

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

УДК 622.223.83

Шендрик Александр Владимирович

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

Специальность 05.05.06 - Горные машины

Автореферат

диссертация на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Донецк 2021 г.

Работа выполнена в ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (г. Донецк).

**Научный
руководитель:**

Афендиков Николай Георгиевич
кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры «Горные машины» ГОУВПО
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» (г. Донецк),

**Официальные
оппоненты:**

**Ведущая
организация**

Защита состоится 2021 г. в _____ часов на заседании
специализированного ученого совета Д 01.008.01 при ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: ауд. 1203, ул.
Артема, 58, г. Донецк , 283001. Тел./факс +38(062) 304-30-55, e-mail:
uchensovet@donntu.org.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» по адресу: корпус 2, ул.
Артема, 58, г. Донецк , 283001. Сайт университета: <http://donntu.org>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д 01.008.01,
Доктор технических наук, доцент

И.А. Бершадский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, являющихся одним из основных факторов подготовки выемочных участков, весьма важная задача. При проходке подготовительных выработок значительное распространение получили проходческие комбайны (ПК). Проходка горных выработок проходческими комбайнами является более эффективным в сравнении с буровзрывным способом, поскольку скорость проведения выработок выше, а себестоимость выработок намного ниже.

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 ПК со стреловидными исполнительными органами. Гидроприводы (ГП) этих комбайнов состоят из большого числа узлов, деталей, объемных гидравлических насосов, гидродвигателей вращательного и поступательного движения. В качестве узлов с возвратно-поступательным движением используются гидроцилиндры, взаимодействующие между собой и с исполнительным органом, который разрушает горную породу забоя при проходке выработки. Задача обеспечения повышенной надежности ПК 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 ГП комбайнов.

Завод-изготовитель установил срок гарантии 18 месяцев со дня прибытия комбайна КСП-32 в пункт назначения, Но какими бы надежными не были ПК после изготовления, этап эксплуатации является одним из важных этапов их жизненного цикла. В начале эксплуатации они имеют высокую надежность, которая затем постепенно снижается. С течением времени системы ПК подвергаются воздействию различных факторов: агрессивных сред, запыленности воздуха в проходческих забоях, высоких статических и динамических нагрузок при разрушении горных пород, низкого качества электрического питания приводных двигателей, недостаточного качества обслуживания и ремонта. Все это влияет на техническое состояние их узлов, и в них происходят необратимые физико-химические процессы, приводящие к отказам.

В этой связи, весьма актуальными для эффективной работы ПК необходимо проведение технических обслуживаний и ремонтов, снабжение горнодобывающих предприятий необходимыми и в нужном количестве запасными частями, а также обеспечивать повышение ремонтпригодности машин за счет модернизации их конструкций и совершенствования организации ремонтов.

Степень разработанности. Для повышения производительности и надежности ПК проведено большое число исследований. Проблемам повышения

надежности ПК посвящены работы Берона А.И., Альшица Я. И., Гуляева В.Г, Хорина В.Н, Кондрахина В.П., Шабаева О.Е., и др.

Конструкции ГП состоят из значительного числа подсистем и элементов, обеспечивающих их 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 этих 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.

Как правило, ГП комбайнов проектируется для длительной эксплуатации, но из-за различных скрытых дефектов и из-за нарушения правил эксплуатации и недостатков технического обслуживания чаще выходят из строя. Отказы подсистем гидравлических приводов приводят к простоям ПК и являются достаточно дорогостоящими по их устранению. По некоторым данным стоимость ремонтов к концу срока эксплуатации превышает первоначальную стоимость ПК в несколько раз. Причиной таких больших затрат материалов, запасных частей и времени, 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 выработках ограниченных размеров.

Значительное число отказов не представляется возможным устранить в шахтных условиях на проходческих участках, поэтому возникает необходимость транспортирования вышедших из строя узлов и элементов ГП в ремонтные мастерские и даже на централизованные ремонтные предприятия (заводы). 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 ТО и Р ПК и их ГП.

В настоящее время в странах СНГ при ремонтах ПК в забоях используется стратегия планово-предупредительных ремонтов (ППР). При наличии больших преимуществ эта стратегия не учитывает численные показатели надежности элементов ГП, которые можно определить, имея экспериментальные данные об их отказах, полученные в процессе эксплуатации. Но, несмотря на большой парк ПК, отдельно по любому из элементов статистика отказов и восстановлений не велась и не проводится. Данные об отказах ПК 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 ПК, представляют сложную процедуру. Так как сроки эксплуатации комбайнов составляют до $30 \div 40$ 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.

