

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологий  
институт  
«Горные машины и комплексы»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.С. Морин  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»

(специальность)

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

(специализация)

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И  
РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ  
ОЦЕНОК И МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ

тема

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.В. Доронин

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Д.А. Завадич

инициалы, фамилия

Консультанты:

Экономическая часть

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Р.Р. Бурменко

инициалы, фамилия

Безопасность

жизнедеятельности

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.В. Галайко

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.В. Доронин

инициалы, фамилия

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.С. Морин  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме дипломной работы**

Студенту Завадичу Дмитрию Алексеевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ГМ 15-12 Направление (специальность) 21.05.04 «Горное дело»,

номер

код

специализация 21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Организация планирования технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов на основе экспертных оценок и мониторинга эксплуатации»

Утверждена приказом по университету № 468/с от 19 января 2021 года

Руководитель ВКР С.В. Доронин, кандидат технических наук, доцент  
кафедры Горные машины и комплексы

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР перечень причин отказов карьерных экскаваторов.

Перечень разделов ВКР Введение, современное состояние анализа причинно-следственного комплекса надежности карьерных экскаваторов, сбор и обработка экспертной информации о значимости факторов влияния на надежность машин, разработка структуры информационной системы планирования ремонтов карьерных экскаваторов, безопасность жизнедеятельности, сетевая модель выполнения работы.

Перечень графического материала иллюстрационный материал для презентации ВКР

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_   
подпись

С.В. Доронин

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

Д.А. Завадич  
подпись, инициалы и фамилия студента

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>6</b>
<b>1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНАЛИЗА ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ .....</b>	<b>7</b>
1.1 Конструктивные факторы.....	7
1.1.1 Факторы, связанные с проектированием экскаваторов .....	7
1.1.2 Факторы, связанные с производством экскаваторов .....	12
1.2 Эксплуатационные факторы .....	15
1.2.1 Факторы производственной эксплуатации .....	17
1.2.2 Условия эксплуатации.....	20
1.2.3 Квалификация машиниста .....	31
1.3 Факторы, связанные с технической эксплуатацией .....	37
<b>2 СБОР И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИН. 39</b>	<b>39</b>
2.1 Методы экспертных оценок.....	42
2.1.1 Коллективные и индивидуальные методы экспертных оценок.....	42
2.1.2 Качественные, количественные и комбинированные методы .....	46
2.1.3 Анкетирование и интервьюирование .....	48
2.2 Формулировка комплекса вопросов и структуры опросных листов.....	51
2.2.1 Перечень вопросов для анкетирования .....	51
2.3 Обработка экспертных данных.....	51
<b>3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ.....</b>	<b>59</b>
3.1 Анализ применяемых стратегий технической эксплуатации карьерных экскаваторов .....	59
3.1.1 Реактивное техническое обслуживание .....	59
3.1.2. Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта.....	60
3.1.3 Профилактическое обслуживание по фактическому состоянию .....	64
3.1.4. Активное техническое обслуживание .....	65

3.2 Планирование организации технической диагностики обследований карьерных экскаваторов .....	68
3.2.1 Классификация методов неразрушающего контроля. ....	69
3.2.2 Информационно-диагностические системы современных экскаваторов .....	78
3.2.3 Визуально-измерительный контроль.....	79
3.2.4 Диагностируемые узлы и агрегаты карьерных экскаваторов .....	81
3.2.5 Экспресс диагностирование и углубленное диагностирование .....	82
3.3 Методы автоматизации планирования ремонтов .....	86
3.3.1 Системы автоматизации технического обслуживания и ремонтов ERP-системы .....	90
3.3.2 ЕАМ-системы и системы CMMS .....	93
3.4 Информационная система планирования технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов .....	99
<b>4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....</b>	<b>103</b>
4.1 Правила безопасности при выемочно-погрузочных работах.....	103
4.2 Обеспечение безопасности при эксплуатации электроустановок .....	104
4.3 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях .....	105
4.4 Ремонтные работы .....	106
4.5 Требования по борьбе с пылью, вредными газами и радиационной безопасностью.....	108
<b>5 СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....</b>	<b>115</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>121</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>122</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>135</b>
<b>Приложение Б .....</b>	<b>138</b>
<b>Приложение В .....</b>	<b>139</b>
<b>Приложение Г .....</b>	<b>142</b>
<b>Приложение Д.....</b>	<b>145</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Состояние горной промышленности Российской Федерации давно перешло в разряд «острых проблем». Большая часть добычи полезных ископаемых ведется открытым способом. Основными выемочно-погрузочными машинами в отечественной и зарубежной практике являются карьерные экскаваторы. Карьерных экскаваторы-мехлопаты применяются для разработки практически любых грунтов. Поэтому они обладают высокой надежностью и маневренностью, при соблюдении необходимых мер эксплуатации. Для обеспечения должного уровня надежности и бесперебойности работы экскаватора, нужно знать какие параметры влияют на надежность. Суровые климатические условия, тяжелые условия эксплуатации, плохое качество запасных частей и т.д. являются факторами снижения надежности экскаватора. Многие из этих факторов либо не учитываются, по причине сложности определения их влияния, либо учитываются, но не обрабатываются и не систематизируются, что негативным образом влияет на обеспечение надежности этих машин.

# **1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНАЛИЗА ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

К горным машинам, в частности экскаваторам, как к промышленным объектам, предъявляются высокие требования по эффективности функционирования. Карьерные экскаваторы должны обеспечивать высокую производительность, надежность и требуемый уровень промышленной безопасности.

Эффективность и безопасность эксплуатации горных машин и оборудования обеспечивается заданным конструктивным ресурсом, совершенством процессов изготовления, сборки и монтажа, особенностями их эксплуатации.

На надежность, срок службы и уровень качества горной машины в целом и ее деталей оказывает значительное количество факторов, которые условно можно разделить на две группы: *конструктивные* факторы, и *эксплуатационные* факторы, которые в свою очередь делятся на факторы производственной и технической эксплуатации.

## **1.1 Конструктивные факторы**

Конструктивные факторы складываются из особенностей технологий разработки, изготовления и монтажа экскаваторов.

### **1.1.1 Факторы, связанные с проектированием экскаваторов**

Ключевую роль в надежности машины играет стадия *проектирования*. Можно сказать, что это на этом периоде закладывается надежность экскаватора. Проектирование экскаватора делится на следующие стадии:

- 1) Составление технического задания на проектирование;

- 2) Разработка технического проекта;
- 3) Рабочее проектирование;
- 4) Корректировка чертежей по результатам опытного образца;

К техническим заданиям необходимо подходить критически. Конструктор должен хорошо знать отрасль промышленности, для которой проектируют машину. Он обязан проверить задание и в нужных случаях обоснованно доказать необходимость его корректировки [1].

На стадии составления технического задания, производится подбор рабочих параметров экскаватора (емкость ковша, рабочая масса, габаритные размеры, мощность приводов, динамические нагрузки и т.д.) с учетом технологии ведения горных работ и анализа опыта полученного в сфере разработки. Если машина уже входит в разработанный и утвержденный ряд, обосновывается необходимость ее модификации или создания специальной машины [2].

В техническом задании выдвигаются требования, предъявляемые к машине:

- Качественное выполнение рабочего процесса;
- Необходимая производительность машины и экономичность работы;
- Обеспечение безопасности ведения работы на экскаваторе;
- Эргономические характеристики машины;
- Эстетические показатели машины;
- Унификации и стандартизации;
- Экономические показатели (окупаемость, цена).

Техническое предложение разрабатывается с целью уточнения требований предъявляемых к изделию, которые не были указаны в техническом задании, но должны быть применены, для полного представления изделия (технические характеристики, параметры машины, размеры).

Эскизный проект это документ дающий представление об основном устройстве машины, принципе ее работы и основных параметрах.



Технический проект содержит конструкторские документы, в которых представлены окончательные технические решения, дающие полное представление об изделии и содержащие необходимую информацию для создания рабочей информации.

После технического проекта приступают к выполнению рабочего проекта и изготовлению опытных образцов.

Для оценки и контроля качества результатов, полученных на определенных этапах ОКР, опытные образцы продукции подвергают контрольным испытаниям. По окончании приемочных испытаний опытные образцы или образцы опытной партии считаются выполнившими свои функции и могут быть использованы (как несерийные образцы) к использованию, на основе особого решения в соответствии с действующим законодательством [3].

После испытаний опытного образца, на основе полученных данных, вносят корректировку в чертежи, выбирают оборудование, оптимизируют технологию изготовления и рассчитывают затраты на изготовление.

Основные причины отказов, возникающие на стадии проектирования: конструктивно-технологические несовершенства проекта, нарушение технологического процесса производства и монтажа, качество металла и его соответствие условиям эксплуатации [4,5].

Для анализа технологических возможностей и обеспечения требуемой надежности экскаватора на этапе проектирования необходимо проводить соответствующие расчеты. Элементы несущих металлоконструкций и механизмов экскаватора необходимо проверять на усталостную прочность, для чего требуются графики изменения на них усилий [6].

Некоторые расчеты элементов могут быть выполнены не корректно, что может выражаться в неверном выборе материалов и конструкций, излишней металлоемкости узла, или в недостаточной прочности конструкции, приводящей к преждевременному повреждению детали. В этой связи при проектировании необходимо более полно учитывать возникающие в процессе эксплуатации динамические нагрузки [7].

Точность проектного расчета элементов рабочего оборудования современными методами невысока по следующим причинам:

- сложность математического выражения силовых факторов в многозвенной кинематической цепи с большим числом степеней подвижности;
- разнообразие видов выполняемой экскаватором работы;
- неопределенность внешней нагрузки на рабочее оборудование. В условиях постоянного увеличения объемов земляных работ и ужесточения требований к качеству их выполнения возникает необходимость совершенствования методов расчета и проектирования землеройной техники [8].

В работах [9,10] в качестве результатов обследования карьерных гусеничных экскаваторов в рамках экспертизы промышленной безопасности, приводятся причины возникновения трещин и дефектов металлоконструкций экскаваторов, среди которых указываются: основной причиной возникновения хрупких разрушений металлоконструкции экскаватора становится воздействие внешних факторов, таких как несовершенство конструктивных форм и переходных сечений отдельных узлов и деталей, нарушение термической обработки в результате ремонтных воздействий и др. На это указывают результаты обобщения характера появления и развития хрупких трещин различных узлов металлоконструкции экскаватора; наиболее часто трещины появляются в местах концентрации напряжений, т.е. в местах подрезов, пересечении сварных швов, резких переходов, технологических проемов и др.; во всех обследованных экскаваторах трещины металлоконструкции появляются приблизительно в одних и тех же местах, что указывает на наличие определенных «слабых» мест в конструкции экскаватора. Например, трещины в сварных швах крепления стаканов поворотных шестерен в нижнем листе поворотной платформы образуются из-за недостаточной жесткости обечаек стаканов.

Одной из значимых причин отказов, являются неправильный расчет нагрузок и сил, действующих на детали и узлы экскаватора (неправильный

выбор запаса прочности) [11]. Большинство формул разработано для среднемаксимальных значений удельных сопротивлений копания и потому частично учитывают обычно встречающиеся динамические нагрузки. Они не учитывают случайные «пики» нагрузок, вызванные встречей с непреодолимым препятствием и стопорением ковша в максимальном динамическом режиме.

Максимальные динамические нагрузки, возникающие в виде «пиков» вследствие тяжелых условий работы машины, должны вводиться в прочностные расчеты, однако определять их следует на основе анализа условий, присущих действительным режимам работы, отвечающим управлению без нарушения правил эксплуатации.

Так как учесть множество режимов работы экскаваторов в разных условия эксплуатации крайне трудно расчеты ведутся на среднестатистические нагрузки (при правильном и управлении машиной), возникающие при работе экскаватора в наиболее тяжелых условия [2].

Так же внешние нагрузки на узлы экскаваторов принимают во многих случаях ориентировочно, так как точное определение нагрузок может быть произведено в основном экспериментальными статистическими исследованиями натуральных образцов машин [12].

Статистический анализ неисправностей машин показывает, что до 90 % таких неисправностей связаны с ошибками при конструировании. Причины возникновения ошибок заложены в сущности процесса самого конструирования. Творческий процесс конструирования – это процесс в воображении конструктора. Используя данные технического задания, информационных материалов и практического опыта, конструктор создает мысленный образ изделия, который посредством чертежей приобретает реальные черты. При переходе от мысленного (идеального) образа изделия к его реальному воплощению конструктору приходится считаться с целым рядом требований и ограничений. Эти факторы часто противоречивы и не позволяют создать тот реальный образ изделия, к которому стремился конструктор.

При конструировании экваторов возможен целый перечень ошибок [13], о качестве конструкторской документации свидетельствует правильная простановка в чертежах размеров и допускаемых отклонений. Размеры и допускаемые отклонения определяют точность сборочного процесса, взаимозаменяемость деталей, использование рациональной технологии изготовления деталей.

Только безошибочное выполнение чертежа обеспечивает изготовление годной для эксплуатации детали [13].

После проектирования и испытаний следует *изготовление экскаваторов*. На этом этапе важно соблюдать проектные рекомендации, обеспечить качество материала, придерживаться технологии сборки деталей в узлы, узлов в агрегаты. Это во многом определит дальнейшую надежность машины.

### **1.1.2 Факторы, связанные с производством экскаваторов**

Изготовление экскаватора состоит из следующих этапов: подбор и использование нужного металла, изготовление деталей, контроль качества деталей, транспортирование потребителю деталей и узлов, сборка, обкатка и испытания экскаватора, введение в эксплуатацию.

В работе [14] описывается влияние технологии изготовления заготовок деталей на качество изделия машиностроения, согласно которым наибольший ущерб механическим свойствам и надежности литых заготовок приносят дефекты усадочного происхождения. Для обеспечения высокого качества отливок требует строгой системы контроля исходных материалов и всего технического процесса.

Организация качества технологического процесса изготовления деталей, а именно правильно подобранное оборудование, соблюдение точного порядка операций, контроль параметров процессов, позволяет получить соответствующие нормам детали экскаватора. Качество деталей, зависит от: марки сплава, класса точности, группы сложности, массы отливки, габаритных

размеров, временных сопротивлений, предела текучести, относительного удлинения, относительного сужения, ударной вязкости, верхнего предела твердости, нижнего предела твердости, неравномерности твердости, микроструктуры, припусков на механическую обработку, допусков размеров отливки, толщины необрабатываемых стенок и ребер, допусков массы отливки, шероховатости.

*Наличие слабых мест в сварных швах.* Одной из значимых причин отказов, являются разрушение сварных соединений вследствие усталостных напряжений (неправильная конструкция сварных швов, некачественное их выполнение) [10];

Сварочные напряжения и деформации доставляют немало трудностей при изготовлении и эксплуатации сварных конструкций, так как они могут вызывать: а) изменение запроектированных размеров свариваемых деталей и узлов; б) искажение и изменение формы отдельных сварных узлов и конструкций; в) появление трещин и разрывов в процессе изготовления сварных конструкций; г) разрушение сварных конструкций в процессе эксплуатации, особенно при пониженных температурах. Поэтому мероприятиям по уменьшению напряжений и деформации уделяется большое внимание, и закладываются они сначала проектирования конструкции и правильного выбора технологии изготовления [15].

При изготовлении сварных конструкций из труб шов оказывается односторонним вследствие невозможности подварки его корневой части. К таким конструкциям относятся балки рукояти, нижние и верхние секции стрелы, двуногая стойка, подкосы рабочего оборудования экскаваторов ЭКГ-10, ЭКГ-15 и другие детали. При осевой нагрузке (растяжении) или переменном изгибе таких соединений повышается опасность разрушения со стороны корневой стороны шва. Так же установлено что излом по сварному шву начинает развиваться именно в корневой части. Состояние зоны корня шва имеет преобладающее влияние на усталостную прочность односторонних соединений. Трещины в зоне сварного соединения возникают в некоторых

случаях на концевых участках швов. Этот факт не случаен, так как в конце швов, как правило, имеют место конструктивные сопряжения различных элементов трубы и листового металла и технологические концентраторы, прежде всего, высокие остаточные напряжения. Остаточные напряжения, возникающие при сварке металлоконструкций карьерных экскаваторов, по-разному влияют на несущую способность и усталость последних. Их следует учитывать наряду с напряжениями от внешних нагрузок при расчётах на статическую и динамическую прочность и долговечность [16].

В настоящее время основной причиной отказов сварных конструкций, работающих в условиях динамического нагружения, является усталость при низких климатических условиях. Наиболее часто образуются трещины в боковых швах в корпусе передней стенки, на основании передней стенки, в местах приварки проушин, на швах по коробчатым поясам ковша экскаватора ЭКГ-20. Трещины также появляются на стенках, полках балок рукояти и поперечины в местах швов, где наблюдается переход жесткости, а также сколы зубьев рейки [17]. Данное свидетельствует о наличии «узких мест» конструкции и ненадлежащем качестве выполнения сварочных работ.

*Концентрация напряжений* может быть конструктивной и технологической. Местное уменьшение пластичности возникает вследствие объёмного напряжённого состояния. Особенно это проявляется у крупногабаритных сварных деталей при больших толщинах сечений, пересечении швов, расположенных пространственно, изменении свойств металла из-за наклёпа, старения, вида термообработки и др. Существенную роль оказывает характер нагружения конструкции и остаточные напряжения после сборки и сварки. Хрупкие разрушения возникают при неблагоприятном сочетании отмеченных конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Концентрация напряжений, локализуемая геометрическими особенностями конструкции в местах соединения деталей, существенно влияет на усталостную прочность и долговечность. Размеры вырезов, отверстий, канавок, мест соединений и других концентраторов напряжений зависят от их

расположения относительно друг друга, вида напряжения и механических свойств материала детали [16].

Так же производственным причинам отказов следует отнести отказы, возникшие в результате нарушения технологии изготовления экскаваторов: низкое качество входных материалов и проводимых процессов [18,19]; устаревшие технологии и методы изготовления [20]; неправильный выбор режимов обработки и сборки или их нарушение [21]; не соблюдение рекомендаций проектных организаций при изготовлении деталей, сборке и монтаже [18,13]; некомпетентность персонала.

Определяющее влияние на надежность и срок службы горных машин и оборудования оказывает не только технология изготовления, но и особенности эксплуатации.

## **1.2 Эксплуатационные факторы**

В научно-технической литературе существует множество попыток классификации факторов влияющих на надежность горных машин

Так в [22-24] на основе анализа научно-методической базы оценки и обеспечения эффективности функционирования и технического состояния карьерных экскаваторов в зависимости от условий и режимов их эксплуатации установлены и классифицированы факторы, влияющие на работоспособность карьерных экскаваторов цикличного действия. Согласно предложенной классификации влияющие факторы разделены на шесть основных групп: 1 – горно-геологические и горно-технические; 2 – климатические; 3 – качество подготовки забоя и горной массы; 4 – управление экскаватором; 5 – техническое состояние экскаватора; 6 – организация ведения горных работ.

П.В Иванова в работах [25,26] все многочисленные факторы, которые в той или иной степени оказывают влияние на интенсивность деградиационных процессов экскаватора в течение его жизненного цикла, можно разделить на две большие группы: эргатические, протекающие с участием человека;

природно-техногенные, где непосредственное влияние человеческого фактора отсутствует или оно сведено к минимуму.

В работе [25], описывается следующее распределение факторов: технологические - 10% всех отказов, организационные – 14%, на климатические – 17%, на машинный (технический) – 19% и человеко-машинный (личностный) – 40% отказов.

И.В Баранникова, И. Мажибрада [27] разделяет причины, вызывающие изменение технического состояния (появление неисправностей карьерных машин) на следующие группы факторов:

- конструктивные факторы;
- технологические факторы;
- эксплуатационные факторы.

К эксплуатационным относятся: климатические факторы атмосферные осадки, высокие и низкие температуры, влага, солнечная радиации; горно-геологические условия, воздействия газов, запыленность воздуха; биологическая среда плесень, микроорганизмы, насекомые; физико-механическими свойствами разрабатываемых горных пород.

Кудреватых А.В., Кудреватых Н.В. [28] классифицирует факторы влияющие на надежность по нескольким признакам.

1. В зависимости от степени влияния на производственный процесс выделяет следующие группы факторов:

- факторы, оказывающие существенное влияние на транспортный процесс;
- факторы, практически не влияющие на процесс перевозки грузов, включая элемент случайности, присущий любым многофакторным системам.

