработке системы стратегии технического обслуживания и ремонтов проходческих комбайнов избирательного действия типа КСП-32 на шахтах ГП «Макеевуголь».
2. Определении рационального количества и номенклатуры запасных частей необходимых для оперативного восстановления элементов проходческих комбайнов после их отказов (инцидентов).

Главный механик ГП «Макеевуголь»

Е.В.Грудев