Методы исследования. Комплексный подход на основе системных положений и системного анализа с использованием теории вероятности, математической статистики, методики прогнозирования, а также методов совершенствования систем ТООР 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 условия шахт Донбасса, установлено, что удельный вес отказов в гидравлических подсистем ПК КСП32 составляет порядка 70 %, при этом преобладающими законами наработки между отказами элементов гидравлических подсистем (поворота и подъема исполнительных органов, нагребующих лап или звезд, хода и насосных станций) являются экспоненциальный (на участках приработки и износа) и закон Вейбулла, (на участках нормальной эксплуатации), а затраты времени на их восстановление не противоречит 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 износостойкой 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 ÷ 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 снижение 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 износостойкой 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 ПК 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:

1. Международная конференция г. Тольятти май 2019 г. «Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук».

2. IV Международная научно-техническая конференция, г. Казань 2019г. «Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем».

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

Публикации. По результатам диссертационных исследований, опубликовано 7 печатных работ, среди которых 4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК ДНР, 3 статьи по результатам докладов на научно-технических и научно-практических конференциях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, списка литературы из 139 наименований и трех приложений, содержит 18 таблиц и 16 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе приведен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований в области повышения надежности, проведенными учеными различных стран.

Установлено: 1) проблема обеспечения надежности ГП ПК является актуальной в связи с тем, что в настоящее время создаются комбайны с повышенной производительностью, более высокой энерговооруженностью приводов, 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; 2) для разработки методики оценки надежности ГП при имеющейся информации об отказах, наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы, которые дают точные оценки показателей надежности; 3) 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; 4) Физико-статистические способы моделирования выявляют влияние физических и химических процессов внутри элементов гидросистем, но являются значительно более трудоемкими.

Для обеспечения высоких показателей надежности ГП ПК во время эксплуатации следует в необходимые сроки выполнять перечень работ по предупреждению и быстрому устранению возникших отказов.

1. Отказы ГП ПК 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.

2. Для поддержания высокого уровня надежности ГП ПК 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 ГП комбайнов принадлежит угледобывающим предприятиям.

3. Наиболее распространенной стратегией ТОиР является планово-предупредительный ремонт (ППР), 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.

4. Для перехода на стратегию ТОиР по техническому состоянию ГП комбайнов необходима эффективная система сбора эксплуатационной информации, наличие современных средств диагностики, позволяющих оценить техническое состояние не останавливая оборудование и не проводя разборку самих узлов.

5. Изучение отказов ГП ПК, позволяет выявить наиболее ненадежные их элементы. Причем ГП, эффективно эксплуатируемые в одних горно-геологических условиях, а в других показывают низкую надежность. Статистические исследования надежности ГП до настоящего времени практически не проводились в условиях Донбасса. Поэтому следует сделать вывод, что для изучения надежности ГП ПК необходимо проведение таких исследований.

Во втором разделе разработана структурная схема надёжности ПК — это графическое изображение (дерево целей) взаимосвязи систем комбайна, подсистем, и отдельных элементов подсистем.

Современный ПК – сложная машина, состоящая из примерно 5 тыс. деталей, в том числе в гидравлическом приводе комбайна около 2 тыс. деталей. Поэтому ПК необходимо рассматривать как техническую систему. При этом элементы – составные части системы (рисунок 1)

К уровню общей (главной) цели относится сама система (надсистема) проходческого комбайна (ПК), включающая следующие системы первого уровня: механической V_1^1 (МСК), гидравлической A_1^1 (ГСК) и электрической. Гидравлическая система на втором уровне включает подсистемы: поворота исполнительного органа (ГПриО); подъема исполнительного органа (ГПдИО); A_3^2 – телескопа исполнительного органа (ГТИО); A_4^2 – нагребных лап (ГНЛ), или звезд; A_5^2 – подъема-опускания стола питателя (ГПОСП); A_6^2 – хода правый (ГХП); A_7^2 – хода левый (ГХЛ); A_8^2 – ГП опор (ГО); A_9^2 – насосную станцию (НС).