2. В зависимости от причин возникновения факторы можно разделить на следующие группы:

- технологические;
- конструктивные;
- организационные;



– природные.

При этом автор отмечает, что в каждой группе присутствуют факторы, которые находятся в корреляционной связи между собой. Известно, что взаимно коррелированные факторы можно заменить одним, определяющим всю группу этих факторов.

3. По возможности управления факторы подразделяются на две группы:

– управляемые;

– неуправляемые.

В качестве управляемых факторов отмечается, как наиболее существенные являются техническое состояние и структура парка экскаваторно-автомобильных комплексов, а именно технические характеристики и типы применяемых экскаваторов, их возраст и техническое состояние, состояние производственно-технической базы, квалификация обслуживающего персонала и т.д.

К неуправляемым факторам относятся дорожные, климатические, горнотехнические условия, в том числе способ залегания полезного ископаемого, сложность выемки и транспортировки горных пород, эксплуатационные характеристики карьера.

Все факторы связанные с эксплуатацией экскаваторов можно разделить на две группы: факторы, связанные с производственной эксплуатацией и факторы, связанные с технической эксплуатацией.

### **1.2.1 Факторы производственной эксплуатации**

Производственная эксплуатация - использование изделия по назначению. Производственная эксплуатация экскаватора связана с выемкой и погрузкой породы.

Карьерные экскаваторы проектируются для работы в конкретных условиях эксплуатации, которые для них будут номинальными, при этом регламентируются: категория горной породы по трудности экскавации, средний

размер куска, допустимый уклон рабочей площадки, климатические условия эксплуатации и т.д.

В таблице 1 представлены номинальные условия для карьерных экскаваторов ЭКГ- 4У, ЭКГ- 5УС, ЭКГ- 5А, ЭКГ- 6,3УС, ЭКГ- 8И, ЭКГ- 8УС, ЭКГ- 10[29-31].

Таблица 1 - Номинальные условия эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ- 4У, ЭКГ- 5УС, ЭКГ- 5А, ЭКГ- 6,3УС, ЭКГ- 8И, ЭКГ- 8УС, ЭКГ- 10

Нормативные условия	Марки экскаваторов						
	ЭКГ- 4У	ЭКГ- 6,3УС	ЭКГ- 8И	ЭКГ - 5УС	ЭКГ- 5А	ЭКГ- 8Ус	ЭКГ- 10
Климатические условия	По ГОСТ 15150-69 и ОСТ 24. 072.13.81						
Влажность, %, среднесуточная предельная	не более 80 95+3%						
Температура окружающего воздуха, °С	-40 +40			-40 +45			
Высота над уровнем моря, м	Не более 1000.						
Окружающая среда	Не взрывоопасная						
Колебание напряжения подводимого к экскаватору тока, % не более	- 5 % + 10 %			-10 % + 10 %			
Допустимый угол наклона экскаватора, град не более.	2	3		2		3	
Разработка пород III, IV и V категории	С предварительным рыхлением взрывом.						
Качественные показатели забоя	по ОСТ 24.072.11-80						
Средневзвешенный размер куска в поперечнике, мм не более				250		250 мм	300мм

Продолжение таблицы 1

Выход негабарита, % не более	0,7	2		2	2
В забое не должно быть не взорванных участков, в том числе в подошве уступа.					

При уменьшении плотности разрабатываемых пород по сравнению с номинальной плотностью на 15% и более допускается по согласованию с заводом-изготовителем применение ковшей увеличенной вместимости.

При увеличении плотности разрабатываемых пород по сравнению с номинальной плотностью на 10% и более следует по согласованию с заводом-изготовителем применять ковши уменьшенной вместимости.

Для каждой категории пород качество забоя характеризует степень подготовки горной массы к эффективной экскаваторной выемке верхним черпанием и определяет совокупность единичных показателей качества.

Основными единичными показателями качества забоя являются: высота забоя, выход негабарита, средний диаметр кусков смеси и коэффициент разрыхления горной массы в забое.

Для каждой категории пород устанавливаются сочетания единичных показателей, соответствующих номинальному и предельному качеству забоя.

Номинальное качество забоя соответствует таким горно-техническим условиям, при которых гарантируется номинальная техническая производительность и надежная работа экскаватора.

Предельным качеством забоя является предельно допустимое качество забоя, соответствующее таким горнотехническим условиям, при которых гарантируется надежная работа экскаватора при снижении номинальной технической производительности в 1,5-2 раза и ухудшение вибрационных характеристик экскаватора.

Забой следует считать лучше номинального (или предельного качества) в том случае, если ни один из единичных показателей не достигает показателей соответствующего качества, указанных в таблице. В противном случае забой

следует считать хуже номинального (или предельного) качества Z. При совпадении одного или нескольких единичных показателей с показателями номинального (или предельного) качества при условии, что другие показатели качества не достигают значения показателей соответствующего качества, забой следует считать номинального (предельного) качества.

При наличии в забое не взорванных участков, в том числе в нижней части забоя, последний следует считать ниже предельного качества.

При работе экскаваторов в забоях хуже предельного качества завод изготовитель не гарантирует надежной работы экскаваторов [29].

Параметры развала взорванной породы (его высота, ширина и коэффициент разрыхления породы в развале) должны соответствовать рабочим параметрам экскаватора и его мощности [24].

Очевидно, что при эксплуатации экскаватора в условиях, отличающихся от номинальных, эффективность работы машины будет изменяться: в более тяжелых – снижаться, в легких – возрастать..

Причины отказов экскаваторов, связанные с производственной эксплуатацией: можно разделить на две группы: условия эксплуатации и режим эксплуатации.

### **1.2.2 Условия эксплуатации**

Условия эксплуатации экскаваторов можно отнести к довольно тяжелым, из которых наибольшее влияние оказывают [2,32-39]:

1. Горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации, организация ведения горных работ – глубина карьера, уклоны пути и их протяженность, параметры рабочего пространства, физико-механические свойства разрабатываемых пород (крепость, кусковатость, трещиноватость и т. д.).

2. Природно-климатические условия – максимальные температуры, скорость ветра, влажность, запыленность и агрессивность атмосферного

воздуха продолжительность зимнего и летнего периода, количество и тип осадков.

**Горно-геологические и горнотехнические факторы,** определяют интенсивность работы машин и оборудования, величину технологических и динамических нагрузок, интенсивность износа их узлов и агрегатов.

**Физико-механические свойства пород** определяют сопротивляемость резанию (копанию) и соответственно, нагрузки на несущие конструкции и основные рабочие механизмы экскаватора[40].

Влияние характеристик разрабатываемой породы и динамичности работы горных машин на их работоспособность описано в работах Н.Г. Домбровского, В.И. Русихина, В.Р. Кубачека, Ю.И., В.С. Квагинидзе и др. в [2,34,41-44].

Широкое распространение получила *классификация горных пород по трудности экскавации* по единым нормам выработки (ЕНВ), представленная в таблице 2.2. В ней же приведены значения коэффициентов  $k_n$  и  $k_p$  – наполнения ковша и разрыхления горной породы, характерные для данной категории горных пород.

Исследования автора в работе [25], показывают, что интенсивность отказов элементов экскаваторов при разработке горных пород IV категории в среднем в пять раз выше, чем при разработке пород I категории, а в ряде случаев разнится на порядок

Таблица 2 – Классификация горных пород по трудности экскавации [22]

Категории горных пород по трудности экскавации (по ЕНВ)	Характеристика пород	$k_p$	$k_n$
I	Торф и растительный грунт; песок; супесок; суглинок лессовидный; руды марганцево-песчанистые окисные.	1,15	1,05

Продолжение таблицы 2

II	Глина бентонитовая; угли бурые и каменные, слабые (мягкие); суглинок тяжелый, плотный; руды ашаритовые, плотные; руды марганцевые, карбонатные, слабые; лёсс с гравием и галькой.	1,25	1,05
III	Суглинок тяжелый, плотный; руды марганцевые, карбонатные, слабые; лёсс с гравием и галькой; туф и пемза; угли бурые и каменные, крепкие; сланцы глинисто-углистые; рыхлые, дуниты и перидотиты разрушенные; глина сланцевая, тяжелая, ломовая; бокситы слабые; руды марганцевые, карбонатные, монолитные, плотные; угли каменные, с прослойками углистых сланцев, глин и «плиты», руды баритовые	1,35	0,95
IV	Суглинок тяжелый, плотный; руды ашаритовые, плотные; руды марганцевые, карбонатные, слабые; лёсс с гравием и галькой; туф и пемза; угли бурые и каменные, крепкие; сланцы глинисто-углистые; глина сланцевая, тяжелая, ломовая; бокситы слабые; руды марганцевые, карбонатные, монолитные, плотные; угли каменные, с прослойками углистых сланцев, глин и «плиты»; боксит крепкий; сланцы крепкие; известняки крепкие, мраморизированные; граниты крупно и среднезернистые, габбро, сиениты, диориты	1,5	0,9
V	Граниты крепкие мелкозернистые; руды магнетитовые и магнетито-мартитовые, мелкозернистые, крепкие; руды магнетито-гематитовые, мелкозернистые; железняки магнитные с прослойками скарна; руды свинцово-цинковые баритовые	1,6	0,9

Чем тяжелее горнотехнические условия эксплуатации экскаваторов, тем меньше наработка на отказ и больше параметр потока отказов [40].

При экскавации взорванной горной массы сила сопротивления копанию напрямую зависит от **качества подготовки забоя**, которое характеризуется

разрыхленностью и кусковатостью горной массы [22], следовательно, состояние забоя влияет на интенсивность выработки ресурса деталей и узлов экскаватора [40].

Неудовлетворительное качество взрывных работ (низкий коэффициент разрыхления породы, ее крупная кусковатость, и значительная связность) крайне осложняет как процесс черпания, так и разгрузку ковша, при этом увеличивается длительность цикла, резко снижается производительность экскаватора, повышается вероятность аварий (поломки зубьев ковшей, обрыв тросов и т.п.) [24].

Качество подготовки горной массы для экскавации является важнейшим фактором, определяющим эксплуатационную производительность экскаваторов. Такой показатель качества подготовки горной массы, как средний размер куска зависит от ряда факторов: физико-механические свойства горных пород (крепость, взрываемость, трещиноватость), обводненность массива, параметры БВР, погодные условия и существенно влияет на надежность и наработку карьерных экскаваторов [45].

Наличие *негабарита, слоев разрушенных пород с низким коэффициентом разрыхления* и не проработка подошвы забоя приводит к увеличению динамической составляющей внешней нагрузки [9-10] и влечет за собой появление дополнительных значительных напряжений в деталях машин и элементах конструкций карьерного экскаватора [46-47]. Как следствие, это приводит к увеличению количества отказов, и соответственно, к увеличению продолжительности и трудоемкости внеплановых ремонтов.

В работе [48] описана методика определения средневзвешенного диаметра куска экскавируемой горной массы, принимаемого в качестве критерия, характеризующего гранулометрический состав раздробленной породы [49], необходимого при оценке нагрузок в рабочем оборудовании и в механизмах экскаваторов.

Исследование влияния *грансостава забоя* на количество отказов механизмов подъема и напора экскаватора циклического действия [41,50]

показало, что содержание негабаритных кусков горной породы значительно снижают ресурс элементов рабочего оборудования экскаваторов и повышает количество их отказов.

Одним из основных факторов, влияющих на трещинообразование в металлоконструкциях экскаваторов, является наличие случайных перегрузок, возникающих вследствие столкновения ковша с некондиционными кусками породы, слоями разрушенных пород с низким коэффициентом разрыхления, не взорванными естественными отдельностями и аварийного падения ковша [9].

В результате исследований установлено, что срок роста трещины до критического размера при увеличении среднего диаметра куса взорванной горной массы с 0,3 до 0,5 уменьшается в 3,4 раза, а при увеличении коэффициента разрыхления с 1,1 до 1,5 возрастает в 4,2 [46]. .

Эксплуатация карьерного экскаватора в забое с качеством ниже регламентируемого документацией заводов изготовителей приводит к преждевременному выходу из строя узлов и агрегатов машины, то есть сокращению МТВФ и в целом приводит к росту доли аварийных ремонтов. Сверхдопустимые нагрузки при разборке негабаритов приводят к поломке рабочего оборудования – это в первую очередь трещины на рукояти, стреле и седловом подшипнике. Работа экскаватора с продольно-поперечным уклоном рабочей площадки больше допустимого приводит к неравномерной нагрузке на центральную цапфу, образованию трещин на поворотной платформе [23].

Значительное превышение *угла откоса породы* в забое экскаватора нормативных значений (65—70° и более) чревато образованием в верхней части забоя козырьков и нависей, грозящих внезапным обрушением [24], попадание на рабочее оборудование экскаватора которых может привести к аварийным ситуациям.

### **Организация ведения горных работ**

Стоит отметить также, что на производственную эксплуатацию влияет способ организации работ. Основным фактором влияющим на экскаватор при является интенсивность производственной загрузки оборудования, куда входят:



периодичность взрывных работ, соответствие параметров экскаватора параметрам транспорта, ритмичность подачи транспорта, частота и расстояние перегонов экскаватора и прочие мероприятия.

Особенностью работы металлоконструкций экскаваторов является циклический характер их нагружения. К таким нагрузкам относятся рабочие, температурные, а также сейсмические нагрузки, возникающие при проведении взрывных работ.

При подготовке на разрезах скальных пород к экскавации производятся массовые взрывы, несмотря на то, что в непосредственной близости от экскаватора производятся относительно редко, их влияние на прочность и долговечность металлоконструкций при наличии трещин значимо.

В работе [51] описываются исследования по влиянию возникающих деформаций и напряжений в элементах экскаваторов, при проведении взрывных работ.

При эксплуатации экскаваторов-мехлопат неизбежно возникает изменение их положения в пространстве. Наклон рабочей площадки, слабые несущие грунты рабочей площадки, износ элементов опорно-поворотного устройства приводят к наклону поворотной платформы, что влияет изменение устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, а также к образованию дополнительных нагрузок в несущих элементах конструкции экскаватора

Кроме того, в отдельных случаях производственными службами угольных предприятий считается экономически выгодным эксплуатировать мехлопаты на рабочих площадках с большим уклоном (более  $2^\circ$ ), при этом работа в указанных условиях осуществляется по взорванной горной массе, где возможна просадка машины. Также возможен наклон машины из-за проседания грунта со стороны рабочего оборудования (до 400 мм или  $3,7^\circ$  градуса) возникает при эксплуатации машин на грунтах со слабой несущей способностью - взорванная горная масса или наносы (глина) на горном участке или разрыхленный уголь на угольном складе. Наклон машины также

проявляется в виде качания, о чем свидетельствует образовавшаяся на рабочей площадке колея. Возможность работы на площадке определяется визуально (просядет машина или нет и на какую величину), так информация о фактической несущей способности конкретного забоя у большинства эксплуатирующих организаций отсутствует. По исследованиям [52], возможный угол наклона поворотной платформы машины при черпании горной массы может достигать 12 градусов.

Наибольшая продолжительность аварийных простоев приходится на механическую часть по причинам неправильной эксплуатации оборудования, низкого уровня профилактических работ, из-за воздействия погодноклиматических факторов, а также квалификации рабочего персонала [53].

### **Природно-климатические факторы**

Горнодобывающие предприятия располагаются в разных частях планеты, **климатических условия** которых, оказывают значительное влияние на техническое состояние эксплуатируемых горных машин и оборудования.

В процессе эксплуатации по назначению горные машины и оборудование подвергаются воздействию больших технологических нагрузок, а суровые климатические условия значительно усугубляют эти процессы. Так на горные машины эксплуатируемые на ОГР, в зимнее время, ввиду низких температур, становятся крайне чувствительны к ударным нагрузкам и концентрации механических напряжений в элементах; подвержены усиленному износу из за ухудшения процессов смазки время и охлаждения. Воздействие высоких и низких температур оказывает негативное влияние на процесс старения пластмассовых и резиновых изделий. Повышенная влажность, запыленность и агрессивность воздуха, солнечная радиация приводит к ускоренной коррозии металлических элементов, интенсифицирует процессы механического износа, снижает изоляционные и смазывающие свойства материалов. Из выше изложенного можно сделать вывод что, климатический фактор является комплексным, включающим в себя воздействия множества параметров, таких как температура воздуха окружающей среды, влажность воздуха, скорость

ветра и др. Изменения свойств материалов горной машины зависят также от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов и их сочетания.

Характеристика окружающей среды во многом определяется географическим местоположением района разработки полезного ископаемого и рельефом местности. В условиях открытых горных работ колебание температуры воздуха составляет от +50 до - 60°C, и зачастую даже в течении суток происходят резкие колебания температуры.

Под действием колебания температуры изменяются геометрические размеры деталей, в результате чего изменяются зазоры в сопряжениях [40,42].

Русихин В.И в работе [42] утверждает, что суровые климатические условия эксплуатации горной техники способствуют возникновению аварий. Так при работе в зимних условиях крупные глыбы, образовавшиеся при экскавации мерзлых пород, а также их намерзание вызывают большие динамические нагрузки, затрудняющие работу экскаватора.

Низкие температуры влияют на изменение свойств конструкционных и эксплуатационных материалов, грунтов, ухудшают работоспособность и надежность горных машин, вызывают намерзание горной породы на элементы конструкций карьерных экскаваторов, что приводит к возрастанию их неплановых простоев [54].

В работах [18-20,35,36,46,55-62] описывается проблема эксплуатации горных машин и оборудования в *экстремально-холодных условиях*. Авторы отмечают значительное повышение количества отказов горных машин вследствие разрушения металлоконструкций из-за повышенной хладноломкости стали и ускоренного трещинообразования. А параметр потока отказов металлоконструкции машин, введенных в эксплуатацию зимой, превышает аналогичный показатель экскаваторов, начало эксплуатации, которых совпало с летним периодом [9].

В исследованиях [63,64] приводится влияние суровых резко континентальных климатических условий (Монголия) на надежность

электромеханических экскаваторов, согласно которым параметр потока отказов экскаваторов увеличивается на 80%, а наибольшее влияние природно-климатические условия оказывают на рабочее оборудование, подъемный и тяговый механизмы.

Наиболее характерными при низких температурах являются отказы стрел, ковшей экскаваторов, звеньев гусениц, осей, полуосей, зубчатых колес машин. Основной причиной увеличения отказов машин при низких температурах является хрупкое разрушение металлических деталей при переходе металла из вязкого в хрупкое состояние и, как следствие, начало образования трещин [65].

В работе [66], так же приводится, что наиболее подвержены неблагоприятному воздействию низких отрицательных температур такие конструкции, как стрела, рукоять, ковш экскаватора, работающие в условиях постоянных знакопеременных нагрузок.

Динамический характер нагружения и влияние отрицательных температур, вызывающих дополнительные нагрузки в результате смерзаемости пород, обуславливают значительное увеличение напряжений в основных металлических конструкциях экскаваторов. Это связано, прежде всего, с тем, что в результате смерзаемости пород образуются конгломераты горной массы, достигающие 2,5 м в диаметре, т.е. своеобразные негабаритные куски. В результате столкновения таких кусков с ковшом происходит удар, который вызывает значительные всплески напряжений в металлических конструкциях экскаваторов [67].

В работе [5] приводятся следующие данные: при эксплуатации в зимний период производительность труда снижается в 1,5–2 раза, наработка на отказ уменьшается в 2–3 раза, затраты на ремонтно-восстановительные работы повышаются в 5–8 раз, а фактический ресурс сокращается в 2–3 раза, а коэффициент отказа экскаваторов резко возрастает.

Значительная часть отказов экскаваторов происходит и в весенне-осенний период, когда влияние *амплитуды изменения суточных температур*, которая может достигать 40°C, складывается с высокой влажностью воздуха [68].

В работе [69] описываются результаты наблюдения за работой парка карьерных экскаваторов в условиях горных предприятий Северо-восточного региона страны, которые говорят о том, что среднегодовая динамика частоты разрушения элементов металлоконструкций обнаруживает резкое ее возрастание в январе, марте и апреле. Это связано с тем, что в январе наблюдаются экстремально низкие температуры воздуха, а в марте и апреле происходит резкий перепад ночных и дневных температур воздуха с градиентом их изменения до 40 °С в сочетании с высокой влажностью воздуха.