Механическая система на втором уровне включает следующие подсистемы: V_1^2 – привод исполнительного органа (ПИО); V_2^2 – исполнительный орган (ИО); V_3^2 – конвейер (К); V_4^2 – механическую составляющую правой ходовой части (МПХЧ); V_5^2 – механическую составляющую левой ходовой части (МЛХЧ); V_6^2 – турель (Т).

К третьему уровню относятся составляющие элементы подсистем гидравлической системы.

К четвертому уровню относятся узлы, детали, уплотнения, приборы, клапаны и другие устройства, входящие в элементы подсистем 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.

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.

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_{i0} :

$$P_{n,k}(t) = p_1(t)p_1(t)\dots p_i(t) = \prod_1^i p_i. \quad (1)$$

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

Между приведенными на рисунке 1 структурами систем и подсистем проходческого комбайна и выполняемых ими функций существует связь.

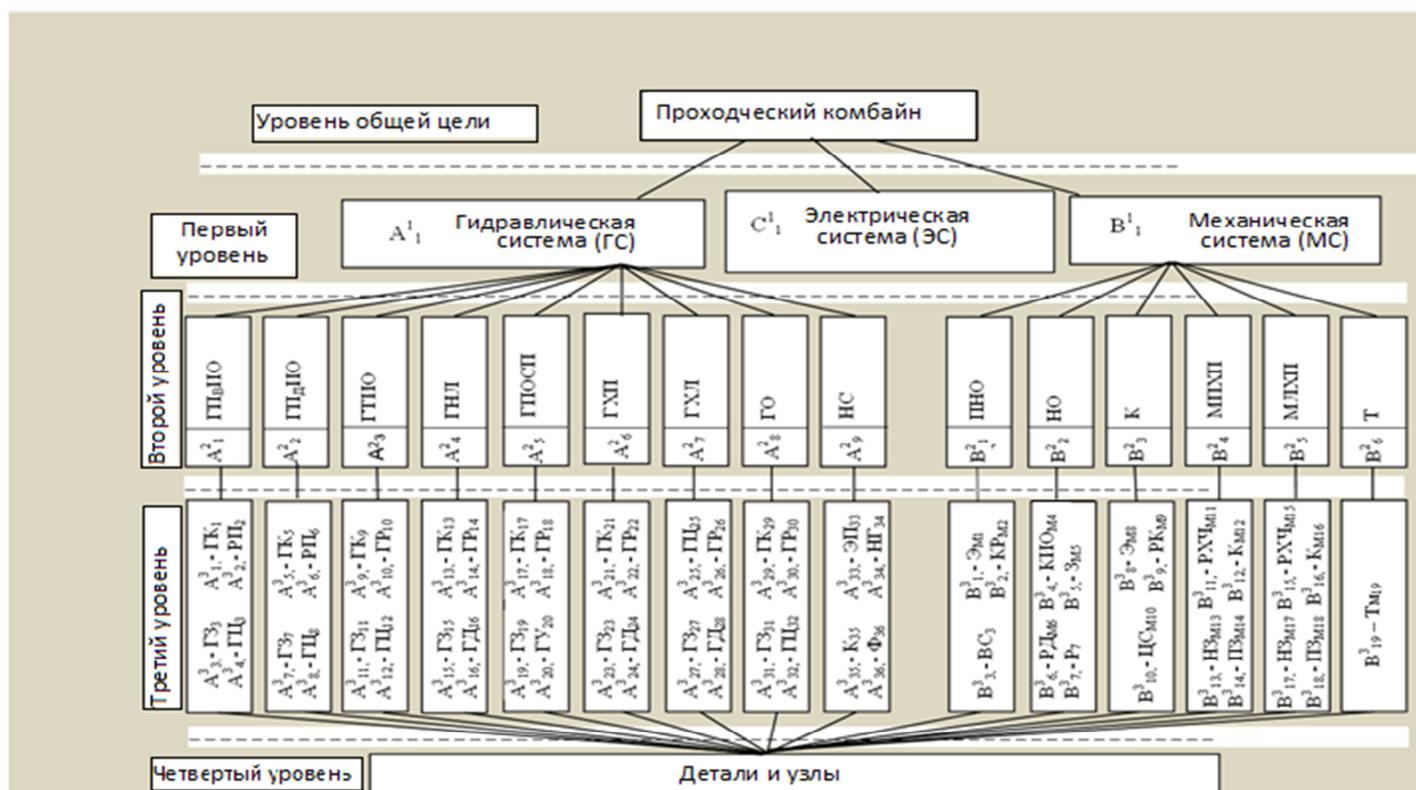


Рисунок 1.- Структура системы ПК типа КСП-32

Различные подсистемы выполняют разные функции, и анализ их взаимодействия с надсистемой показывает, что на высоко нагруженные

подсистемы ГП ИО и ГП ИО, обеспечивающие перемещения исполнительного органа в горизонтальной и вертикальной плоскости забоя, действуют высокие суммарные нагрузки от сил резания и подачи на резах исполнительного органа. Подсистемы ГП ИО, а также подсистема ГНЛ находятся в эксплуатации длительное время, что также отрицательно влияет на надежность работы этих подсистем.

Использованный структурный анализ позволяет рассматривать не отдельные элементы гидросистемы, а подсистемы, узлы и затем элементы.

Для получения экспертных оценок была сформирована группа из десяти экспертов специалистов механических и ремонтных служб шахт ПО «Макееуголь»; ремонтных предприятий и завода-изготовителя ПК.

Результаты опроса по методу ранжирования приведены в таблице 1.

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

торы	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

Три балла эксперты присваивали самому надежному фактору, один балл - наименее надежному фактору. Эти данные преобразовывались в матрицу рангов по зависимости

$$P_{ik} = B_{\max, k} - B_{ik} \quad (2)$$

P_{ik} – ранг к-го эксперта для i-го фактора, $B_{\max, k}$ – максимальный балл, выставленный к-м экспертом, B_{ik} , - текущее значение баллов, выставленных к-м экспертом.

Таблица 2. 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

Из таблицы видно, что эксперты посчитали гидравлическую систему наиболее важной исходя из коэффициента важности факторов (КВФ) 65,4 %.

На втором уровне специалисты эксперты посчитали, что из девяти

гидравлических подсистем наибольшие значения в надежности гидравлической системы имеют: подсистема поворота исполнительного органа 21,4%, насосная станция 19,1 % и подсистема подъема 15,7 %.

Из данных КВФ видно, что наиболее весомый вклад в надежность ПК: 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 гидравлические коммуникации (4,0%) подсистем подъема исполнительных органов. В сумме эти шесть позиций обеспечивают вклад в надежность комбайнов 29,75%, а в надежность гидравлической системы - 46,83 %.

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

Использование принципов системного анализа применительно к исследованию надежности ПК, дало возможность определить значения коэффициентов важности факторов каждого из элементов системы и вклад в обеспечение надежности ПК.

В третьем разделе приведено планирование пассивного эксперимента, которое состояло в выборе представительных для шахт Донбасса горно-геологических условий, в обеспечении организации наблюдений и сборе данных о входных и выходных факторах работы комбайнов и их ГП, а также в выборе объема измерений и обоснование выбора способов обработки полученных данных и измерений.

Для выбора представительных условий проанализированы типы и крепость пород 416 шахтопластов 10 производственных объединений (ПО) Донбасса. Результаты анализа позволили считать, что горно-геологические условия ПО «Макеевуголь» являются представительными условиями для работы ПК класса КСП-32 для всего Донбасса.

Сбор статистических данных по надежности производился во время работы девяти комбайнов КСП-32 в течение более двух лет при суммарной проходке более 13,5 км горных выработок в различных горно-геологических условиях.

Из данных наблюдений следует, что число отказов гидравлических подсистем составляет 69,4 % от всех отказов гидравлических и механических систем, зафиксированных при работе девяти ПК, число отказов механических систем при этом составляет 17,8%, электрических – 12,8%.

Результаты статистической обработки информации о надежности гидравлических подсистем ПК типа КСП-32 в периоды нормальной эксплуатации (без учета периодов приработки и интенсивного износа) подчиняются экспоненциальным законам распределения наработок между отказами. Экспоненциальный закон распределения свидетельствует о преобладании внезапных отказов с небольшими значениями времени наработки между отказами над износными отказами со значительными значениями времени наработки между отказами.

В четвертом разделе выполнено определение рациональной периодичности технических обслуживаний и ремонтов ГП ПК.

На рисунке 2 приведена диаграмма, которая построена по результатам наблюдений за работой комбайнов КСП-32 на восьми шахтах ПО «Макеевуголь».