Низкие температуры воздуха не только весьма существенно влияют на изменения основных физико-механических свойств материалов, но и изменяют условия работы узлов и деталей машин вследствие попадания снега в открытые механизмы, образования инея и наледей [20].

Работа экскаватора в условиях *высоких температур* [24] (Казахстан, Узбекистан, Индия, Вьетнам) сопровождается ухудшением свойств смазочных материалов, быстрой старением полимерных материалов (втулки, уплотнения, изоляция) и повышенной утомляемостью машиниста.

В районах с жарким климатом увеличение количества отказов оборудования приходится на период высоких температур (+40 ÷ +55°), что связано с тепловой напряженностью в электрических машинах и устройствах используемого оборудования.

Температурный режим связан также с ритмичностью работы оборудования. Горное оборудование вследствие технологических особенностей горного производства зачастую работает неритмично. Иногда за напряженным периодом работы с максимальной производительностью наступает перерыв, связанный с ожиданием порожняка, отсутствием электроэнергии, проведением буровзрывных работ и т.д. Это обстоятельство, а также большое постоянное время нагрева электрических машин и устройств приводят к тому, что электрические машины и системы управления ими находятся в состоянии постоянного колебания температуры, в результате чего меняется электрическое сопротивление токоведущих частей. Это, в свою очередь, влияет на настройку

систем управления оборудованием. В итоге все эти изменения ведут к нарушениям ограничений, заложенных в конструкции оборудования с целью защиты его от чрезмерных перегрузок.

Периодические температурные колебания электрических машин и устройств вызывают конденсацию влаги в них. Конденсировавшаяся влага заполняет трещины и неплотности в изолирующих материалах и покрытиях, ухудшая их изоляционные свойства. Влага способствует окислению контактов и коррозированию металлических частей [61,62].

При повышенных температурах ускоряется старение полимерных материалов.

Также немаловажной проблемой является *запыленность воздуха*. Так как экскаватор работает в условиях повышенной запыленности рабочей зоны, мельчащие частицы пыли, проникая в узлы и механизмы экскаватора, становятся ядрами конденсации влаги, повышает их износ сопряженных элементов и приводит к преждевременным отказам [42,60,62,65].

Эксплуатация экскаваторов в *высокогорной местности* сопряжена с ухудшением отвода тепла от механизмов и электрических и снижением уровня надежности узлов и агрегатов. [61,62]

Разрушающее действие на горное оборудование оказывают также обледенение и снег.

Действие *солнечной радиации* на конструктивные элементы машин вызывает повышение их температуры, способствуют снижению эффективности охлаждения высоконагруженных узлов, изменению параметров РТИ, смазок, масел, гидравлических жидкостей, снижению их смазывающей способности и, как следствие, интенсификации процесса изнашивания пар трения [65].

*Повышенная влажность атмосферного воздуха* способствует повышению интенсивности коррозии металлов, в результате чего снижается механическая прочность конструкции; окислению контактов электрических аппаратов и приборов; старению резинотехнических изделий; ухудшению свойств эксплуатационных материалов (из-за их насыщения частицами влаги) и

как следствие интенсификации процесса износа сопряженных элементов [42,65].

*Скорость ветра* действует на машины как силовой (нагрузочный) фактор, а неся абразивные частицы, способствует коррозии и износу, повышению абразива в смазки и т.д. В работе [35] указывается, что с увеличением скорости ветра при низкой температуре окружающей среды увеличивается теплоотдача в металлоконструкциях экскаваторов, вызывая дополнительные напряжения в металле.

Под воздействием ветра, снега увеличивается нагрузка на конструкции, а под влиянием отрицательных температур, повышенной влажности уменьшается несущая способность конструкций [67].

При выпадении снега и дождя условия работы ДСМ становятся более тяжелыми [65].

На скорость роста трещин существенное влияние оказывает *внешняя среда*, характеризующаяся низкими температурами, химическим воздействием газов, выделяющихся при ведении взрывных работ (диоксид серы, оксид азота), и пыли, что приводит к образованию слабокислой коррозионной среды в полостях трещин.

В работе [37] установлено, что при циклическом нагружении воздействие коррозионной среды на их металлоконструкции увеличивает скорость роста трещины в 1,5 раза и снижает статическую трещиностойкость в 1,7 раза.

### **1.2.3 Квалификация машиниста**

Эксплуатационная надежность горных машин, природно-климатические условия и **квалификация эксплуатационного и обслуживающего персонала** тесно связаны. При высоких или крайне низких температурах окружающей среды, большой интенсивности атмосферных осадков, значительной запыленности рабочего пространства повышается утомляемость машинистов и обслуживающего персонала, снижается скорость реакции,

концентрация внимания и работоспособность в целом. Это ведет к произвольным отклонениям от оптимального режима работы, повышению динамических нагрузок и порче горной техники.

В работах [70-73] описывается зависимость производительности и надежности выемочно-погрузочных машин от квалификации эксплуатационного персонала.

Анализ причин возникновения аварийных отказов ЭКГ в работе [74] показывает, что наибольшее количество их происходит по таким причинам, как: нарушение правил технической эксплуатации (ПТЭ) – (56,7%); недостаточная подготовленность забоя (8,3%); конструктивные недостатки (6,9%); некачественный ремонт (7,6%) и некачественное изготовление деталей и узлов (5,6%) [74].

По результатам моделирования степень влияния отдельных факторов эксплуатации карьерных экскаваторов распределилась в порядке снижения следующим образом: качество подготовки забоя и горной массы (32 %), управление экскаватором (29 %), техническое состояние экскаватора (27 %) и горно-геологические и горно-технические факторы (12 %) [75].

В [75] На основе комплексной оценки факторов установлено, что на наработку карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р наибольшее влияние оказывают следующие факторы: качество подготовки забоя и горной массы, управление экскаватором, техническое состояние экскаватора и горно-геологические и горно-технические факторы.

Таким образом можно сделать вывод что квалификация машиниста является важнейшим фактором в структуре причинно-следственного комплекса отказов экскаваторов типа ЭКГ.

### **Оценка степени квалификации машиниста**

Наблюдения за работой карьерных экскаваторов на угольных предприятиях Кузбасса показали, что машины периодически эксплуатируются на рабочих площадках с превышением допустимых углов наклона, а также при недостаточной степени дробления горной массы при ее подготовке к выемке.



Возникающие при экскавации крупных кусков породы динамические и ударные нагрузки, а также неизбежная в данных условиях периодическая работа машин в режиме стопорения ковша приводят к интенсивному износу зубьев зубчатых колес редукторов, перегрузке и трещинообразованию в металлоконструкциях, интенсивному износу и накоплению усталостных повреждений в канатах, выходу из строя механизмов хода, подъема, напора и поворота [7,76].

Причины частых аварийных отказов могут объясняться действиями и квалификацией машинистов экскаваторов, которые выполняют функции по экскавации горной массы

Степень квалификации машиниста напрямую влияет на эффективную работу экскаватора, исследования в этой области описаны в [33,40,77-79] .

В работе [80] предлагается, определять квалификацию машинистов в зависимости от среднемесячного объема погрузки горной массы, количества заявок на ремонт, наработки между отказами и времени ремонта экскаватора в конкретных условиях эксплуатации.

Важное место занимает оценка степени мастерства оператора (машиниста экскаватора). На сегодняшний день, при анализе работ по повышению степени квалификации машиниста, существуют разные подходы по оцениванию. Такими подходами является, метод оценки коэффициентом управления и коэффициентом механизации. Коэффициенты управления  $K_y$  и  $K_m$  описанные Д.Е Махно и П.Я Зельцером в своей работе [77] позволяют оценить квалификацию машиниста. Но эти коэффициенты не точно описывают степень владения машиной оператором.

В основном при оценке берутся во внимание основные функциональные навыки работника, высшее образование, классность и стаж работы.

Великанов В.С в своей работе [81] показывает экспертно-аналитический метод оценки квалификации машиниста, включающий три основных составляющих: анализ компонентов, входящих в состав структуры производственной деятельности машинистов; оценка каждой группы и

индикаторов, определяющих эффективность функционирования; формирование предварительного отчета и анализ результатов.

При исследованиях важные показатели, влияющие на высокопроизводительную и эффективную работу карьерных экскаваторов, не выделяются, либо их учету не уделяется достаточного внимания. К этим показателям можно отнести: несоблюдение правил эксплуатации; низкий уровень проектного, конструктивного исполнения и изготовления машин, узлов и деталей; отсутствие запасных частей и их ограниченные поставки; квалификация машинистов экскаваторов и ремонтников и ряд других причин.

Степень мастерства машиниста оказывает большое влияние на производительность и надежность машины. Выработка экскаватора зависит от продолжительности цикла и коэффициента наполнения ковша, надежность рабочего оборудования зависит от уровня формируемых динамических нагрузок в базовых узлах машин [77].

#### **Действия машиниста приводящие к отказам экскаватора**

В условиях сложных и интенсивных горных работ задачи управления осуществляются только при совместном взаимодействии машиниста и технической части (подсистема «машинист-экскаватор»), то есть ему приходится контролировать средства отображения информации, специальные устройства контроля работы электроприводов и диагностики оборудования – информационно-диагностические системы, воздействовать на ручные и ножные органы управления, визуально контролировать ход работ по экскавации и погрузки горной массы в транспортные средства [81].

В работе [82] предлагается, делить факторы по вкладу в интенсификацию выработки ресурса карьерным экскаватором и участию в этом процессе машиниста следующим образом:

- с минимальным влиянием машиниста на выработку ресурса: влияние окружающей среды, горно-геологические и горнотехнические условия;

- с ощутимым влиянием машиниста на выработку ресурса: качество подготовки забоя и горной массы, техническое состояние экскаватора;

- с решающим влиянием машиниста на выработку ресурса: управление экскаватором, которое непосредственно зависит от машиниста, и др.

От правильных и квалифицированных действий машиниста, а также же от его отношения к технике зависит как техническое состояние машины в целом, так и результативность ее работы. Зачастую машинист не понимает, что своими действиями он буквально «уничтожает» экскаватор. Примером тому служат чаще всего встречающиеся случаи: копание с поворотом на выгрузку, работа сверхдлительное время в стопорных режимах электропривод и т.д.

Согласно инструкции по эксплуатации [29], машинисты экскаваторов при работе должны не допускать:

- 1) Ударов ковша по гусеницам;
- 2) Свободного падения ковша;
- 3) Ослабления подъемного каната при опускании ковша на землю во избежание ударов канатом по механизмам при последующем его натяжении;
- 4) Поворота экскаватора после соприкосновения ковша с землей во избежание поломки рукояти, стрелы или напорного механизма;
- 5) Ударов днищем ковша о борт вагона;
- 6) Ударов рукоятью по стреле;
- 7) Использования напорного или поворотных механизмов для передвижения экскаватора;
- 8) Ударов обоймой блока ковша и рукоятью по блокам стрелы;
- 9) Ударов упорами рукояти по упорам седлового подшипника;
- 10) Крепления механизмов во время их работы;
- 11) Смазки механизмов во время работы экскаватора;
- 12) Присутствия посторонних лиц в кузове экскаватора и кабине машиниста;
- 13) Присутствия людей в радиусе действия ковша экскаватора во время его работы, а также под лестницей для входа в кузов;

14) Оставлять ковш на весу при отсутствии машиниста в кабине;

15) Запрещаются работы внутри роликового круга при включенном питающем напряжении, в том числе обслуживание крепежа стоек и электродвигателя подъемной лебедки;

16) В период взрывных работ экскаватор следует отводить на безопасное расстояние;

На практике при эксплуатации отечественных экскаваторов в процессе работы машинисты «разбирают» негабариты рабочим оборудованием ЭКГ, в некоторых случаях время затраченное на данную операцию составляет порядка 80% смены [23].

Кроме того при работе лопаты в очень тяжелых условиях во взорванной скальной породе возможен случай встречи ковша с куском, представляющим непреодолимое препятствие и не видимым оператору. Даже при работе в рыхлом грунте, может случайно оказаться подобное препятствие. Удар ковшом о препятствие с большой скоростью, приводит к значениям коэффициентов динамики, достигающих до 3-4 и даже выше[2].

В исследованиях [47,83] указывается, что проведенный анализ показывает, что основными причинами аварийных отказов металлоконструкций являются проявления пиковых нагрузок, на которые оказывают влияние не только характеристики горных пород, но и изменение скорости подъема ковша в период черпания.

Также одним из основных факторов, влияющих на трещинообразование в металлоконструкциях экскаваторов, является наличие случайных перегрузок, возникающих вследствие столкновения ковша с некондиционными кусками породы, слоями разрушенных пород с низким коэффициентом разрыхления, невзорванными естественными отдельностями и аварийного падения ковша [9].

Опыт эксплуатации карьерных экскаваторов показывает, что важным фактором, от которого зависит их надежность, часто служит усталостная прочность металлических конструкций. Это связано с тем, что экскаваторы чаще всего эксплуатируют при сравнительно высоких температурах,

превышающих хладоломкость металлических конструкций, и их эксплуатация характеризуется значительными сроками. Еще большее значение сопротивление усталости приобретает для экскаваторов, отработавших нормативный срок службы [67].

Интенсивное образование трещин в металлоконструкциях экскаваторов происходит, как правило, во второй половине срока их эксплуатации, а в отдельных случаях – в последней трети, при этом частота возникновения трещин по сравнению с основным периодом эксплуатации возрастает в 3÷4 раза [9].

### **1.3 Факторы, связанные с технической эксплуатацией**

Техническое обслуживание и ремонт находятся в тесной взаимосвязи и объединяются в систему совокупность - взаимосвязанных положений и норм определяющих организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования для заданных условий эксплуатации и с целью обеспечения показателей качества, предусмотренных в нормативной документации.

К причинам отказов экскаваторов вызванных неправильной технической эксплуатацией:

- простои по организационным причинам.
- нарушение нормативов транспортировки и хранения [41];
- не соблюдение технологических карт на сборку при монтаже [57];
- большой разброс по типам карьерных экскаваторов с различным сроком службы в составе одного парка и подходами к их техническому обслуживанию [84];
- Неэффективная организация ТО и Р [85];
- Высокие затраты на обслуживание ремонт техники, что снижает рентабельность горных работ [65];
- недоиспользование трудового потенциала специалистов и рабочих [86];

- низкоквалифицированный ремонтный персонал [75,87]

В [13] предложили методику реализации стратегии поддержания и восстановления работоспособности машин. При наработке более половины ресурса для снижения эксплуатационных затрат и исключения отказов машины важно определять остаточный ресурс при проведении плановых ТО и ремонтов, позволяющих отслеживать работоспособное состояние систем, агрегатов и машины в целом. При значительном отличии ресурсов систем отказы машины будут определяться минимальными значениями с увеличением их простоев в ТО и ремонтах, а также с ростом эксплуатационных затрат, что снижает в целом рациональный этап эксплуатации её жизненного цикла.

Весь комплекс причин отказов карьерных экскаваторов представлен на рисунке 1.

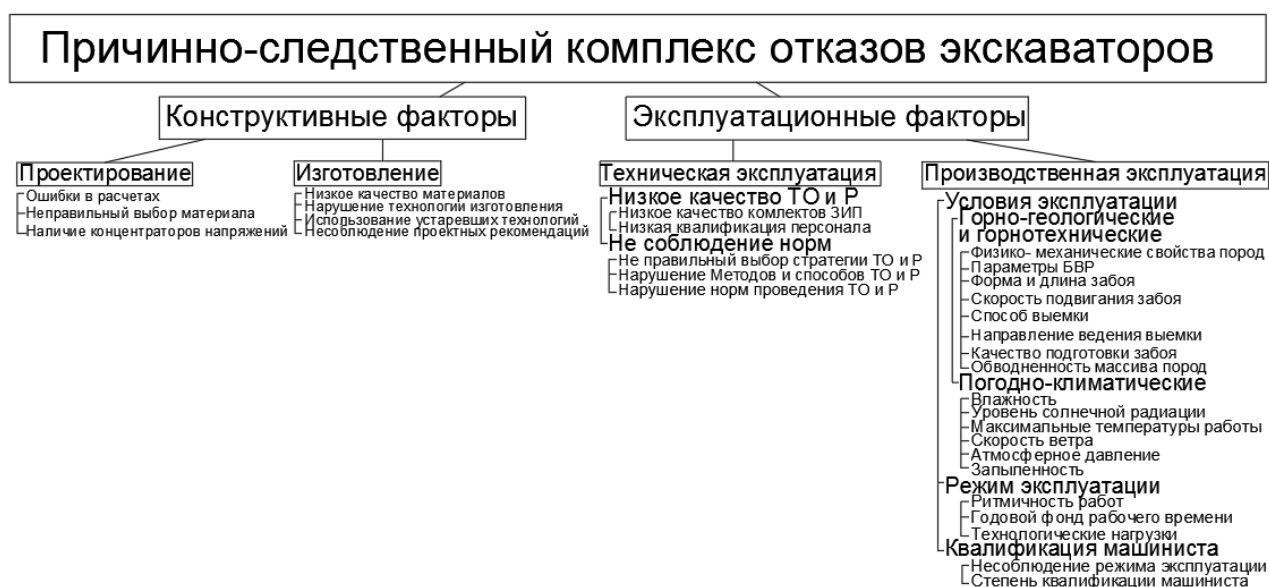


Рисунок 1 - Причинно следственный комплекс отказов экскаватора

## **2 СБОР И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИН**

Экспертное оценивание предполагает создание некоего разума, обладающего большими способностями по сравнению с возможностями отдельного человека. Источником возможностей мультиразума является поиск слабых ассоциаций и предположений, основанных на опыте отдельного специалиста. Экспертный подход позволяет решать задачи, не поддающиеся решению обычным аналитическим способом, в том числе:

- Выбор лучшего варианта решения среди имеющихся;
- Прогнозирование развития процесса;
- Поиска возможного решения сложных задач [88];

Опыт, интуиция, чувство перспективы в сочетании с информацией помогают специалистам точнее выбирать наиболее важные цели и направления развития, находить наилучшие варианты решения сложных научно-технических задач в условиях, когда нет информации о решении аналогичных проблем в прошлом [88].

Характерными особенностями метода экспертных оценок как научного инструмента решения сложных не формализуемых проблем являются, во-первых, научно обоснованная организация проведения всех этапов экспертизы, обеспечивающая наибольшую эффективность работы на каждом из этапов, и, во-вторых, применение количественных методов, как при организации экспертизы, так и при оценке суждений экспертов и формальной групповой обработке результатов [89].

Недостаток информации и неопределенность модели рождают еще одну проблему – размытость цели. Любая формализованная постановка задачи предполагает, прежде всего, наличие четких критериев, позволяющих судить о том, достигнута поставленная цель или нет [90].

Даже сложные проблемы чаще всего все-таки поддаются формализации. Необходимо попытаться формализовать процесс решения человеком сложных

трудноструктурируемых проблем. Такая формализация и получила название «методы экспертных оценок» [90].

Человеческий мозг, мозг эксперта, в отличие от машины хорошо приспособлен для решения разнообразных задач в условиях неопределенности (т. е. недостаточной, неточной информации). Таким образом, экспертные методы применяются тогда, когда использование других, более объективных методов оказывается невозможным и неэкономичным [91].

При выполнении своей роли в процессе управления эксперты производят две основные функции: формируют объекты (альтернативные ситуации, цели, решения и т. п.) и производят измерение их характеристик (вероятности свершения событий, коэффициенты значимости целей, предпочтения решений и т. п.). Формирование объектов осуществляется экспертами на основе логического мышления и интуиции. При этом большую роль играют знания и опыт эксперта. Измерение характеристик объектов требует от экспертов знания теории измерений [89].

Экспертные оценки бывают *индивидуальные* и *коллективные* [92]. Независимо от индивидуального или группового участия экспертов в работе целесообразно получать информацию от множества экспертов. Это позволяет получить на основе обработки данных более достоверные результаты, а также новую информацию о зависимости явлений, событий, фактов, суждений экспертов, не содержащуюся в явном виде в высказываниях экспертов [89].

К сожалению, приходится констатировать отсутствие «общепринятой научно обоснованной классификации методов экспертных оценок и тем более – однозначных рекомендаций по их применению» [93].