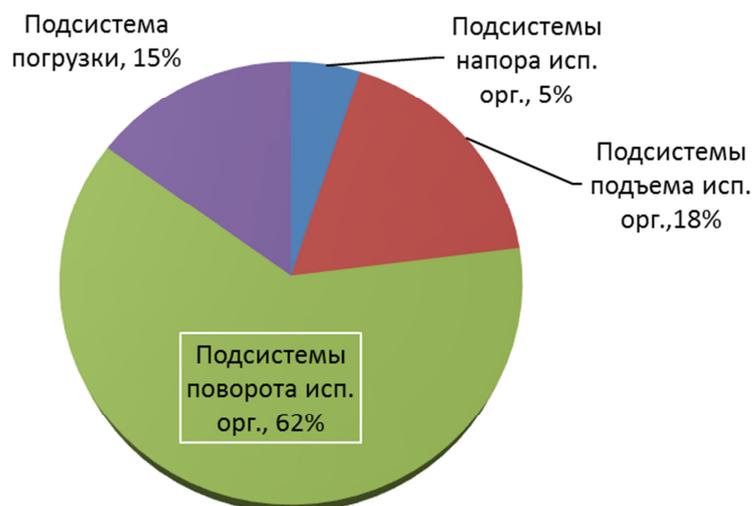


Рисунок 2 - Диаграмма отказов гидравлических подсистем ПК КСП-32

Из данных, приведенных на рисунке 2, 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 расстояния в 4 раза большие, чем подсистемы подъема, и примерно в 12 раз на большие расстояния, чем подсистемы напора.

На рисунке 3 приведены зависимости ППО и ВБР подсистем поворота исполнительных органов от времени эксплуатации комбайнов. Из зависимостей следует, что число отказов в первые шесть месяцев имеет составляет в сумме более 28 % всех отказов. 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 %). За четыре месяца на периоде износа произошло 24,2 % отказов.

Разработан метод прогнозирования эксплуатационной надежности узлов гидравлической системы, основанный на установленных закономерностях ВБР, ППО и ресурса до капитального ремонта

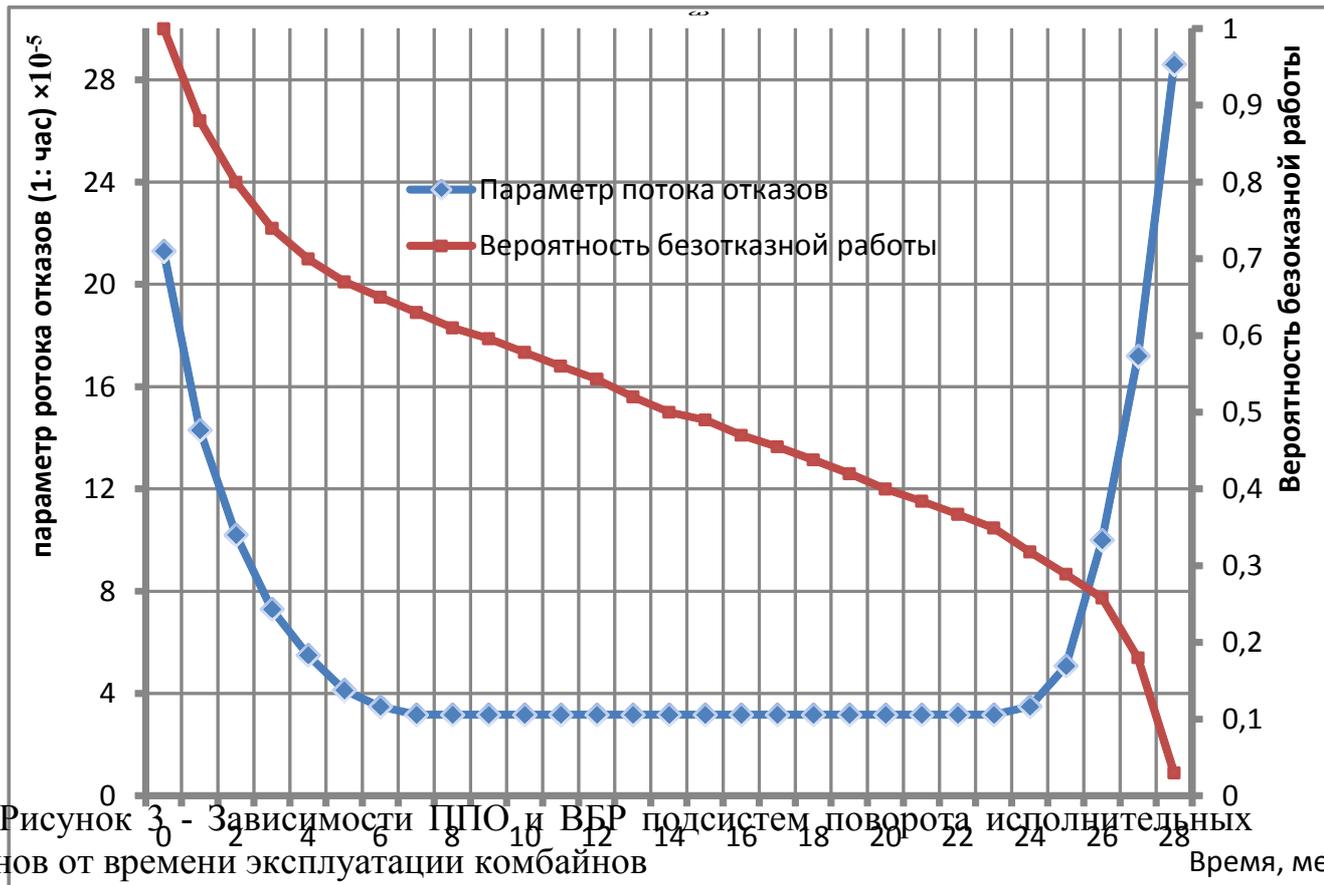


Рисунок 3 - Зависимости ППО и ВБР подсистем поворота исполнительных органов от времени эксплуатации комбайнов

На втором этапе определяется периодичность и объем ТОиР на основе результатов прогнозирования эксплуатационной надежности.

Предложен перечень работ при техническом обслуживании, которые следует выполнять ежесменно, ежесуточно, еженедельно и ежемесячно.

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

Время восстановления узла, агрегата или подсистемы T_v , которое определяется по зависимости:

$$T_v = T_u + T_{п.з} \quad (3)$$

Где 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;
 $T_{н.з.}$ - время доставки запчастей к комбайну для ремонта.

$$K_{\varepsilon} = \frac{T_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon} + T_{И} + T_{н.з.}}, \quad (4)$$

Формулу (4) можно преобразовать за счет умножения и деления числителя и знаменателя на сумму $(T_{\varepsilon} + T_{И})$.

$$K_{\varepsilon} = \frac{T_{\varepsilon}}{T_{\varepsilon} + T_{И}} \cdot \frac{T_{\varepsilon} + T_{И}}{T_{\varepsilon} + T_{И} + T_{н.з.}} = K_{\varepsilon 1} \cdot K_{н.з.}, \quad (5)$$

Где $K_{\varepsilon 1}$ - коэффициент готовности без учета времени доставки запчастей для ремонта,

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

Количественный и номенклатурный состав запасных частей должны отвечать двум основным требованиям. **Во-первых**, должно обеспечиваться при достаточности ЗИП минимальное время восстановления после отказов, что приводит к повышению коэффициента готовности ПК и исключает простои оборудования из-за отсутствия отдельных типов ЗИП. **Во-вторых**, должно быть исключено накопление неиспользуемых ЗИП.

Наиболее простой способ определения среднего $a_{ср}$ значения ЗИП состоит в делении рассматриваемого срока эксплуатации элемента $T_{рз}$ на величину его наработки между отказами $T_{ср}$

$$a_{ср} = \frac{T_{рз}}{T_{ср}} \quad (6)$$

В шестом разделе рассматриваются вопросы повышения ремонтнопригодности элементов ГП ПК

Длительность, стоимость и сложность ремонтов в связи с наступлением отказов, в значительной степени, зависит от ремонтнопригодности комбайнов и их ГП.

Из данных, приведенные в диссертации видно, что математические ожидания восстановления 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.).

Анализ статистических данных ремонтнопригодности ГП ПК позволили разработать рекомендации по усовершенствованию организации ремонтов ПК.

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 ПК 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; гидроцилиндры; гидроблоки предохранительно-измерительные, гидроблоки управления и подпора хода и др.; гидромоторы механизма перемещения и питателя; насосы гидроагрегата; гидроклапаны, двухсторонние гидрозамки и др.