Орлов А.И в [92] классифицирует стадии экспертного опроса на:

- 1) *Принятие решения о необходимости проведения экспертного опроса и формулировка его цели ЛПР* (личность принимающая решение – далее).
- 2) *Подбор и назначение ЛПР основного состава Рабочей Группы (РГ).*



3) *Разработка РГ (точнее, ее основным составом, прежде всего научным руководителем и ответственным секретарем) и утверждение у ЛПР технического задания на проведение экспертного опроса*

4) *Разработка аналитической группой РГ подробного сценария (т.е. регламента, правил) проведения сбора и анализа экспертных мнений (оценок).*

5) *Подбор экспертов*

6) *Формирование экспертной комиссии*

7) *Проведение сбора экспертной информации*

8) *Компьютерный анализ экспертной информации с помощью включенных в сценарий методов.*

9) *Итоговый анализ экспертных мнений, интерпретация полученных результатов аналитической группой РГ и подготовка заключительного документа ЭК для ЛПР.*

10) *Официальное окончание деятельности ЭК и РГ, в том числе утверждение ЛПР заключительного документа ЭК, подготовка и утверждение научного и финансового отчетов РГ о проведении экспертного исследования, оплата труда экспертов и сотрудников РГ, официальное прекращение деятельности (ропуск) ЭК и РГ [92].*

Проведение опроса по мнению Анохина А.Н [90], включает в себя:

- подбор экспертов, участвующих в опросе;
- выбор формы и метода проведения опроса и заполнение анкет;
- оценку качества работы и компетентности экспертов.

Проблема подбора экспертов является одной из наиболее сложных в теории и практике экспертных исследований. Очевидно, в качестве экспертов необходимо использовать тех людей, чьи суждения наиболее помогут принятию адекватного решения. Но как выделить, найти, подобрать таких людей? Надо прямо сказать, что нет методов подбора экспертов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы [88].

Подбор экспертов составляет одну из наиболее трудноразрешимых проблем экспертного анализа. Природа этой проблемы человеческий фактор,

исходящий от самих же экспертов. Естественно, что в качестве экспертов привлекаются наиболее компетентные, не рядовые специалисты в данной области [90].

Получаемое в результате обработки обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Комплексное использование интуиции (неосознанного мышления), логического мышления и количественных оценок с их формальной обработкой позволяет получить эффективное решение проблемы [93].

## **2.1 Методы экспертных оценок**

Сущность метода экспертных оценок заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов [93].

Методы экспертной оценки имеют разные классификации. С.В Гуцыкова в [93] приводит разделение экспертных оценок на три группы методов, применяемых для целевых и плановых, а также текущих или оперативных оценок персонала: качественные, количественные и комбинированные. В [88] Данелян Т.Я. делит методы экспертных оценок на две группы: методы коллективной работы экспертной группы и методы получения индивидуального мнения членов экспертной группы.

### **2.1.1 Коллективные и индивидуальные методы экспертных оценок**

Методы коллективной работы включают методы «мозговой атаки», «сценариев», «деловых игр», «совещаний» и «суда».

*Мозговая атака.* Организуется он как собрание экспертов, на выступления которых наложено одно, но очень существенное ограничение – нельзя критиковать предложения других. В ходе заседания эксперты, «заражаясь» друг от друга, высказывают все более экстравагантные

соображения. Обычно из 100 идей 30 заслуживают дальнейшей проработки, из 5–6 дают возможность сформулировать прикладные проекты, а 2–3 оказываются в итоге приносящими полезный эффект.

*Метод «635»* – одна из разновидностей мозговой атаки. Цифры 6, 3, 5 обозначают шесть участников, каждый из которых должен записать три идеи в течение пяти минут. Лист ходит по кругу. Таким образом, за полчаса каждый запишет в свой актив 18 идей.

*Деловые игры* основаны на моделировании функционирования социальной системы управления при выполнении операций, направленных на достижение поставленной цели.

*Метод совещаний* («комиссий», «круглого стола») – самый простой и традиционный. Он предполагает проведение совещания или дискуссии с целью выработки единого коллективного мнения по решаемой проблеме [88].

Коллективное мнение определяется в результате тайного или открытого голосования. В некоторых случаях к голосованию не прибегают, выявляя результирующее мнение в процессе дискуссии. Преимущество метода комиссии состоит в росте информированности экспертов, поскольку при обсуждении эксперты приводят обоснования своих оценок, под воздействием которых некоторые участники комиссии могут изменить первоначальную точку зрения. К числу недостатков относится отсутствие анонимности [90].

*Метод комиссий* – один из методов экспертных оценок, основанный на работе специальных комиссий. Группы экспертов за «круглым столом» обсуждают ту или иную проблему с целью согласования точек зрения и выработки единого мнения.

*Метод написания сценария* основан на определении логики процесса или явления во времени при различных условиях. Он предполагает установление последовательности событий, развивающихся при переходе от существующей ситуации к будущему состоянию объекта.

*Метод суда* является разновидностью метода «совещаний» и реализуется по аналогии с ведением судебного процесса.

- В роли «подсудимых» выступают выбираемые варианты решения;
- в роли «судей» – лица, принимающие решение;
- в роли «прокуроров» и «защитников» – члены экспертной группы.

*Метод «суда»* целесообразно использовать при наличии нескольких групп экспертов, придерживающихся различных вариантов решения [88].

Часть экспертов регулирует ход экспертизы и выносит окончательное решение. В процессе экспертизы по методу суда «функции» экспертов могут меняться [90].

Методы получения индивидуального мнения членов экспертной группы основаны на предварительном получении информации от экспертов, опрашиваемых независимо друг от друга, с последующей обработкой полученных данных. Главным их недостатком является высокая степень субъективности получаемых оценок из-за ограниченности знаний одного эксперта.

Методы получения индивидуального мнения включают методы «Дельфи», «Аналитический метод», «Метод интервью» [88,90].

*Метод «Дельфи».*

Цель – разработка программы последовательных многотуровых индивидуальных опросов. Индивидуальный опрос экспертов обычно проводится в форме анкет-вопросников. Затем осуществляется их статистическая обработка на ЭВМ и формируется коллективное мнение группы, выявляются и обобщаются аргументы в пользу различных суждений [88].

*Метод Дельфи* предполагает полный отказ от коллективной дискуссии и открытого обсуждения, заменяя их тщательно разработанной программой последовательных индивидуальных опросов. Это делается для уменьшения влияния таких психологических факторов как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказаться от публично

выраженного мнения, следование за мнением большинства. Метод Дельфи характеризуется двумя основными чертами: анонимностью, ослабляющей влияние отдельных «доминирующих» экспертов; регулируемой обратной связью, осуществляемой за счет проведения опроса в 3-4 последовательных тура [90], в ходе которых эксперты корректируют свои суждения с учетом предыдущих результатов.

*Метод интервью* предполагает беседу прогнозиста с экспертом по схеме вопрос – ответ, в процессе которой прогнозист в соответствии с заранее разработанной программой ставит перед экспертом вопросы относительно перспектив развития прогнозируемого объекта. Успех такой оценки в значительной степени зависит от способности эксперта экспромтом давать заключение по разным вопросам.

*Аналитический метод* предусматривает тщательную самостоятельную работу эксперта над анализом тенденций, оценкой состояния и путей развития прогнозируемого объекта. Эксперт может использовать всю необходимую ему информацию об объекте прогноза. Свои выводы он оформляет в виде докладной записки. Основное преимущество этого метода – возможность максимального использования индивидуальных способностей эксперта. Однако он мало пригоден для прогнозирования сложных систем и выработки стратегии из-за ограниченности знаний одного специалиста-эксперта в смежных областях знаний.

Опрос экспертов представляет собой заслушивание и фиксацию в содержательной и количественной форме суждений экспертов по решаемой проблеме. Проведение опроса является основным этапом совместной работы групп управления и экспертов. На этом этапе выполняются следующие процедуры:

- организационно-методическое обеспечение опроса;
- постановка задачи и предъявление вопросов экспертам;
- информационное обеспечение работы экспертов [88].

## 2.1.2 Качественные, количественные и комбинированные методы

Качественные методы представляют собой методы описательного характера; они не используют количественных показателей, относящихся к качествам обследуемых претендентов. К числу наиболее распространенных качественных методов относят матричный метод, метод эталона, метод оценки выполнения и систему произвольных характеристик [93].

*Матричный метод* предполагает сравнение фактических характеристик оцениваемого кандидата с набором качеств, которые требуются для выполнения профессиональной деятельности.

*Метод эталона* основан на сравнении фактических навыков и поведения оцениваемого кандидата с показателями наиболее успешных, или «эталонных», работников в данной области.

*Метод групповой дискуссии* позволяет выявить в соответствии с определенными критериями наиболее инициативных представителей группы, способных к самостоятельным и логичным, взвешенным решениям.

*Метод оценки выполнения* связан с оценкой экспертами работы сотрудника за определенный промежуток времени. Он схож с системой произвольных характеристик, предполагающих произвольную форму оценки и включающей профессиональные достижения и недостатки в деятельности оцениваемого кандидата за некоторый период времени.

В качестве количественных методов оценки метод экспертных оценок может быть реализован в виде *методов рангового порядка, заданной балльной оценки и свободной балльной оценки*.

*Метод рангового порядка* базируется на процедуре ранжирования оцениваемых сотрудников по определенному критерию – от лучшего к худшему и определении итоговой суммы порядковых номеров конкретного работника, полученных за выполнение поставленных задач.

*Метод заданных балльных оценок* основан на присвоении определенного количества баллов за каждое достижение оцениваемого работника с

последующим определением общего делового уровня в виде количества набранных им баллов.

*Метод свободной балльной оценки*, состоит в присвоении экспертом определенного количества баллов каждому исследуемому качеству последующим получением итоговой оценки [93].

Комбинированные методы сочетают в себе совокупное использование описательного принципа и количественных характеристик. Метод экспертных оценок может быть реализован в виде метода суммируемых оценок, который заключается в выявлении экспертами определенной частоты проявления каких-либо качеств оцениваемого и присвоении балльных оценок за тот или иной уровень частоты. Также он может быть реализован как *метод заданной группировки сотрудников*, предполагающий их распределение по ограниченному числу переменных к одной из групп, отражающих уровень профессиональной успешности кандидата.

Алгоритм любой комплексной оценки, необходимым образом должен включать прояснение следующих важных моментов: цель оценки; объект оценки; методы оценки; субъект оценки; время, место, порядок проведения оценки; результат оценки. В качестве субъекта оценки могут быть привлечены эксперты на уровне разных должностных категорий;

Коэффициентная система оценки кадров предполагала сведение целого спектра экспертных, личностных и профессиональных оценок к единому показателю. Основными недостатками коэффициентной системы являлись невозможность обоснования формул расчетов вводимых коэффициентов, их весовых долей, а также снижение вариативности интерпретации получаемых результатов. При реализации алгоритма комплексной оценки ключевым принято считать выбор методов оценки. Предпочтение отдается комплексу разнообразных методов. Применяемые для оценки методы должны удовлетворять ряду требований. Они должны быть простыми, оперативными, гибкими и достаточно универсальными, а также иметь описание правил сбора, обработки и интерпретации полученной информации [93].

### **2.1.3 Анкетирование и интервьюирование**

Анкетирование предполагает индивидуальную работу эксперта. Интервьюирование может осуществляться как индивидуально, так и с группой экспертов [89].

Анкетирование представляет собой опрос экспертов в письменной форме с помощью анкет. В анкете содержатся вопросы, которые можно классифицировать по содержанию и типу и по сути анализируемой проблемы [94].

Анкета это средство, с помощью которого осуществляется сбор и кодирование экспертной информации [90].

Анкета является документом, подлежащим пересылке, включению в отчет и хранению, что также определяет некоторые требования к ее форме и качеству. Заметим, что анкетирование может проводиться и с помощью компьютера [90].

#### **Основные требования, предъявляемые к анкетированию.**

Прежде всего анкета должна быть структурно организована. Как правило, выделяются три структурных компонента анкеты: общая информация, объяснение и область заполнения. идентификацию организации или коллектива, проводящего экспертный анализ (включая полное название, фирменную атрибутику и способы контакта . адрес, телефон, e-mail и др.); сведения об эксперте, предназначенные для персонификации анкеты (если опрос не анонимный) и последующей классификации результатов.

Общая информация включает в себя идентификатор анкеты, присваиваемый постановщиком экспертизы и используемый в дальнейшем в процедурах поиска. Желательно, чтобы обращение к эксперту было подписано руководителем экспертного анализа. Эксперт должен видеть за анкетой конкретных специалистов, а не только безликую организацию. Для фиксации этой информации в анкете необходимо предусмотреть специальное «поле для



заметок». В процессе изготовления и тиражирования анкеты необходимо учитывать следующее:

- анкета должна иметь удобный для пересылки, хранения и работы с ней формат (обычно это форматы А3-А5), поля для переплета или подшивки;
- информация в анкете должна размещаться с учетом порядка ее использования; особенно важно продумать размещение одновременно используемой информации, по крайней мере, она не должна быть помещена на разных оборотах листа;
- анкета должна быть по возможности компактной и содержать как можно меньше второстепенной информации, эксперта может раздражать пространное изложение несущественных деталей;
- необходимо эффективно управлять вниманием эксперта; средствами такого управления являются выделение областей, которые должен и которые не должен заполнять эксперт, использование цвета, специальных шрифтов и начертаний, композиционные приемы и др. [90].

Разработка анкеты является последним подготовительным этапом в организации экспертного анализа. Специфика анкеты состоит прежде всего в том, что работать с ней предстоит самым разным категориям людей (экспертам, специалистам по обработке, аналитикам) [90].

По типу основные вопросы классифицируются на *открытые, закрытые и с веером ответов* [94].

*Открытые вопросы* целесообразно применять в случае большой неопределенности проблемы. Этот тип вопросов позволяет широко охватить рассматриваемую проблему, выявить спектр мнений экспертов. Недостатком открытых вопросов является возможное большое разнообразие и произвольная форма ответов, что существенно затрудняет обработку анкет.

Открытые вопросы предполагают ответ в произвольной форме. Закрытые вопросы - это такие вопросы, на которые ответ может быть дан в виде “да”, “нет”, “не знаю”.

*Закрытые вопросы* применяются в случае рассмотрения четко определенных двух альтернативных вариантов, когда требуется по существу определить степень большинства мнений по этим альтернативам. Обработка закрытых вопросов не вызывает каких-либо трудностей. Вопросы с веером ответов целесообразно использовать при наличии нескольких достаточно четко определенных альтернативных вариантов [94].

*Вопросы с веером ответов* предполагают выбор экспертами одного из совокупности предполагаемых ответов.

Для получения более детальной информации по каждому вопросу могут быть предложены порядковая и балльная шкалы. Эксперт по каждому ответу выбирает значение порядковой и балльной оценок. Например, значениями порядковой шкалы могут быть “очень хорошо”, “хорошо”, “удовлетворительно”, “неудовлетворительно”, или “значительно”, “незначительно”, “не влияет” и т.п. Обработка анкет с вопросами этого типа по сложности занимает промежуточное место между открытыми и закрытыми вопросами [94].

Если анкетирование проводится в несколько туров, то целесообразно при большой сложности и неопределенности проблемы вначале использовать открытые типы вопросов, а на последующих турах - с веером ответов и закрытые типы. Кроме анкеты экспертам представляется обращение – пояснительная записка, в которой разъясняются цели и задачи экспертизы, дается необходимая эксперту информация, приводятся инструкции по заполнению анкет и необходимые организационные сведения [94].

Интервьюирование - это устный опрос, проводимый в форме беседы-интервью. При подготовке беседы интервьюер разрабатывает вопросы эксперту. Характерной особенностью этих вопросов является возможность быстрого ответа на них экспертом, поскольку он практически не имеет времени на его обдумывание [94].

Тематика интервью может сообщаться эксперту заранее, но конкретные вопросы ставятся непосредственно в процессе беседы. Целесообразно в связи с

этим готовить последовательность вопросов, начиная от простого и постепенно их углубляя и усложняя, но вместе с тем и конкретизируя.

Достоинством интервью является непрерывный живой контакт интервьюера с экспертом, что позволяет быстро получить необходимую информацию путем прямых и уточняющих вопросов в зависимости от ответов эксперта.

Недостатками интервью являются возможность сильного влияния интервьюера на ответы эксперта, отсутствие времени для глубокого продумывания ответов и большие затраты его на опрос всего состава экспертов. Интервьюер должен хорошо знать анализируемую проблему, уметь четко формулировать вопросы, создавать непринужденную обстановку и уметь слушать [94].

## **2.2 Формулировка комплекса вопросов и структуры опросных листов**

### **2.2.1 Перечень вопросов для анкетирования**

#### **Изъятие**

## **Изъятие**

### 2.3 Обработка экспертных данных

Анкетирование проводилось на разрезе АГОК карьер «Юбилейный», компании ПАО АК «АЛРОСА».

Анкеты были заполнены 3-мя машинистами экскаваторов, начальником карьера, один респондент воздержался от указания должности.

Анализ ответов на вопросы анкеты показал, что:

1) 60% респондентов считают, что качество подготовки забоя (крупные куски породы, низкий коэффициент разрыхления и др.) резко снижает техническое состояние и надежность экскаваторов.

2) При оценке влияния возраста машины на интенсивность отказов:

60% опрошенных отмечают, что на интенсивность отказов заметно влияет возраст машин 5-10 лет, 20% считают, что возраст 1-5 лет и 20% говорят о том, что возраст 10-20 лет.

60 % опрошенных считают, что на интенсивность отказов существенно влияет возраст 10-20 лет, 20 % считают, что 5-10 лет и 20 % возраст более 20 лет.

Единогласно высказались респонденты, что определяющее значение на интенсивность отказов имеет возраст более 20 лет.

3) При оценке вклада различных факторов в ухудшение технического состояния экскаваторов:

50% опрошенных указали, что естественные процессы износа и усталости занимают 80-85% от общего числа отказов,

25% считают что, они занимают 60% ,

25% считают, что занимает 30% от общего влияния всех факторов.

Нарушение правил технической эксплуатации экскаваторов занимает до 20% от общего числа, так считает 75% респондентов.

При этом начальник карьера указывает, что 40% занимает нарушение правил технической эксплуатации, а в разделе прочие факторы он указал, что

40% влияния приходится на финансирование технического обслуживания и ремонтов.

4) При оценке влияния опыта машиниста экскаватора (стажа) на техническое состояние и надежность машины респонденты высказались следующим образом:

- Стаж до 1 года резко снижает надежность экскаватора – 25% респондентов;

- Стаж 5-10 лет способствует повышению надежности и технического состояния – 60 % респондентов;

Стаж более 10 лет способствует повышению надежности и технического состояния – 20% респондентов.

- Стаж работы больше 10 лет существенно повышает надежность и техническое состояние экскаватора – 60 % респондентов;

Стаж 5-10 лет существенно повышает надежность и техническое состояние экскаватора – 20% респондентов;

5) - 60% опрошенных респондентов говорят, что первостепенное значение во вкладе факторов в систему отказов занимают горнотехнические условия, 40% опрошенных считают, что первостепенное значение занимает квалификация машиниста, 20 % считают, что первостепенное значение имеют климатические факторы, качество проектирования, изготовления и монтажа, а также организация технического обслуживания и ремонтов.

- 60% опрошенных респондентов считают, что второстепенное значение имеет организация технического обслуживания и ремонтов, 40 % считают, что это климатические факторы и горнотехнические условия, 20 % считают, что второстепенное значение имеет квалификация машиниста.

- 80% опрошенных респондентов считают что на третьем месте, по вкладу различных факторов и причин отказов и аварий экскаватора находятся качество проектирования машин, 40 % считают, что факторами стоящими на третьем месте, является квалификация машинистов и климатические условия,

20 % считают что это система организации технического обслуживания и ремонтов.

б) При стаже машиниста экскаватора до 1 года, респонденты ответили, что, в среднем раз в квартал происходят следующие «нештатные» ситуации или режимы эксплуатации:

- удар ковшом о забой в начале экскавации;
- удар о транспортное средство при разгрузке ковша;
- режим стопорения ковша в забое (непреодолимое препятствие);
- удар ковша по гусеницам;
- глубокое врезание ковша в грунт;
- копание тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти;
- наклон площадки забоя более 5 град;
- падение крупных кусков породы с верхней части забоя;
- удары упорами рукояти по упорам седлового подшипника;
- удары обоймой блока ковша и рукоятью по блокам стрелы;

В среднем раз в месяц происходят:

- глубокое врезание ковша в грунт;
- копание тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти;
- поворотное движение экскаватора для сдвига негабаритов,

разравнивания породы в забое или кузове ТС;

Начальник карьера также говорит о том, что при стаже работы машиниста 1-3 года в среднем раз в квартал возникают:

- удар ковшом о забой;
- наклон площадки забоя более 5 град;
- глубокое врезание ковша в грунт;
- копание тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти;
- поворотное движение экскаватора для сдвига негабаритов,

разравнивания породы в забое или кузове ТС;

Также указывает, на неровное состояние подошвы забоя (ямы, бугры).

40% машинистов экскаваторов отмечают, что независимо от стажа работы происходит в среднем раз в квартал, падение крупных кусков породы с верхней части забоя.

7) Повреждения ковша экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- удар ковшом о забой;
- свободное падение ковша;
- глубокое врезание ковша в грунт;
- падение крупных кусков породы с верхней части забоя;
- режим стопорения ковша в забое (непреодолимое препятствие);
- совмещение напора с поворотом;
- совмещение подъема и поворота;

Повреждения рукояти экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- удар ковшом о забой;
- режим стопорения ковша в забое (непреодолимое препятствие);
- совмещение напора с поворотом;
- совмещение подъема и поворота;
- копание тяжелых грунтов при полностью выдвинутой рукояти;
- поворотное движение экскаватора для сдвига негабаритов, разравнивания породы в забое или кузове ТС;
- удар рукояти по стреле;
- удары упорами рукояти по упорам седлового подшипника;
- боковое движение рукояти по забою;

Повреждения стрелы экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- совмещение напора с поворотом;
- совмещение подъема и поворота;
- боковое движение рукояти по забою;
- удар рукояти по стреле;



- удары обоймой блока ковша и рукоятью по блокам стрелы;
- боковое движение рукояти по забюю;

Повреждения двуногой стойки экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- удар ковшом о забюю;
- боковое движение рукояти по забюю;

Повреждения седлового подшипника экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- совмещение напора с поворотом;
- совмещение подъема и поворота;
- удар рукояти по стреле;
- удары упорами рукояти по упорам седлового подшипника;
- боковое движение рукояти по забюю;
- поворотное движение экскаватора для сдвига негабаритов, разравнивания породы в забюю или кузове ТС;

Повреждения подкосов экскаватора с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают по мнениям экспертов:

- боковое движение рукояти по забюю;

Начальник карьера также отмечает, что наибольшее влияние с высокой и неприемлемо высокой долей опасности вызывают:

- удар ковша по гусеницам;
- неровное ведение подошвы (ямы, бугры).

8,9) Единогласно респонденты ответили, что высокое качество проведенных технических обслуживаний и ремонтов, в том числе капитального, значительно снижает количество отказов.

10) 80% опрошенных ответили, что наиболее перспективной является разработка индивидуальных норм периодичности ППР, при этом 60% респондентов указали ориентировку норм на климатический регион эксплуатации или разработку индивидуальных для отрасли норм.

11) К наиболее нагруженным металлоконструкциям экскаваторов 80% респондентов отнесли рукоять и ковш, 40% стрелу и 20% респондентов отнесли двуногую стойку и подкосы.

12) 100 % опрошенных отмечают, что контролю подлежат наиболее нагруженные сварные соединения и 60% считают, что соединения трещинообразование, которых фиксировалось на аналогичных машинах ранее.

## 3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

### 3.1 Анализ применяемых стратегий технической эксплуатации карьерных экскаваторов

По мнению А. Консона применяемые в настоящее время виды технического обслуживания оборудования можно классифицировать следующим образом [95]:

*Реактивное (реагирующее) техническое обслуживание, планово-предупредительное техническое обслуживание, профилактическое обслуживание по фактическому техническому состоянию, активное техническое обслуживание.*

#### 3.1.1 Реактивное техническое обслуживание

Техническое обслуживание и ремонт по факту отказа, т.е. после наступления сбоя (*Run to Breakdown – RtB*), также известны как реактивное техническое обслуживание (*RtB*)[96].

Подход обычно применяется для объектов, отказ которых не вызывает существенных последствий, а проведение работ по восстановлению несложное. Система *RtB* является наиболее простой системой обслуживания, но вместе с тем наиболее дорогостоящей. Приданной системе ТО не проводится какое-либо мероприятие по поддержанию технического состояния в течение запланированного периода эксплуатации, в том числе не контролируются технические и технологические параметры оборудования. Ремонт или замена оборудования производится при выходе его из строя (аварийный отказ) или выработке ресурса. Как правило, стоимость ремонта по факту аварии многократно превышает планируемые расходы. В связи с тем, что экскаватор является сложной технической системой и может быть отнесен к изделиям

конкретного назначения I (высокой) категории опасности, а также является одним из основных звеньев последовательной технологической цепочки горнодобывающего предприятия, система *RtB* не применяется для обслуживания карьерных экскаваторов [96].

Реактивное (реагирующее) обслуживание имеет следующие недостатки: возможность внеплановых простоев из-за внезапных отказов оборудования и дорогостоящий и продолжительный ремонт из-за серьезности и обширности дефектов. Кроме того, имеется вероятность внезапного отказа нескольких различных агрегатов одновременно, вследствие чего необходимость в ремонтных работах может превысить возможности ремонтной службы [97].

### **3.1.2. Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта**

Метод обслуживания, основой которого является плановое периодическое проведение профилактических работ оборудования, т.е. составление и соблюдение календарного графика выполнения через строго определенные интервалы времени работ по профилактическому ремонту (текущему, среднему или капитальному). Достоинством такого метода, по сравнению с реактивным обслуживанием, является резкое снижение вероятности внезапного отказа оборудования. Однако система ППР не лишена недостатков, поскольку зачастую выполняются ремонты фактически исправного оборудования, вследствие чего растут эксплуатационные издержки производства. Кроме того, система ППР не гарантирует безотказную работу оборудования, поскольку график обслуживания строится на среднестатистических данных по парку однотипного оборудования [97].

Под системой ППР понимают совокупность организационных и технических мероприятий по уходу, надзору за правильной эксплуатацией и ремонту оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа узлов и деталей с целью обеспечения работоспособности горного

оборудования в течение заданного периода времени при минимальных затратах труда и материальных средств [98].

Положением о ППР [99] устанавливаются: виды и регламенты ТО и плановых ремонтов; номенклатура основной нормативно-технической документации, необходимая для планирования ремонтных нормативов; принципы организации смазочно-эмульсионного хозяйства; принципы организации учета и движения оборудования; методы учета и контроля за соблюдением действующих правил и норм по ТО, ремонту и эксплуатации горного оборудования.

Основными нормативно-техническими материалами, определяющими порядок проведения ТО и текущего ремонта, является эксплуатационная документация. А основными нормативно-техническими материалами, устанавливающими технологию производства капитального ремонта, является ремонтная документация, разрабатываемая заводами изготовителями [99].

При этом методе ремонта планированию подлежат продолжительность интервалов между ремонтами, последовательность чередования определенных их видов и объем ремонтных работ, который определяют путем оценки ремонтной сложности объекта. Содержание ремонтов не регламентируется. Подлежащие при их выполнении работы определяются состоянием оборудования. Следовательно, при этом методе также невозможно заранее точно спланировать потребность в запасных частях, материалах, хотя ориентировочно такие данные можно применять на основании предыдущего ремонта машин [99].

Система ППР состоит из следующих видов обслуживания и ремонта [98]:

1) Межремонтное обслуживание

Выполняется во время перерывах в работе агрегата без нарушения процесса производства. Включает наблюдение за соблюдением правил эксплуатации оборудования.

Обслуживание включает в себя:

- Смену и пополнение масел;

- Проверка геометрической точности;
- Проверка жесткости;
- Осмотр;
- Профилактические испытания;

## 2) Ремонты:

- Малый ремонт;
- Средний ремонт;
- Капитальный ремонт;
- Внеплановый ремонт;

Для одноковшовых экскаваторов предусмотрены следующие виды технического обслуживания: ежесменное техническое обслуживание, еженедельное техническое обслуживание, ежемесячное техническое обслуживание, сезонное техническое обслуживание, наружное обслуживание механизмов [57].

«Инструкция по проведению планово-предупредительных ремонтов строительных машин» (СН 207-62), утвержденная Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства и Государственным комитетом при Совете Министров СССР по автоматизации и машиностроению, предусматривает для одноковшовых экскаваторов 2 вида обслуживания: техническое обслуживание 1 (ТО-1) и техническое обслуживание 2 (ТО-2).

Техническое обслуживание представляет собой комплекс мероприятий направленных на создание наиболее благоприятных условий работы деталей и сопряжений, своевременное предупреждение появления неисправностей и выявления возникающих дефектов [18] .

При проведении технических обслуживаний ТО-1 и ТО-2 кроме работ междуменного и ежедневного обслуживания, производится проверка и регулировка фрикционных и кулачковых муфт, проверка и регулировка работы тормозов, работы клапанов гидравлической системы, работы системы управления, спуск масла из картера двигателя внутреннего сгорания, заливка свежего масла, замена фильтрующих элементов, спуск отстоя.

Продолжительность ТО определяется мощностью и конструкцией экскаватора, его техническим состоянием и организацией работ [18].

В рамках ремонтного цикла экскаваторов проводят ремонтные осмотры (РО), текущие (Т) и капитальные (К) ремонты.

Текущий ремонт (Т1) предусматривает смену быстроизнашивающихся деталей. Канаты, износившиеся крепежные детали, звенья цепей, заварка трещин и т.д.

Текущий ремонт (Т2) предусматривает замену изношенных деталей с разборкой некоторых узлов. Кроме работ предусмотренных ремонтом (Т1) может быть произведена замена фрикционных накладок на дисках, лентах и колодках фрикционных муфт и тормозов, износившихся втулок, траков и т.д.

Капитальный ремонт экскаватора (К) предусматривает полную разборку экскаватора и ремонт или замену основных сборочных единиц и механизмов.

Текущие ремонты (Т1 и Т2) производятся бригадой из четырех человек: два человека из обслуживающего персонала (машинист и его помощник) и два слесаря. При необходимости в бригаду включают и сварщика, автогенщика или электрослесаря [57].

Таблица 3 - Нормативы межремонтных сроков экскаваторов ЭКГ [100]

Наименование оборудования	Межремонтные сроки, маш-час			Трудоемкость ремонтных работ, чел-час			Продолжительность ремонтов, сут		
	К	С	Т	К	С	Т	К	С	Т
ЭКГ 2У, ЭКГ 3,2, ЭКГ 4, ЭКГ 4,6	36000	18000	6000	6000	2400	1500	40	25	12
ЭКГ 4И, ЭКГ-4У	36000	18000	6000	9600	3850	2400	60	28	17
ЭКГ- 5А	36000	18000	6000	6000	2400	1500	40	25	12
ЭКГ-8, ЭКГ-8И	36000	18000	6000	9600	3850	2400	60	28	17

### Продолжение таблицы 3

ЭКГ 12,5, ЭКГ 6,3У	36000	18000	6000	14000	5600	3500	70	35	26
ЭКГ-16	36000	18000	6000	14500	6000	4000	70	35	26
ЭКГ-20	36000	18000	6000	21000	8300	6200	90	40	28

### 3.1.3 Профилактическое обслуживание по фактическому состоянию

Достижения в разработке контрольно-измерительной аппаратуры обеспечили возможность не только выявлять фактическое техническое состояние агрегата путем измерения ряда его технических параметров, но и на основе анализа изменений контролируемых параметров предсказывать необходимость и планировать сроки проведения ремонта, т.е. проводить ремонт только тех агрегатов, где он необходим. Такой вид называется *профилактическим обслуживанием по фактическому техническому состоянию*. Достоинствами такого метода обслуживания являются, минимизация ремонтных работ (исключение ремонта бездефектных узлов) и увеличение на 25...40 % межремонтного ресурса по сравнению с ППР. Серьезным недостатком такого вида обслуживания может быть ситуация, когда необходимость в проведении ремонтных работ на нескольких агрегатах одновременно превысит возможности ремонтной службы [97].

Система обслуживания по фактическому состоянию является более прогрессивной системой ТО и уже внедряется в ряде отраслей промышленности. Идея системы обслуживания по состоянию состоит в минимизации отказов путем применения методов отслеживания и распознавания технического состояния. Последнее производится методами неразрушающего контроля. При появлении каких-либо факторов, вызывающих отклонения от нормального состояния механизма, своевременное диагностирование позволяет обнаружить эти отклонения. При этом определяются реальные причины происходящих изменений в каждой



конкретной ситуации, принимаются обоснованные решения по их устранению [96].

Стратегию технического сервиса строят на основе [101]:

-объективных данных о машине (характеристик безотказности и ремонтпригодности);

-специфических особенностей машины (структурной системы, характеристик индикации отказов, наличия встроенного контроля работоспособности);

-данных об условиях эксплуатации.

Стратегия технического сервиса должна обладать свойством оптимальности по некоторому показателю, характеризующему качество функционирования и эксплуатации системы. Выбор оптимальной стратегии технического сервиса позволяет добиваться наилучших результатов за счет реорганизации правил эксплуатации без привлечения дополнительных сил и средств [102].

#### **3.1.4. Активное техническое обслуживание**

Подход, направленный на снижение общего объема требуемого технического обслуживания и максимизацию срока службы оборудования (т.е. в идеале - создание «вечного» агрегата, не требующего технического обслуживания) путем систематического устранения источников дефектов, приводящих к преждевременному выходу оборудования из строя. Другими словами, результатам обобщения наиболее часто встречающихся дефектов, выявляемых в процессе работы оборудования, проводятся анализ и определение причин их возникновения и влияния на межремонтный интервал, а затем принимаются меры по недопущению возникновения этих дефектов. В частности, производится постоянный анализ работы ремонтного персонала с выявлением недостатков работы той или иной бригады, проявляющихся на группе агрегатов (например, некачественная сборка, центровка или

балансировка), анализ работы ремонтного производства с выявлением недостатков ремонтных технологий (например, технологии изготовления подшипников скольжения), анализ оснащенности (например, отсутствие оснастки по нагреву подшипников качения при монтаже), конструктивных изменений (например, применение износостойких материалов) и др. [97].

Процесс активного управления состоит из двух операций: анализ тенденций и планирование превентивных действий.

В рамках задачи анализа тенденций осуществляется наблюдение за инфраструктурой, позволяющее выявить любые нетипичные события, свидетельствующие о скрытых ошибках или уязвимостях. Для эффективного анализа тенденций ключевым фактором является наличие полной и достоверной информации о компонентах инфраструктуры и происходящих в ней событиях. Суть второй операции заключается в устранении и проведении корректирующих действий к обнаруженным уязвимостям и ошибкам. Системы активного мониторинга являются более совершенными и позволяют прогнозировать критическое состояние систем на ранней стадии, а так же генерировать предупреждения и проводить другие корректирующие действия для предотвращения возникновения инцидентов.

Особое внимание стоит уделить системе всеобщего производительного обслуживания, известной в английском сокращении как *TPM (Total Productivity Maintenance)*. Термин «всеобщее» относится не только к производительному и экономичному техническому обслуживанию, но и ко всей системе эффективного ухода за оборудованием в течение его срока службы, а также к включению в процесс каждого отдельного сотрудника и различных отделов через привлечение к техническому обслуживанию от дельных операторов.

Это, пожалуй, самая сложная и многоплановая из всех систем в совокупности образующих. *TPM* впервые была разработана в группе компаний Toyota почти 40 лет назад и с тех пор продолжает непрерывно развиваться и совершенствоваться. *TPM* – концепция менеджмента производственного оборудования, нацеленная на повышение эффективности технического

обслуживания. Метод всеобщего ухода за оборудованием построен на основе стабилизации и непрерывного улучшения процессов технического обслуживания, системы планово-предупредительного ремонта, работы по принципу «ноль дефектов» и систематического устранения всех источников потерь. Центральное направление *TPM* – самостоятельное обслуживание оборудования операторами, ведь основной персонал постоянно находится рядом с оборудованием, поэтому именно они первыми определяют отклонения от правильной работы и играют значительную роль в его первичном обслуживании, диагностике и предупреждении неисправностей [96]. Вместе с тем система технического обслуживания в концепции *TPM* включает в себя постоянное наблюдение и акустические проверки оборудования для раннего обнаружения дефектов и предупреждения его отказа. Подход *TPM* рассматривает техническое обслуживание как деятельность всего предприятия и в этом плане перекликается с подходами системы менеджмента качества.

Основу метода *TPM* формируют пять целей:

1. Повышать эффективность работы оборудования путем изучения всех видов потерь от простоя.
2. Добиваться автономности обслуживания оборудования, возложив ответственность за управление на персонал, занимающийся его обслуживанием.
3. При формировании программы ТО использовать и рационально балансировать все виды обслуживания оборудования.
4. Развивать компетенции персонала.
5. Обеспечивать контроль оборудования на ранних стадиях за счет диагностических проверок обслуживания, анализа сбоев и ремонтпригодности оборудования на стадии его проектирования, производства, монтажа и ввода в эксплуатацию.

Автономное содержание в исправности – важнейший принцип *TPM*. Ее целью является минимизирование потерь эффективности, которые возникают из-за отказов устройств, коротких остановок, брака и т.д. Для этого все большая

часть необходимой деятельности по техническому обслуживанию (чистка, смазка, технический осмотр устройств) упрощается, стандартизируется и постепенно передается на места в обязанности сотрудников. Основной персонал постоянно находится рядом с оборудованием. Наличие информационно-диагностической системы в составе электрооборудования экскаваторов позволяет повысить эффективность использования этих горных машин благодаря оперативному принятию решений по корректировке производственного процесса на основе быстрой и достоверной информации о показателях работы экскаватора за смену. В результате удастся повысить эффективность использования оборудования, существенно снизить затраты на его обслуживание и ремонт, уменьшить аварийность и травматизм на производстве [96].

Основным видом технического обслуживания карьерных экскаваторов на сегодняшний день является система планово-предупредительного ремонта (ППР) [96].

### **3.2 Планирование организации технической диагностики обследований карьерных экскаваторов**

На горных предприятиях России и зарубежных стран накоплен громадный опыт эксплуатации горных машин и комплексов, оснащенных датчиками и бортовыми компьютерами для сбора информации об их техническом состоянии и режимах работы. Основное назначение таких систем – оперативная передача объективной информации оператору и сервисным службам для ее использования в планировании и проведении более качественного технического обслуживания и ремонта техники. Однако анализ причин отказов, сбоев в устойчивости режимов работы машин и оборудования в реальном масштабе времени весьма затруднителен. Поэтому сложно принимать конкретные, адекватные реальным ситуациям оперативные решения [103].

### 3.2.1 Классификация методов неразрушающего контроля.

Классификация методов неразрушающего контроля применяемых для диагностики узлов и деталей карьерных экскаваторов [104] .

Согласно ГОСТу 18353-79, в основу классификации методов неразрушающего контроля (МНК) положены физические процессы взаимодействия физического поля или вещества с объектом контроля (рис. 2).



Рисунок 2 - Классификация видов неразрушающего контроля

#### 1. Магнитный вид.

Физический процесс: взаимодействие магнитного поля контролируемым объектом.

Контролируемые объекты из ферромагнитных материалов. Первичные информативные параметры: коэрцитивная сила  $H_c$ , магнитная проницаемость  $\mu$ , намагниченность  $I$ , параметры кривой намагничивания. Контролируемые параметры: степень закалки, прочность, толщина, химический состав, структура, степень пластической деформации, наличие несплошностей, трещины.

#### Методы

##### 1.1. Магнитопорошковый

##### 1.2. Индуктивный

1.3. Магнитографический

1.4. Феррозондовый

1.5. Магниторезонансный

2. *Электрический вид.*

Физический процесс: регистрация параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом. Контролируемые объекты: диэлектрические, полупроводниковые материалы, а также проводники.

Первичные информативные параметры: электрическая емкость, потенциал, диэлектрическая проницаемость. Контролируемые параметры: химический состав пластмасс, полупроводников, металлов, наличие несплошностей.

Методы:

2.1. Термоэлектрический

2.2. Трибоэлектрический

2.3. Экзоэлектронной эмиссии

2.4. Электроискровой

2.5. Электростатический

3. *Вихретоковый вид.* Физический процесс: взаимодействие электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем фиксированных токов, наводимых в контролируемом объекте.

Контролируемые объекты: электропроводящие материалы.