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

Большие нагрузки, высокие скорости движения и попавшие в зазоры пар трения ГП абразивные частицы обуславливают абразивный износ внутренних поверхностей гидроцилиндров, имеющих небольшие значения твердости

В диссертации были проведены исследования по повышению твердости и износостойкости внутренних поверхностей гидроцилиндров поворота, подъема и телескопа исполнительного органа и гидроцилиндров подъема питателя за счет электромеханической обработки при восстановлении на ремонтном предприятии.

Восстановление, упрочнение и повышение твердости внутренних поверхностей гидродомкратов ПК проводилось на установке, приведенной на рисунке 4. Электромеханическая обработка использует термическое и силовое воздействия на внутренние поверхности гидроцилиндров. В результате значительно изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя, повышается твердость и износостойкость.

Сущность обработки состоит в том, что через деформирующий элемент, например: раскатный ролик, пропускают ток большой силы ($100 \div 1200$ А) и низкого напряжения ($1 \div 8$ В).

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 динамическом нагружении деталей.

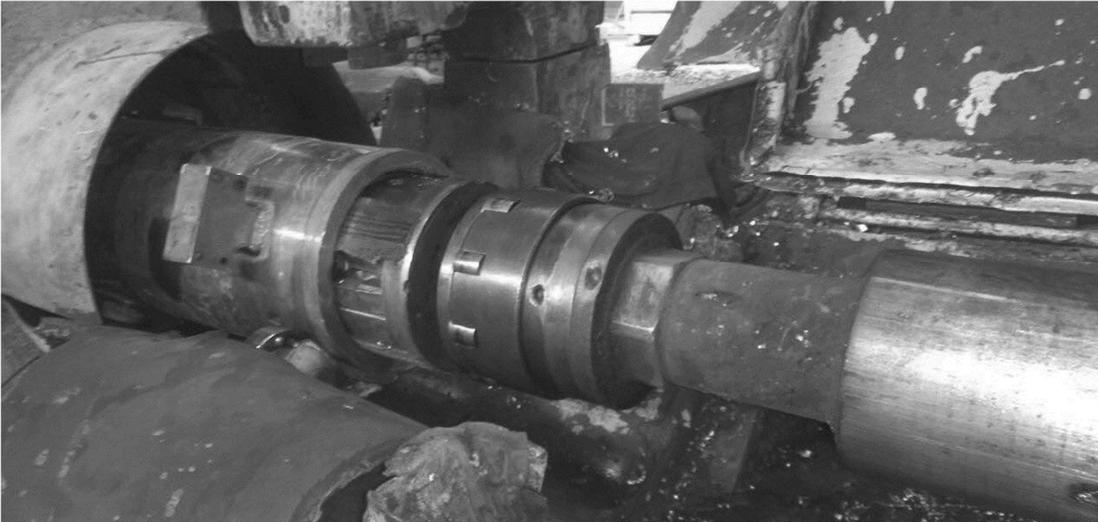


Рисунок 4 - Экспериментальная установка для электромеханической обработки внутренних поверхностей гидроцилиндров.

После электромеханических обработок поверхностей определялась твердость по Роквеллу ($HRC = 55 \div 62$), микротвёрдость по Виккесу ($HV = 645 \div 816$), и определялась шероховатость поверхности ($Ra = 0,1 \div 0,32$ мкм).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-техническую работу, решающая актуальную и важную для горной промышленности задачу, заключающуюся в установлении закономерностей показателей надежности ГП ПК со стреловидными исполнительными органами, необходимых для разработки мероприятий по повышению их надежности за счет технического обслуживания и ремонтов ПК.

Основные научные положения и практические результаты состоят из следующего.

1. Сформирована на основе системного подхода и системного анализа структурная схема ПК КСП-32, состоящая из пяти уровней в виде дерева целей, и представляющая структуру из надсистемы, трех систем, 15 подсистем, и 52 узлов гидравлической и механической систем, а также большого количества элементов и деталей. Структурная схема позволила рассматривать и управлять надежностью не отдельных элементов комбайнов, а надежностью их систем и подсистем.

2. В результате оценок значимости систем, подсистем и элементов ПК, полученных методами экспертного опроса и из анализа отказов, зафиксированных при эксплуатации комбайнов КСП-32 в условиях шахт Донбасса, впервые установлено, что число отказов гидравлических систем изменяется от 65,4 % до 69,4 % от всех отказов проходческих комбайнов. Число отказов механической системы при этом составляют 17,8 ÷ 19,2%, электрических систем - 12,8 ÷ 15,4%. Это свидетельствует о том, что надежность гидравлических систем комбайнов значительно ниже, чем надежность механических систем и электрических систем. Причем средняя наработка между отказами механических систем комбайнов

более значительная (составляет 1620 ч), чем средняя наработка между отказами гидравлических систем (составляет 893 ч).