Первичные информативные параметры: частота, амплитуда, спектральный состав. Контролируемые параметры: геометрические размеры, химический состав, внутреннее напряжение, поверхностные и подповерхностные дефекты.

*Методы*

3.1. Прохождения.

4. *Радиоволновый вид.*

Физический процесс: регистрация изменения параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с контролируемым объектом.

Контролируемые объекты: диэлектрики (пластмассы, керамика, стекловолокно), магнитодиэлектрики (ферриты), полупроводники, тонкостенные металлические объекты. Первичные информативные параметры: волны СВЧ диапазона (1–100 мм), амплитуда, частота, фаза, поляризация, геометрия распространения вторичных волн, время их прохождения, волновое сопротивление,  $\text{tg}\delta$ .

#### *Методы*

4.1. Прошедшего излучения

4.2. Отраженного излучения

4.3. Рассеянного излучения

4.4. Резонансный

На практике вышеперечисленные методы получили названия: толщинометрия, структуроскопия, дефектоскопия, интроскопия.

#### *5. Тепловой вид.*

Физический процесс: регистрация изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов. Контролируемые объекты: любые материалы. Первичные информационные параметры: температура, тепловой поток.

Контролируемые параметры: неисправности, связанные с повышенным нагревом – участки электрических цепей и радиосхем, трещины в двигателях, места утечки теплоты, пористость.

#### *Методы*

5.1. Пассивного излучения

5.2. Собственного излучения

5.3. Активный

#### *6. Оптический вид.*

Физический процесс: наблюдение или регистрация параметров оптического излучения, взаимодействующего с контролируемым объектом.

Контролируемые объекты: любые материалы, прозрачные материалы.  
Первичные информационные параметры: амплитуда, фаза, степень поляризации, частота или частотный спектр, время прохождения света через объект, геометрия преломления и отражения лучей, интерференция, дифракция.  
Контролируемые параметры: видимые дефекты, отклонения от заданной формы, цвета и т.д., сферичность, плоскостность, шероховатость, толщина изделия, диаметр тонкий волокон, формы острых кромок, в прозрачных объектах – структурные неоднородности, внутренние напряжения.

#### *Методы*

6.1. Прошедшего излучения:

фотометрический

денситометрический (фотоэлектрический)

6.2. Отраженного излучения

6.3. Рассеянного излучения

6.4. Индуцированного излучения

6.5. Органолептический (визуально-оптический)

6.6. Оптической голографии

6.7. Лазерный

7. Радиационный вид.

Физический процесс: регистрация и анализ проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия его с контролируемым объектом.

Контролируемые объекты: любые материалы.

Первичные информационные параметры: плотность потока излучения.  
Контролируемые параметры: толщина изделия (до 60 см), глубокие внутренние дефекты, качественный состав материала.

#### *Методы*

7.1. Рентгеновский



- 7.2. Гамма-метод
- 7.3. Бета-метод (поток электронов)
- 7.4. Нейтронный
- 7.5. Позитронный
- 7.6. Радиографический
- 7.7. Радиометрический
- 7.8. Радиоскопический
- 8. *Акустический вид.*

Физический процесс: регистрация параметров упругих волн звукового и ультразвукового диапазонов (свыше 20 кГц), возникающих или возбуждаемых в объекте.

Контролируемые объекты: металлы, пластмасса, керамика, бетон.  
Первичные информационные параметры: амплитудно-частотная характеристика, количество сигналов в единицу времени, частота, амплитудное распределение, локация места возникновения упругих волн.

Контролируемые параметры: трещины, непровары, перестройка структуры материала, аллотропические превращения в кристаллической решетке, свойства материалов (модуль упругости, коэффициент затухания), твердость, податливость (упругий импеданс) поверхности, толщина труб и сосудов.

#### *Методы*

- 8.1. Ультразвуковой
- 8.2. Пассивный:
  - шумовибрационный;
  - вибрационный;
- 8.3. Активный
- 8.4. Акустической эмиссии
- 8.5. Импедансный
- 8.6. Отражения (эхо-метод)
- 8.7. Вычислительная ультразвуковая голография
- 9. *Вид неразрушающего контроля проникающими веществами.*

Физический процесс: проникновение пробных веществ в полость дефектов контролируемого объекта.

Контролируемые объекты: любые материалы, имеющие слабо видимые невооруженным глазом дефекты, выходящие на поверхность. Первичные информационные параметры: индикация дефекта больше его реальных размеров. Контролируемые параметры: трещины, микроскопические отверстия.

### *Методы*

#### 9.1. Капиллярные

#### 9.2. Течеискания:

масс-спектрометрический

- галогенный
- пузырьковый
- манометрический (абсолютный, дифференциальный)
- химической реакции
- ультразвукового течеискателя
- люминесцентно-гидравлический
- люминесцентно-капиллярный

При проведении экспертизы промышленной безопасности карьерных экскаваторов широко применяется метод визуально-инструментального контроля (ВИК), целью которого является выявление конструктивных изменений рабочего оборудования, поворотной платформы, нижней рамы, кузова и др. (формы, поверхностных дефектов в материале и соединениях деталей, образовавшихся трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, деформаций, ослаблений соединений и т.п.), которые влияют или могут повлиять на безопасность эксплуатации экскаватора. Параллельно с визуально-измерительным контролем может выполняться диагностический контроль оборудования экскаватора.

*Тепловой контроль* (ТК) предназначен для оценки теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей в зависимости от условий их работы и конструкции. Может осуществляться по нормированным

температурам нагрева (превышениям температуры), избыточной температуре, динамике изменения температуры во времени, с изменением нагрузки и т.п. Однако наиболее информативным параметром, несущим максимальную информацию о состоянии узла работающей машины, являются механические колебания (вибрации) – упругие волны, распространяющиеся в сплошных средах. Информацию об изменении состояния объекта можно получать практически мгновенно. Именно эти особенности предопределили применение, в качестве основного, вибрационного метода диагностики и контроля (ВД). Измерение виброакустических характеристик на подшипниковых опорах механизмов позволяет распознать такие дефекты и повреждения как дисбаланс и расцентровку валов; повреждения подшипников скольжения и качения; повреждения зацеплений в зубчатых передачах; повреждения муфт; повреждения электрических машин. При анализе данных, полученных при первичных обследованиях главных приводов экскаваторов, выявлено, что основными дефектами электромеханического оборудования являются дисбаланс ротора, расцентровка валопроводов агрегатов, дефекты подшипниковых узлов, дефекты зубчатых передач (нарушения геометрии зуба, смещение линии вала, нарушение смазки), различные дефекты электромагнитного происхождения (магнитная асимметрия якоря, перекося фаз, смещение в магнитном поле, и т.д.). Как известно, наиболее эффективным из методов вибродиагностики является постоянный мониторинг, позволяющий своевременно получать точную и достоверную информацию о состоянии оборудования. Особенно актуальной представляется эта задача для парка карьерных одноковшовых карьерных экскаваторов. При обнаружении признаков наличия трещин в несущих металлоконструкциях или сварных швах экскаватора в этих местах проводится дополнительная проверка с помощью одного из дефектоскопических методов НК: ультразвукового контроля (УЗК) или контроля проникающими веществами (капиллярного контроля).

*Ультразвуковой контроль*, основанный на способности ультразвуковых колебаний распространяться в твердых веществах на большую глубину без

заметного ослабления и отражаться от границы раздела двух веществ, является наиболее надежным и простым методом дефектоскопии ответственных деталей и сварных соединений экскаваторов. Различают 5 методов УЗК: теневой, резонансный, импедансный, свободных колебаний и эхо метод. Самое передовое слово техники – применение УЗ фазированных решеток. Главное их достоинство – возможность программного формирования диаграммы направленности УЗ блока, включая фокусировку, точку и угол ввода, что позволяет реализовать все схемы контроля, применяемые в многоэлементных системах с линейным сканированием: например, дефектоскоп Х-32 имеет наглядный интерфейс и удобен в работе, а многочисленные функции, реализованные в нем, облегчают и оптимизируют процесс контроля.

*Контроль проникающими веществами* предназначен для определения мест расположения поверхностных дефектов с открытой полостью, их направления, протяженности, характера развития, как в основном, так и в наплавленном металле сварных соединений.

Работы по проведению *акустико-эмиссионного контроля* (АЭ-контроль) основных несущих элементов корпуса экскаватора направлены на выявление развивающихся дефектов в сварных швах, образовавшихся за длительный период эксплуатации за счет накопления напряжений в результате циклического режима эксплуатации. Акустико-эмиссионный контроль, используемый в режиме реального времени на действующем оборудовании позволяет выявить потенциально опасные места конструкции, момент образования развивающегося дефекта и его координаты практически без перерыва в работе, однозначно сказать о развитии дефекта [105].

Для диагностики металлоконструкций карьерных экскаваторов, в основном, используются *ультразвуковая вихревая*, а также *магнитная дефектоскопия*, и, отчасти, контроль проникающими веществами и тепловой метод. Применительно к приводам эффективнее всего является применение методов акустической эмиссии, вибрации, органолептические (шум), тепловой

контроль с применением тепловизоров, оценка изменения поверхностной твердости, шероховатости и износа.

*Ультразвуковой контроль* является одним из наиболее часто используемых при диагностировании технических объектов. Применительно к карьерным экскаваторам цикличного действия метод ультразвуковой дефектоскопии применяется для диагностики металлоконструкций: рукоять, стрела, седловой подшипник, подкосы, двуногая стойка и так далее.

*Метод акустической эмиссии* является наиболее прогрессивным, так как регистрирует развивающиеся дефекты, что позволяет их классифицировать не только по размерам, но и по степени их опасности, а также прогнозирования развития процесса разрушения материала. Главным преимуществом метода акустической эмиссии является возможность получения информации не только о наличии микротрещин в материале, но и о кинетике микротрещинообразования.

*Виброакустический метод* позволяет с высокой точностью обнаружить и оценить различного рода дефекты узлов и агрегатов, такие как несоосность валов электродвигателей и редукторов, дефекты изготовления, монтажа и усталостного разрушения зубчатых передач, недостаточность моментов затяжки сочленений на болтах (шпильках) и так далее.

*Вихревой метод* применяется для диагностики технических объектов из электропроводящих материалов. В основном Вихревой метод используется для обнаружения дефектов расположенных на глубине до 8... 10 мм; для измерения толщины покрытий; для определения физико-механических свойств, компонентного и химического состава объекта; а также качества проведенной термообработки.

*Магнитный метод* основан на анализе изменения магнитного поля, возникающего в местах дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов. Методом магнитной дефектоскопии можно обнаруживать трещины, раковины, непровары и расслоения на глубине до 10 мм с минимальным размером более 0,1 мм.

*Тепловой метод контроля* основан на анализе взаимодействия внешнего температурного поля с объектом контроля (активный метод) или на анализе температурного поля самого объекта (пассивный метод). По характеру взаимодействия теплового поля с объектом контроля различают тепловой контактный, конвективный и метод собственного излучения [9]. Современные тепловизоры обладают высокой чувствительностью к температурному градиенту, оперативностью работы и доступностью, чем обуславливается низкая себестоимость проведения диагностических операций методом теплового контроля [106].

### **3.2.2 Информационно-диагностические системы современных экскаваторов**

В настоящее время новые экскаваторы компании ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» оснащены информационно-диагностическими системами (ИДС). Наличие информационно-диагностической системы современных экскаваторов обеспечивает выполнение следующих функций [96,107-109]:

- Контроль температур нагрева подшипников, моторных валов редукторов механизма подъема и напора, а также подшипников электромашин главных приводов;
- Контроль потоков охлаждающего воздуха электродвигателей главных приводов;
- Контроль наличия и температуры нагрева масла в циркуляционной системе механизма поворота;
- Контроль параметров работы системы управления главными приводами;
- Контроль давления сжатого воздуха в пневмосистеме;
- Контроль работы автоматической системы смазки «Lincoln»;
- Изменение температуры воздуха в кабине машиниста и за бортом экскаватора;

- Предупреждение о текущем состоянии механического и электрического оборудования и о возможных аварийных ситуациях;

- Формирование, отображение и хранение списка сообщений об авариях, событиях и системных сбоях с указанием даты и времени;

### **3.2.3 Визуально-измерительный контроль**

ВИК - наибольший по объему работ этап экспертного обследования КЭ.

При ВИК определяется общее состояние всех составных частей и механизмов, состояние крепежных и сварных соединений, наличие и величина деформаций, отклонений, износа, механических повреждений, коррозионного износа. ВИК элементов КЭ (металлических конструкций - рукоять, стрела, поворотная платформа, нижняя рама, кузов и др.) проводится в целях выявления изменений их формы, поверхностных дефектов в материале и соединениях (в том числе сварных) деталей, наплавках, образовавшихся в процессе эксплуатации трещин, коррозионных и эрозионных повреждений, деформаций, ослаблений болтовых и заклепочных соединений и пр. ВИК проводится в соответствии с Инструкцией по визуальному и измерительному контролю (РД 03-606-03), утвержденной постановлением Госгортехнадзора России от 11.06.03 N 92, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 20.06.03 г., регистрационный N 4782.

При визуальном контроле технического состояния проводят:

- внешний осмотр элементов КЭ;
- проверку наличия и качества смазки в шарнирных соединениях и подшипниках;
- проверку качества затяжки элементов крепления механизмов;
- оценку степени коррозии элементов;
- выявление расслоений основного металла;
- проверку отсутствия (наличия) зазоров шарнирных соединений;
- измерение износа пальцев и проушин шарнирных соединений;

- визуальный контроль ботовых, заклепочных и сварных соединений;
- проверку отсутствия (наличия) механических повреждений поверхностей;
- проверку отсутствия (наличия) изменений формы элементов конструкций (деформированные участки, коробление, провисание, и другие отклонения от первоначального расположения);
- проверку соответствия регулировки составных частей механизмов требованиям эксплуатационной и нормативной документации;
- проверку отсутствия (наличия) трещин и других поверхностных дефектов в основном металле, сварных швах и околошовной зоне, косвенными признаками наличия которых являются шелушение краски, местная коррозия, подтеки ржавчины и т.п;

При обнаружении признаков трещин в металлической конструкции или сварном шве подозрительные места подвергают обязательной дополнительной проверке с помощью измерительного микроскопа, методами НК. Контроль соединительных элементов металлических конструкций следует начинать с проверки наличия и состояния фиксирующих элементов, а затем осей (пальцев) и посадочных гнезд. Наличие зазоров в шарнирных соединениях определяют визуально в процессе эксплуатации оборудования по характерным признакам (толчки, удары и пр.). Хомуты должны быть плотно установлены на полную глубину кольцевых проточек осей. Болты хомутов должны быть надежно затянуты и застопорены контргайками, болты стопорных планок - застопорены проволокой. Все металлические ограждения, предусмотренные технической документацией, должны быть установлены и находиться в исправном техническом состоянии (надежно закреплены, отрегулированы по высоте, не загромождены и не иметь подтеков масла и смазки). Методом ВИК определяют также утечки масла из корпусов редукторов и через уплотнения. При небольших утечках масла для выявления мест утечки используют ПВК, в том числе люминесцентный. Для этого участки корпуса тщательно очищают от масла и пыли, смазывают люминесцентной жидкостью и освещают



кварцевой лампой со светофильтром УФС. Места течи выделяются по характерному блеску. Состав люминесцентной жидкости: 10% трансформаторного масла, 80% керосина и 10% магнезиевой пудры.

Визуальный контроль следует проводить с применением лупы 6-10-кратного увеличения. Все выявленные дефекты должны быть отражены в рабочей карте обследования.

При измерительном контроле состояния конструкций и сварных соединений определяют:

- качество соединений элементов металлических конструкций, а также ослабление болтовых и заклепочных соединений;
- величины деформаций конструкций и отдельных поврежденных элементов (при наличии);
- размеры механических повреждений конструкций;
- размеры деформированных участков материала конструкций и сварных соединений, в том числе в длину, ширину и глубину вмятин, выпучин;
- глубину коррозионных язв и размеры зон коррозионного повреждения, включая их глубину [110].

### **3.2.4 Диагностируемые узлы и агрегаты карьерных экскаваторов**

Анализ надежности элементов механической системы экскаваторов показал, что наряду с отказами наименее надежных «быстроизнашивающихся» элементов, таких как подъемные канаты и элементы тормоза механизма подъема, значительная часть отказов (около трети общего числа) связана с усталостным и хрупким разрушением элементов несущих конструкций, выходных валов зубчатых передач механизмов привода [28].

В [9] рассматриваются основные дефекты металлоконструкций экскаваторов ЭКГ.

Карьерный экскаватор ЭКГ-10 состоит из рабочего оборудования, поворотной платформы, с установленными на ней механизмами, и ходовой

тележки. Поворотная платформа, стрела, рукоять, нижняя рама ходовой тележки представляют собой сварные металлические конструкции из проката и стальных отливок [9].

Дефекты, обнаруженные на основных металлоконструкциях экскаваторов, должны проходить плановое и внеплановое диагностирование. Данные узлы экскаватора (поворотная платформа, ходовая тележка, стрела и подвеска стрелы), как правило, служат весь срок эксплуатации и практически не подлежат замене.

Так как 93 % выявляемых диагностическими обследованиями дефектов во времени приведут к аварийной остановке, то одним из важнейших результатов внедрения диагностических обследований является сокращение аварийных простоев. Это не только позволяет повысить норму выработки за счёт высвободившегося времени и сократить затраты на ремонт, но и позволяет за счёт исключения срывов работ по причине внеплановых простоев более эффективно планировать загрузку оборудования на производстве, что, в свою очередь, позволит значительно поднять производительность труда [111].

### **3.2.5 Экспресс диагностирование и углубленное диагностирование**

Диагностирование является важным направлением технического прогресса. Преимуществом диагностики является возможность оценивать техническое состояние машин и оборудования без разборки. Техническая диагностика подразделяется на экспресс-диагностику и углубленную диагностику. Первая предназначена для ускоренной проверки технического состояния основных систем и агрегатов, с тем чтобы установить исправен или неисправен, то есть может ли элемент экскаваторно-автомобильного комплекса (экскаватор, карьерный автосамосвал, бульдозер) быть допущен к дальнейшей эксплуатации без технических воздействий. При экспресс-диагностике основное внимание уделяется механизмам, от которых зависит безопасность элементов экскаваторно-автомобильных комплексов. При углубленной

диагностике целью является не только быстро обнаружить неисправный агрегат или узел, но и точно установить причину неисправности. Благодаря диагностике решаются следующие задачи:

- сокращение непредвиденных простоев техники;
- экономия средств на приобретение новых деталей в результате работ планово-предупредительного характера;
- увеличение фактической межремонтной наработки;
- уменьшение затрат на текущий ремонт;
- сокращение расхода запасных частей и др.

Таким образом, очевидна необходимость расширения применения технического диагностирования элементов экскаватор-но-автомобильных комплексов с целью повышения их надежности и долговечности [28].

*Экспресс-методы:* Пассивные физические методы неразрушающего контроля, использующие в качестве информативных параметров физические поля, характеризующие собственную (внутреннюю) энергию металла объекта контроля (акустическую эмиссию, метод магнитной памяти металла, тепловой контроль и др.). Примечание - Указанные методы НК осуществляют контроль без какой-либо подготовки поверхности, без ввода в ОК искусственных физических полей и поэтому скорость выполнения контроля при их использовании значительно выше по сравнению с активными методами НК.

*Оперативная диагностика:* Анализ функциональных (рабочих) параметров данного ОК (температуры и давления рабочей среды, температуры металла и т.д.) и сравнение их с расчетными параметрами.

*Экспертное обследование:* Проведение экспертизы промышленной безопасности, результатом которой является заключение.

### **Оперативная (функциональная) диагностика**

Цель оперативной диагностики - получение данных о техническом состоянии обследуемого объекта, его технологических параметрах, об условиях взаимодействия с окружающей средой.

Оперативную диагностику проводят на объекте контроля непрерывно или дискретно в соответствии с предварительно разработанной и согласованной со службами и органами, ответственными за эксплуатацию объекта, программой, с использованием штатного приборно-измерительного комплекса.

В процессе оперативной диагностики определяют (измеряют) параметры технического состояния ОК, регистрируют показатели технологического процесса, служащие параметрами технического состояния объекта (температуру, давление, мощность, вибрацию, расходы и выход продуктов технологического процесса и т.д.), и проводят их статистическую обработку.

В программах по оперативной диагностике предусматривают специальные режимы функционирования объекта и установку специальной измерительной или диагностической аппаратуры, позволяющей наиболее полно выявить отклонения технологических параметров от расчетных, повреждения в элементах ОК и (или) возможности возникновения отказов.

Результаты оперативной диагностики оформляют в виде протоколов измерений, дополнений в базу данных и (или) представляют в виде технического заключения или отчета.

### **Экспертное обследование**

Цель экспертного обследования - получение информации о реальном техническом состоянии объекта, наличии в нем повреждений, выявление причин и механизмов их возникновения и развития.

Экспертное обследование проводят в соответствии с программой, разработанной на основе анализа технической документации и данных оперативной диагностики применительно к конкретному объекту.

В общем случае программой предусматривают:

- визуальный (внешний и внутренний) контроль, включая измерения геометрических параметров;
- экспресс диагностику выделенных зон контроля в объеме, определенной программой обследования;

- дефектоскопический контроль, включая толщиномирию, в объеме и на участках, устанавливаемых по результатам экспресс - диагностики;
- контроль прочностных свойств металла.

Для проведения полного обследования объекта контроля применяют неразрушающие экспресс-методы, позволяющие определить фактическое НДС и выявить зоны концентрации напряжений.

Экспериментальное определение фактических напряжений, деформаций в ЗКН неразрушающими физическими методами должно быть проведено в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52330.

Для выполнения дефектоскопического контроля в ЗКН применяют методики и аппаратуру, регламентируемые для этих целей действующей нормативной документацией с учетом требований проектной, монтажной и эксплуатационной документации на обследуемый объект.

В случаях, когда для проведения дефектоскопии действующая нормативная документация на объект контроля предписывает применение разных физических методов, учитывают физическую совместимость указанных методов и при необходимости пересматривают последовательность применения методов, вплоть до исключения одного или нескольких методов, рекомендованных документацией, после согласования со специализированными организациями и утверждения в органах Ростехнадзора.

Результаты экспертного обследования оформляют в виде протоколов измерений, формуляров или карт распределения ЗКН, дефектности и повреждений объекта контроля с таблицами данных, вносят в базу данных по объекту и отражают в отчете или техническом заключении.

При обследовании неисправного или нефункционирующего, но ремонтпригодного объекта контроля порядок проведения оперативной диагностики и экспертного обследования может быть изменен по согласованию с органами Ростехнадзора [112].

### **3.3 Методы автоматизации планирования ремонтов**

В настоящий момент в отечественной горной промышленности сложилась ситуация когда в процессах обслуживания оборудования, отсутствует накопление статистической информации о проведенных аварийных работах, отказов оборудования, дефектов инцидентов.

Оперативная информация, фиксируется в оперативных журналах и журналах дефектов, журналах технических и административных распоряжений и т. д., но анализ возникновения неисправностей, качества выполнения ремонтов проводится бессистемно. На основании этих данных можно анализировать ошибки на разных стадиях управления, применение различных типов оборудования, оптимизировать материальные затраты и пр. Кроме того, не хватает оперативности информирования персонала при изменениях рабочих параметров, изменения эксплуатационных схем, выполненных работ на объектах [113].

Для автоматизации процессов ТО и Р могут быть использованы специализированные программно-информационные системы. В зависимости от масштаба задач это могут быть системы классов ERP (Enterprise Resource Planning, планирования ресурсов предприятия), EAM-системы (Enterprise Asset Management, управления основными фондами предприятия) или CMMS (Computerized Maintenance Management System, компьютеризированная система управления техническим обслуживанием) [114].

Для автоматизации выделенных задач могут применяться соответствующие методы и алгоритмы, среди которых можно выделить: методы системного подхода, положения теорий вероятности, надёжности, управления; методы сетевого планирования, оптимизации, математического моделирования, ФСА и др. Для применения методов и алгоритмов также необходимо определение структуры и связей системы, показателей и характеристик системы и ее структурных элементов, критериев эффективности функционирования [114].

На различных этапах процесса технического обслуживания и ремонта оборудования, для автоматизации которых, предположительно, может быть использован один и тот же математический аппарат. К таким этапам относятся [114]:

- планирование работ по ТО и Р;
- организация выполнения работ по ТО и Р;
- анализ эффективности выполнения работ по ТО и Р;
- прогнозирование выходов из строя оборудования;

Использование одного и того же математического аппарата в задачах выбора альтернатив в системе автоматизации технического обслуживания и ремонтов позволит упростить не только процесс разработки системы, но и унифицировать алгоритмы расчета, т.е. будет снижена вероятность ошибки на этапах процесса ТО и Р. Однако для применения методов принятия решений необходимо формализовать решаемые задачи, а именно, определиться со списком альтернатив, критериями и степенями их важности, а также системой предпочтений [114].

В качестве методического обеспечения, используемого при автоматизации процессов ТО и Р предприятия, была формализована методика автоматизации ремонтных работ предприятия, являющаяся своеобразным шаблоном выполняемых процедур [114].

Для создания методики были поставлены следующие задачи:

- 1) Выделение объекта исследования.
- 2) Выделение направлений исследования.
- 3) Выявление субъектов процесса ТО и Р, должностных обязанностей и функций служб ТО и Р.
- 4) Исследование документации по ТО и Р.
- 5) Исследования состава оборудования и объектов обслуживания.
- 6) Выявление видов и состава работ.
- 7) Описание процессов ТО и Р.
- 8) Оформление методики автоматизации ремонтных работ предприятия.

Методика автоматизации ремонтных работ является формализацией процесса ТО и Р [114], которая может применяться при проведении комплекса работ по программно-информационной поддержке ТО и Р.

Методика автоматизации ремонтных работ предприятия содержит описание элементов процесса автоматизации и состоит из следующих разделов:

1. Введение, общие положения и терминология.
2. Система ТО и ремонта техники (СТО и РТ):
  - 2.1. Состав процесса ТО и Р:
    - 2.1.1. Виды ресурсов.
    - 2.1.2. Виды работ.
  - 2.2. Объекты ТО и ремонта.
  - 2.3. Средства ТО и ремонта.
  - 2.4. Исполнители ТО и ремонта.
  - 2.5. Документация.
3. Субъекты процесса:
  - 3.1. ОГМ.
  - 3.2. ГМ.
  - 3.3. Начальник цеха/установки.
  - 3.4. Механик.
  - 3.5. Сервисное предприятие.
4. Процессы ТО и Р:
  - 4.1. Процессы ремонта:
    - 4.1.1. Виды работ.
    - 4.1.2. Техническая документация на ремонт.
    - 4.1.3. Планирование ремонтов.
  - 4.2. Ремонтные нормативы:
    - 4.2.1. Временные нормативы:
  - 4.3. Порядок приема оборудования в ремонт.
  - 4.4. Формы и методы проведения ремонта.
  - 4.5. Порядок приемки оборудования из ремонта.



- 4.6. Процессы технического обслуживания:
  - 4.6.1. Описание процессов *As-is*.
  - 4.6.2. Описание процессов *To-be*.
- 4.7. Специфические процессы ТО и Р.
- 5. Эксплуатация машин и оборудования:
  - 5.1. Приемка и ввод машин в эксплуатацию.
  - 5.2. Использование машин.
  - 5.3. Транспортирование машин при необходимости.
  - 5.4. Техническое обслуживание и ремонт машин.
  - 5.5. Хранение машин.
  - 5.6. Снятие машин с эксплуатации.
  - 5.7. Эксплуатационные документы.
- 6. Вопросы обеспечения ТОиР:
  - 6.1. Техника безопасности при техническом обслуживании и ремонте.
  - 6.2. Информационное обеспечение ТО и ремонта.
  - 6.3. Материально-техническое обеспечение ТО и ремонта.
  - 6.4. Типовые объемы работ при ремонте оборудования.
- 7. Список использованных источников.

Для планирования, выполнения и контроля технического обслуживания и ремонтов определяются:

- а) периодичность ремонта – интервал наработки оборудования между окончанием данного вида ремонта (технического обслуживания) и началом следующего ремонта такого же или любого другого, большей или меньшей сложности;
- б) продолжительность ремонта – интервал времени (в часах) от момента вывода оборудования из эксплуатации для ремонта до ввода его в эксплуатацию в нормальном режиме;
- в) трудоёмкость ремонта – трудозатраты на проведение данного вида ремонта, выраженные в человеко-часах [115] .

### **3.3.1 Системы автоматизации технического обслуживания и ремонтов ERP-системы**

ERP – это автоматизированные или модульные программы, которые основаны на управлении, структуризации хранилища информации организации. Благодаря современным решениям и оснащению каждое предприятие может перейти на новый уровень функционирования. Уникальный программный продукт предназначен для управления ресурсами и рабочими процессами предприятия. Они незаменимы для организации работы таких предприятий, деятельность которых связана со сложным производством.

ERP состоит из множества интегрированных приложений, которые формируют условия для организации процессов, связанных с учетом, контролем, планированием и анализом информации. Корпоративные данные сосредоточены в сформированном общем месте для дальнейшей передачи и обработки. Доступ к информации предоставляется всем подразделениям и службам – финансовому, производственному, кадровому, плановому блоку. Структура программного продукта включает несколько уровней, начиная с базовых элементов и заканчивая вспомогательными, расширенными модулями. К базовым элементам относится модуль управления производственной деятельности и включает управление запасами, составление планов по использованию оборудования, определение объемов сырья и материалов.

Расширенные элементы объединяют модули поставок, цикла производства, персонала, продаж, финансов и взаимодействия. В зависимости от разработчиков и производителей программного продукта его структура может изменяться.

Внедрение программного обеспечения на основе стратегии ERP необходимо в следующих случаях:

- отсутствие единого источника справочной и нормативной информации;
- накопление складских запасов и отсутствие централизованного планирования.

-долгое формирование и предоставление управленческой отчетности.

С помощью программы можно настроить разграниченный доступ к базе данных, а также сформировать вариативные политики безопасности на одном предприятии. В базе сосредоточена вся рабочая документация, что позволяет обеспечить над ней контроль и защитить от несанкционированного доступа посторонних лиц. Функции автоматизированной системы в случае необходимости можно ограничить или расширить в зависимости от объемов производства.

### **Структура системы ERP**

1) ERP системы дают возможность осуществлять контроль над всеми важными процессами организации. Контроль может быть построен по иерархической системе: от оперативного уровня, до уровня стратегического управления.

2) Синхронизация процессов. Все процессы организации могут быть организованы в виде последовательного и взаимосвязанного потока работ, передаваемого от подразделения к подразделению. За счет применения ERP системы потоки работ могут быть синхронизированы. Это гарантирует эффективное выполнение процессов, замкнутых на отдельных подразделениях, но влияющих на общие для нескольких подразделений процессы.

3) Стандартизация отчетности. Средства отчетности ERP системы унифицируют все виды отчетов и статистических данных, необходимых для управления. Эти отчеты можно создавать по всем процессам, подразделениям или функциям в режиме реального времени.

4) Унификация информационных систем. Т.к. ERP система внедряется во всех подразделениях организации (при внедрении всего функционала ERP системы), то нет необходимости поддерживать разрозненные информационные системы управления. Все функции отдельных систем могут быть интегрированы в ERP систему.

5) Централизация данных. Принцип работы ERP системы подразумевает создание единой базы данных, в которой хранится вся управленческая

информация. Данные хранятся централизованно, что обеспечивает быстрый доступ к необходимой информации, надежную защиту и архивирование.

6) Защита данных. Для каждой группы пользователей в ERP системе могут быть созданы свои политики безопасности, что обеспечивает более надежную защиту данных. Работа каждого пользователя может быть проконтролирована. Все операции и действия, выполненные пользователем, могут контролироваться за счет средств ERP системы.

7) Улучшение взаимодействия. ERP системы обеспечивают «прозрачность» результатов работы каждого из подразделений. Это дает возможность наладить горизонтальные связи между подразделениями и улучшить их взаимодействие.

8) Интеграция с низкоуровневыми системами управления. За счет применения API интерфейса, ERP системы обеспечивают связь с низкоуровневыми системами управления (станками, производственными комплексами и другим оборудованием).

9) Контроль взаимосвязанных видов деятельности. За счет наличия различных модулей, ERP системы облегчают отслеживание заказов, запасов, выручки, продаж и всех смежных видов деятельности.

10) Масштабирование. Для больших компаний, имеющих распределенную структуру и территориально удаленные подразделения, ERP системы позволяют масштабировать решения. Это дает возможность территориально удаленным подразделениям иметь единую систему управления.

#### **Недостатки системы ERP:**

1) Высокая стоимость. Полноценная ERP система является довольно затратной для любой организации. В стоимость ERP системы входим множество составляющих. Основные из них это: стоимость программного и аппаратного обеспечения, стоимость работ по планированию, внедрению, настройке и тестированию, стоимость сервисного обслуживания.

2) Продолжительное внедрение. Для крупных организаций, внедрение полноценной ERP системы может занять от 1 до 3-х лет. В течение этого периода процессы организации могут оказаться нестабильными.

3) Трудности освоения. Как правило, ERP системы обладают сложными интерфейсами пользователей. Для успешного внедрения и работы ERP системы необходимо длительное обучение пользователей.

4) Дополнительные косвенные затраты. Для внедрения ERP системы и ее нормальной работы предприятию может потребоваться обновить часть оборудования, программные средства, каналы связи.

5) Перенос данных. При внедрении, ERP система заменяет собой существующие разрозненные информационные системы управления. Данные, хранящиеся в этих системах, не всегда могут быть легко интегрированы в базу данных ERP системы. Перенос данных может оказаться затруднен или вообще невозможен.

б) Зависимость от поставщика. Приобретение и внедрение ERP системы является затратным процессом. Выбрав одного поставщика, компания вынуждена пользоваться его услугами для поддержания работоспособности системы и ее обновления.

### **3.3.2 ЕАМ-системы и системы CMMS**

Повышение качества управления связывают, прежде всего, с применением современных методов оценки основных фондов, анализа уровня их использования, а также планирования их развития; с формированием комплексного подхода к определению взаимовлияния показателей использования внеоборотных активов и показателей финансово-хозяйственной деятельности предприятий.

В целях совершенствования механизма управления основными фондами предприятия следует привлекать новейшие управленческие технологии. Таким образом, особую актуальность приобретают вопросы практического

использования современных ЕАМ-систем (англ., Enterprise Asset Management System – система управления активами предприятия), направленных на сокращение затрат, связанных с обслуживанием объектов.

Практическое применение указанной стратегии, в основном, вызвано необходимостью сокращения расходов на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р), материально-техническое обеспечение при одновременном росте показателей эффективности использования основных средств.

Современные ЕАМ-системы позволяют осуществлять управление по следующим направлениям деятельности предприятия:

- по учету активов (основных фондов);
- по диагностике и контролю уровня технического состояния основных фондов;
- по ТО и Р основных фондов;
- по материально-техническому обеспечению процесса ТО и Р основных фондов (управление закупками и запасами);
- по управлению персоналом;
- по управлению договорами;
- по управлению финансовыми ресурсами, обеспечивающими ТО и Р.

Внедрение ЕАМ-систем в практику деятельности предприятия дает возможность определиться с оптимальной стратегией технического обслуживания объектов основных средств и перейти от регламентного технического обслуживания к ремонтам по «техническому состоянию», т.е. позволяет при проведении работ учитывать текущее техническое состояние узлов и агрегатов и соответствие их контролируемых параметров регламентированным значениям, тем самым осуществляя формирование задания на работу (ТО и Р, модернизация и т.п.) только в случае такой необходимости

Внедрение ЕАМ-систем, согласно исследованию сообщества SMRP (Society for Maintenance & Reliability Professionals), позволяет увеличить до 30% срок полезного использования оборудования, до 20% сократить его простои, до

80% повысить долю плановых ремонтов, на треть сократить сверхурочные и аварийные работы, случаи нехватки запасов для осуществления ремонтных работ, существенно увеличить производительность персонала.

Следует отметить, что на сегодняшний день на отечественном рынке представлено значительное количество EAM-систем как российского, так и зарубежного производства.

*Российская система Seascope* (от компании Sea Project) предназначена для управления эксплуатацией сложной техники, автоматизируя планирование технического обслуживания и оптимизацию управления материально-техническим обеспечением предприятия. Программный продукт сочетает в себе управление оборудованием (EAM) с управлением ТО и Р. Система позволяет контролировать и управлять полным жизненным циклом активов предприятия, включая здания, сооружения, инфраструктуру, транспорт, производственные средства и др. Функциональность системы обеспечивает пользователям видимость и контроль состояния активов и процессов при одновременном повышении производительности и снижении времени простоя. Также в программном продукте реализована возможность предоставления информации о номенклатуре запасных частей, необходимых для проведения регламентных и сервисных работ, информации об их стоимости, поставщиках и производителях. Использование системы Seascope позволяет оценивать текущую техническую готовность объекта и прогнозировать ее изменение, а также управлять затратами на поддержание технической готовности.

*Российская система Галактика EAM* (от Корпорации Галактика) представляет собой тиражную систему, которая предназначена для обеспечения безопасного и надежного управления производственными активами предприятия. Программное решение позволяет снижать стоимость владения активами, своевременно обновлять информацию о техническом состоянии оборудования и сокращать затраты на аварийное восстановление активов. С помощью системы у предприятия появляется возможность осуществлять контроль приоритетности ремонтов, направляя средства на ремонт и

обслуживание оборудования, отказ которого может привести к наибольшим потерям. При помощи системы Галактика ЕАМ возможно организовать ТО и Р оборудования в соответствии с различными стратегиями: планово-предупредительное техническое обслуживание и ремонт; обслуживание, ориентированное на надежность; обслуживание, ориентированное на предотвращение рисков; ремонт по состоянию.

К основным преимуществам системы Галактика ЕАМ следует отнести:

- процессно-ориентированное управление;
- возможность мониторинга ключевых показателей эффективности;
- кроссплатформенность;
- мобильную версию; возможность осуществления интеграции с другими программными продуктами (к примеру, с ERP (англ., Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), сметными системами и системами диагностики);
- возможность настройки алгоритмов планирования под потребности предприятия.

*Российская система NERPA EAM* (от компании Новософт) представляет собой систему управления основными фондами, ТО и Р на предприятиях и в сервисных компаниях. Система NERPA EAM, также как и система Галактика ЕАМ, позволяет осуществлять планирование ремонта оборудования с применением разнообразных стратегий: планово-предупредительный ремонт, текущий ремонт, капитальный ремонт, ремонт по состоянию; но, в отличие от системы Галактика ЕАМ, подходит малым и средним предприятиям. Программа ТО и Р позволяет контролировать ход работ в соответствии с установленным графиком, а также в соответствии с регламентом технического обслуживания оборудования. Основная цель внедрения системы (так-же как и других ЕАМ-систем) состоит в сокращении затрат на ТО и Р и материально-техническое обеспечение без снижения уровня надежности объектов основных фондов, либо в повышении их производительности без сокращения затрат.



*Российский программный комплекс TRIM* (от производителя ООО «СпецТек») интегрирует в виде единой системы необходимые компоненты управления физическими активами предприятия и обеспечения ТО и Р. Система TRIM позволяет управлять обслуживанием как оборудования, так и сооружений, и инфраструктуры предприятия. Функции управления активами охватывают все этапы их жизненного цикла: разработка, строительство и производство, поставка, эксплуатация, ТО и Р, реконструкция и модернизация, замена и списание. Программный продукт TRIM является «клиент-серверной» системой и обладает модульной архитектурой. Система состоит из базовых и дополнительных модулей, компонуемых в целевое решение в зависимости от потребностей предприятия. Система является масштабируемой, т.е. количество пользователей и состав используемых модулей можно изменять без изменения структуры системы и структуры данных.

*Программное решение SAP Asset Intelligence Network* (Германия) обеспечивает сбор и отслеживание информации об оборудовании с использованием центрального хранилища, облегчая совместное управление активами и позволяя использовать преимущества концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT).

*Система Oracle EAM* (США) позволяет обеспечить всеобъемлющее управление активами, а также комплексное планирование, отслеживание и выполнение работ по ТО и Р для поддержки оптимального использования активов. Программное обеспечение нацелено преимущественно на крупные предприятия. Система основана на стратегиях технического обслуживания заводов и общественной инфраструктуры. Система Oracle EAM устраняет избыточные и устаревшие запасы товарно-материальных ценностей, продвигает политику охраны окружающей среды, здоровья и безопасности, а также обеспечивает координацию графиков производства и технического обслуживания.