3. Разработан алгоритм оценки показателей надежности ГП, позволяющий определять закономерности распределения вероятности безотказной работы и параметров потока отказов, по данным экспериментальных исследований. При этом проверка сходимости гипотез теоретических зависимостей распределений с экспериментальными распределениями показателей надежности производилась по критерию согласия χ^2 .

4. При проведении исследований 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. Закономерности распределения вероятности безотказной работы и параметров потока отказов подсистем поворота исполнительных органов на участках приработки описываются распределениями Вейбулла, на участках нормальной эксплуатации – экспоненциальными законами распределения, а на участках износа – распределениями Вейбулла.

5. Разработанный метод прогнозирования надежности подсистем, узлов и элементов гидравлической системы, заключающийся в использовании распределений вероятности безотказной работы и параметров потока отказов, а также в определении оставшегося ресурса до капитального ремонта, позволил определить рациональные периодичности и объемы ТО и Р ПК.

6. Определены принципы установления целесообразных потребностей в ЗИП при ремонтах ПК, заключающиеся в снижении убытков из-за недостачи ЗИП, приводящим к простоям оборудования, и в снижении убытков из-за покупки излишних запасных частей, транспортировки и складского обслуживания, но которые не используются или недостаточно используются при ремонтах и обслуживании проходческих машин. Эти принципы использованы при разработке рекомендаций электромеханическим службам шахт по рациональному обеспечению количеством номенклатурой запасных частей для ремонтов ПК.

7 Анализ ремонтпригодности ГП комбайнов позволил установить, что зависимости времени восстановления отказавших элементов ГП ПК подчиняются экспоненциальному закону и значительно зависят от сечения проходимых выработок. При меньших сечениях выработок ($10\div 12 \text{ м}^2$) среднее время восстановления увеличивается в полтора, а иногда в два раза, в сравнении с большими сечениями выработок ($23\div 28 \text{ м}^2$).

8. Установлено, что для восстановления изношенных внутренних поверхностей гидроцилиндров целесообразно использовать электромеханический способ восстановления и упрочнения, позволяющий повысить твердость до $55\div 62 \text{ HRC}$ и микротвердость до $645\div 816 \text{ HV}$ при шероховатости поверхности

$R_a=0,01\div 0,32\text{мм}$.

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

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Шендрик, А.В. Повышение надежности гидроприводов проходческих комбайнов за счет электромеханической обработки внутренних поверхностей гидроцилиндров / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Вестник ДонНТУ. – 2017. - №4(10) - С. 22-27
2. 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.
3. 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.
4. Шендрик, А.В. Определение рациональной периодичности технических обслуживаний и ремонтов ГПов проходческих комбайнов избирательного действия / О.Е. Шабаев, Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Вестник ДонНТУ 2019, №2(19). С. 61-71

Научные работы и тезисы докладов в материалах конференций

1. Шендрик, А.В. Повышение ремонтпригодности ГПов проходческих комбайнов / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // Международная конференция г Тольятти. Приоритетные задачи и стратегии развития технических наук. 2019. С-10-16.
2. 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», г. Калуга, 2019. С 30-34.
3. Шендрик, А.В. Определение состава запасных частей для обеспечения необходимого уровня надежности ГПов проходческих комбайнов избирательного действия / Н.Г. Афендииков, А.В. Шендрик // IV Международная научно-техническая конференция. г. Казань 2019г. Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем. С 30-34.

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве:

[1, 2, 4, 5, 6, 7] – проведение и обработка данных экспериментальных исследований, полученных при эксплуатации проходческих комбайнов; [1] – идея

применения электромеханической обработки для восстановления и упрочнения внутренних поверхностей гидроцилиндров; [2] – разработка структурной схемы комбайна с использованием методов системного подхода; [2, 4] – анализ данных оценки экспертной оценки показателей надежности и сравнение с результатами экспериментов; [7] – разработка принципов рационального резервирования ЗИП; [3] – идея выяснения влияния сечения проводимых выработок на ремонтпригодность комбайнов.