*Ellipse EAM* (Швейцария) — это корпоративное программное обеспечение для управления активами предприятия и планирования ресурсов в

ресурсоемких отраслях экономики. Программный комплекс позволяет управлять всем жизненным циклом активов от проектирования до эксплуатации и утилизации. Решение содержит развитые функции планирования, сопровождения и контроля работ по техническому обслуживанию. В сервис Ellipse EAM интегрированы инструменты для балансировки использования и повышения доступности оборудования и с уменьшением затрат на поддержку активов. Также в системе поддерживаются функции управления цепочкой снабжения, благодаря которым обеспечивается планирование спроса на материалы, запасные части, инструменты и приспособления, ориентированное на обеспечение доступности деталей. Система обладает настраиваемой функциональностью. Допускается использование как на ресурсах предприятия, так и в виде облачного сервиса.

Ключевыми отличиями EAM-системы Maximo (США) от аналогов является полнота охвата всех подразделений и бизнес-процессов, имеющих отношение к планированию, реализации и контролю работ по ТО и Р, а также удобная реализация системы сбора, структурирования, хранения и представления пользователям детализированной информации по всем видам активов, затратам на их содержание, а также планируемыми, текущим и выполненным работам и т.д [116].

### **CMMS-системы**

Существуют системы автоматизации процесса технического обслуживания и ремонта, такие системы создаются уже более 20 лет. Для их обозначения используется аббревиатура CMMS (Computerized Maintenance Management Systems), т.е. компьютерные системы управления ТО и Р. В настоящее время все более широкое распространение получают так называемые EAM-системы (Enterprise Asset Management – управление активами предприятия), обобщающие концепции CMMS и комплексно охватывающие весь объем процессов, связанных с управлением основными фондами и полным ЖЦ оборудования (от проектирования до списания). Рассмотрим функциональность

типовой CMMS-системы, а затем и расширенную функциональность системы класса EAM. CMMS обеспечивает поддержку следующих возможностей:

- Ведение регистра оборудования, технических установок, агрегатов и их компонентов.
- Регистрация технических данных, спецификаций для установки, ремонта и обслуживания оборудования.
- Планирование основанных на календаре предупредительных ремонтов и генерация наряд-заказов.
- Планирование и диспетчеризация исполнения наряд-заказов.
- Отчетность о выполнении наряд - заказов – объемы работ, рабочее время, использованные материалы и понесенные затраты.
- Управление складским хозяйством, возвратом материалов и запасными частями.
- Управление снабжением материалами, запасными частями и внешними подрядчиками.
- Стандартная отчетность и статистика
- Контроль доступа пользователей к системе.

CMMS-система управляет и поддерживает только наряд-заказы. В отдельных системах поддерживаются элементарные бизнес-процессы, однако они обычно жестко зашиты в ядро системы и используются только для управления наряд-заказами [117].

### **3.4 Информационная система планирования технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов**

При работе экскаваторов различных конструктивных форм, из-за недостаточной их надежности в течении службы может возникнуть значительный поток отказов и неисправностей. Для поддержания высокого уровня работоспособности экскаваторов, необходимо чтобы, большая часть

отказов и неисправностей была предупреждена, то есть работоспособность изделия была восстановлена до наступления неисправности или отказа.

На основе информационной оценки, описанной в предыдущих главах, разработана схема информационной системы ТО и Р для карьерных экскаваторов представленная на рисунке 3.

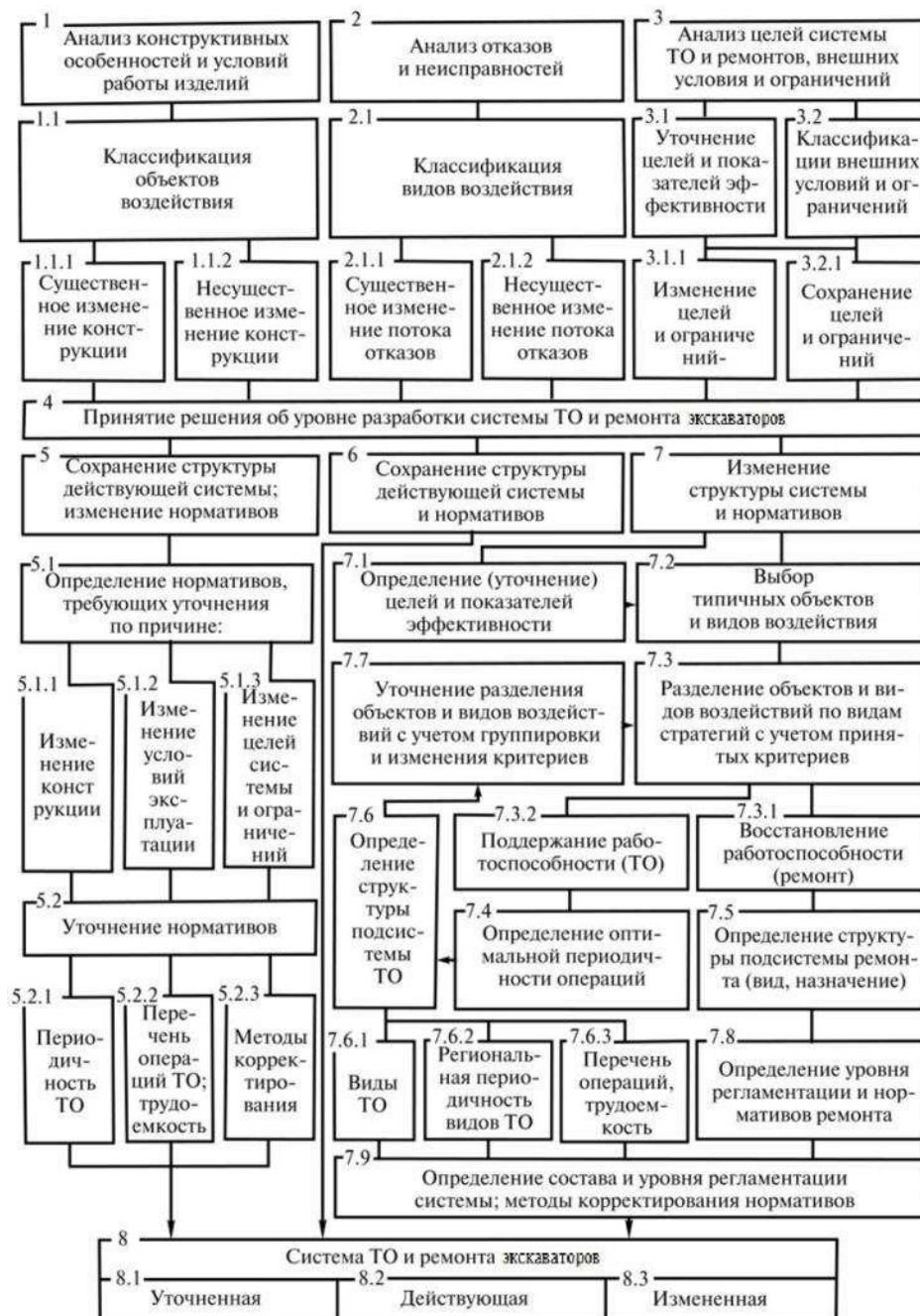


Рисунок 3 - Принципиальная схема разработки и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта машин

Основная цель разработки системы состоит в том, чтобы, учесть особенности эксплуатации экскаваторов, организацию и нормативы ТО и Р. Во вторых дать классификацию отказов и неисправностей, сравнить их характер с имеющимися данными (фоном) для ранее изученных экскаваторов (именно поэтому важно иметь соответствующий банк данных по надежности). В третьих, выбрать типичные объекты и виды воздействий, которые могут внести существенные изменения в систему или ее нормативы.

На основе анализа конструктивных особенностей и условий работ машин (рис 3 блок 1) и совокупности возникающих отказов и неисправностей (блок 2) разрабатываются классификации, соответственно, объектов воздействия (блок 1.1) и видов воздействия. Затем (блок 3) проводится анализ, и при необходимости, корректирование целей системы ТО и Р, которые диктуются в соответствии с программно-целевым методом системами более высокого уровня. Например необходимость акцентирования внимания на эксплуатационную или техническую безопасность, надежность технологического процесса и т.д.

В зависимости от изменения конструкции экскаваторов, условий эксплуатации, характера отказов и неисправностей, а также целей системы и имеющихся ограничений принимается решение (блок 4) об уровне разработки или корректирования системы ТО и Р. При отсутствии таких изменений структура и нормативы системы сохраняются (блок 6). Если эти изменения существенны, но непринципиальны, принимается решение о сохранении структуры, системы ТО и Р и изменении ее нормативов (блок 5). Необходимость в изменении нормативов обычно возникает при текущей модернизации машин, повышении их эксплуатационной надежности, использовании новых конструктивных решений, а также при совершенствовании самой технической эксплуатации экскаваторов или изменении ее условий.

Наконец в случае существенного изменения конструкции, условий эксплуатации, целевых установок системы, внешних ограничений, а также

выявления в результате проведения НИР в области надежности и технической эксплуатации экскаваторов принципиально новых решений по обеспечению работоспособности возможно изменение не только нормативов, но и структуры ТО и Р экскаваторов (блок 7). После выбора типичных объектов и видов воздействий (блок 7.2) и определения целей и показателей эффективности системы (блок 7.1) с использованием рассмотренных ранее методов проводится разделение всей совокупности отказов и неисправностей на профилактируемые (ТО) – стратегия 1 и непрофилактируемые (ремонт) – стратегия 2. Затем по каждой профилактируемой операции (или по группе) определяют тактики выполнения ТО (по наработке 1-1 или по состоянию 1-2), а также оптимальные периодичности (блок 7.4). Далее определяют структуру системы, виды ТО и Р, соответствующие нормативы для них (блоки 7.5, 7.6) и формирует систему ТО и Р в целом (блок 8).

## **4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

### **4.1 Правила безопасности при выемочно-погрузочных работах**

При передвижении экскаватора по горизонтальному участку или на подъем привод ходовой тележки должен находиться сзади, а при спусках с уклона - впереди. Ковш должен быть опорожнен и находиться не выше 1 м от почвы, а стрела должна быть установлена по ходу движения экскаватора.

Перегон экскаватора должен осуществляться по трассе, расположенной вне призм обрушения, с уклоном, не превышающем  $12^\circ$ , и имеющей ширину, достаточную для маневра. Перегон экскаватора должен производиться по сигналам помощника машиниста или специально назначенного лица.

Экскаватор необходимо располагать на уступе на выровненном основании с уклоном не более  $3^\circ$ . Расстояние между откосом уступа или автосамосвалом и контргрузом экскаватора должно быть не менее 1 м.

При погрузке водители автосамосвалов обязаны подчиняться сигналам машиниста экскаватора, значение которых устанавливается руководством организации.

Запрещается во время работы экскаватора пребывание людей (включая и обслуживающий персонал) в зоне действия экскаватора.

Применяющиеся на экскаваторах канаты должны соответствовать паспорту и иметь сертификат завода-изготовителя.

В случае угрозы обрушения или оползания уступа во время работы экскаватора, или при обнаружении отказавших зарядов ВМ, машинист экскаватора обязан прекратить работу, отвести экскаватор в безопасное место и поставить в известность технического руководителя смены.

Кабины экскаваторов (как и других эксплуатируемых механизмов) должны быть утеплены и оборудованы безопасными отопительными приборами.

В нерабочее время экскаватор должен быть отведен из забоя в безопасное место, ковш опущен на землю, кабина заперта, с питающего кабеля снято напряжение.

Запрещается ведение работ без утвержденного паспорта, а также с отступлением от него.

Смазочные и обтирочные материалы должны храниться в закрытых металлических ящиках.

Смазки экскаватора должны производиться в соответствии с эксплуатационной документацией и инструкциями заводов-изготовителей.

#### **4.2 Обеспечение безопасности при эксплуатации электроустановок**

ГОСТ 12.2.007.2-75 (1985).

При разработке месторождений открытым способом к электроустановкам предъявляются требования действующих правил устройства электроустановок; правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок-потребителей; правил пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках; инструкции по безопасной эксплуатации электрооборудования и электросетей на карьерах; инструкции по проектированию и устройству молниезащитных зданий в той части, где их строительство не противоречит настоящим правилам. На карьере в обязательном порядке имеются:

- схема электроснабжения, нанесенная на план горных работ;
- принципиальная однолинейная схема с указанием силовых сетей, электроустановок (трансформаторных подстанций, распределительных устройств и т.п.), а также рода тока, сечения проводов и кабелей, их длины, марки, напряжения и мощности каждой установки, всех мест заземления, расположения защитной и коммутационной аппаратуры, установок тока максимальных реле и номинальных токов плавких вставок предохранителей, а также токов короткого замыкания в наиболее удаленной точке защищаемой



линии.

Происшедшие изменения должны наноситься на схемы не позднее, чем на следующий день.

На каждом пусковом аппарате четкая надпись, указывающая включаемую им установку.

Для защиты людей от поражения электрическим током в электроустановках напряжением до 1000 В должны применяться аппараты (реле-утечки), автоматически отключающие сеть при опасных токах утечки.

### **4.3 Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях**

Оповещение об аварии производится по радиии или телефону работником (лицом), обнаружившим аварию, диспетчеру карьера или другому лицу технического надзора. Диспетчер карьера сообщают об аварии диспетчеру комбината. После вызова пожарной команды (далее ВПК), вспомогательной горноспасательной команды (далее по тексту ВГК), скорой помощи (при необходимости), производится оповещение должностных лиц и учреждений через диспетчера комбината. Список должностных лиц, организаций и учреждений, которые должны незамедлительно извещаться об авариях, представлен в общем разделе плана мероприятий.

Оповещение работающих в карьере об аварии производится звуковым непрерывным сигналом (сиреной) в течение 5-8 минут, работником, обнаружившим аварию или по распоряжению ОРР по ЛА, ближе всех находящимся к месту подачи сигнала. Сирена установлена на осветительной мачте. При этом люди, находящиеся в карьере, обязаны немедленно покинуть карьер и сосредоточиться в районе командного пункта ответственного руководителя работ по ликвидации аварии.

Для спасения людей и оказания первой помощи при авариях, ликвидации аварий и их последствий в среде, требующей применения горноспасательной аппаратуры и специальных защитных средств органов дыхания. Основанием

для проведения горноспасательных работ является договор возмездного оказания услуг по оказанию аварийно-спасательному (горноспасательному) обслуживанию. Дежурство горноспасателей осуществляется круглосуточно по сменам.

Все объекты предприятия оснащены первичными средствами пожаротушения в соответствии с Правилами противопожарного режима в РФ № 390. В здании пожарного депо установлен кран внутреннего пожаротушения, который служит одновременно и для забора воды пожарными автомобилями для тушения возгораний.

Территория склада взрывчатых материалов, служебные и подсобные помещения оснащены первичными средствами пожаротушения в соответствии с Правилами противопожарного режима в РФ № 390.

#### **4.4 Ремонтные работы**

Ремонт технологического оборудования должен производиться в соответствии с графиками обслуживания и ремонта оборудования. Годовые и месячные графики ремонтов утверждает технический руководитель организации.

Ремонтные работы должны производиться на основании наряда-допуска с соблюдением дополнительных мер безопасности, установленных внутренними инструкциями организации.

Ремонт экскаваторов и буровых станков разрешается производить на рабочих площадках уступов, при этом указанные механизмы следует размещать вне зоны возможного обрушения. Площадки должны быть спланированы и иметь подъездные пути.

На все виды ремонтов основного технологического оборудования в соответствии с действующим на предприятии положением должны быть разработаны инструкции (технологические карты, руководства, проекты организации работ). В них указываются необходимые приспособления и

инструменты, определяются порядок и последовательность работ, обеспечивающие безопасность их проведения. При этом порядок и процедуры технического обслуживания и ремонта оборудования устанавливаются на основании руководства (инструкции) по эксплуатации завода изготовителя с учетом местных условий его применения. Рабочие, занятые на ремонте, должны быть ознакомлены с указанными инструкциями, технологическими картами и проектами организации работ под роспись.

Перед началом производства работ должно быть назначено ответственное лицо за их ведение.

При выполнении ремонтных работ подрядной организацией ответственные представители заказчика и подрядчика должны оформить на весь период выполнения работ наряд-допуск, разработать и осуществить конкретные организационно-технические мероприятия, направленные на повышение безопасного ведения ремонтных работ.

Запрещается проведение ремонтных работ в непосредственной близости от открытых движущихся частей механических установок, а также вблизи электрических проводов и токоведущих частей, находящихся под напряжением, при отсутствии их надлежащего ограждения.

При ремонте электрооборудования следует руководствоваться нормами и правилами безопасной эксплуатации электроустановок.

Ремонт и замену частей механизмов допускается производить только после полной остановки машины, снятия давления в гидравлических и пневматических системах, блокировки пусковых аппаратов, приводящих в движение механизмы, на которых производятся ремонтные работы. Допускается при выполнении ремонтных работ подача электроэнергии по специальному проекту организации работ.

Огневые работы (газосварочные, газорезательные и электросварочные) должны производиться с соблюдением требований Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01—93), утвержденных приказом МВД России от 14.12.93 г. № 536, зарегистрированным Минюстом России

27.11.93 г., регистрационный № 445.

Сварочные установки переменного тока должны иметь устройства автоматического отключения напряжения холостого хода или ограничения его до 12 В с выдержкой времени не более 0,5 с.

Ремонты, связанные с изменением несущих металлоконструкций основного технологического оборудования, должны производиться по проекту, согласованному с заводом-изготовителем, с составлением акта выполненных работ.

Ремонты по восстановлению несущих металлоконструкций должны производиться по документации, утвержденной техническим руководителем организации.

Рабочие, выполняющие строповку грузов, должны пройти специальное обучение и иметь удостоверение на право работы стропальщиком.

Работы с применением механизированного инструмента должны производиться в соответствии с инструкциями предприятий изготовителей.

#### **4.5 Требования по борьбе с пылью, вредными газами и радиационной безопасности**

Состав атмосферы объектов открытых горных работ должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных составных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы) с учетом действующих государственных стандартов.

Воздух рабочей зоны должен содержать по объему 20 % кислорода и не более 0,5 % углекислого газа; содержание других вредных газов не должно превышать установленных санитарных норм.

Места отбора проб и их периодичность устанавливаются графиком, утвержденным техническим руководителем организации, но не реже одного раза в квартал и после каждого изменения технологии работ.

Допуск рабочих и специалистов на рабочие места после производства массовых взрывов разрешается после получения ответственным руководителем взрыва сообщения от специализированного профессионального аварийно-спасательного формирования о снижении концентрации ядовитых продуктов взрыва в воздухе до установленных санитарных норм, но не ранее чем через 30 мин после взрыва, рассеивания пылевого облака и полного восстановления видимости, а также осмотра мест (места) взрыва ответственным лицом (согласно распорядку массового взрыва).

Во всех случаях, когда содержание вредных газов или запыленность воздуха на объекте открытых горных работ превышают установленные нормы, должны быть приняты меры по обеспечению безопасных и здоровых условий труда.

Для интенсификации естественного воздухообмена в плохо проветриваемых и застойных зонах объекта открытых горных работ должна быть организована искусственная вентиляция с помощью вентиляционных установок или других средств в соответствии с мероприятиями, утвержденными техническим руководителем организации.

На объектах открытых горных работ с особо трудным пылегазовым режимом должна быть организована пылевентиляционная служба, объекты должны постоянно обслуживаться специализированным профессиональным аварийно-спасательным формированием.

В местах выделения газов и пыли должны быть предусмотрены мероприятия по борьбе с пылью и газами. В случаях, когда применяемые средства не обеспечивают необходимого снижения концентрации вредных примесей, должна осуществляться герметизация кабин экскаваторов, буровых станков, автомобилей и другого оборудования с подачей в них очищенного воздуха и созданием избыточного давления. На рабочих местах, где концентрация пыли превышает установленные предельно допустимые концентрации, обслуживающий персонал должен быть обеспечен индивидуальными средствами защиты органов дыхания.

Для снижения пылеобразования при экскавации горной массы в теплые периоды года необходимо проводить систематическое орошение взорванной горной массы водой.

Для снижения пылеобразования на автомобильных дорогах при положительной температуре воздуха должна проводиться поливка дорог водой с применением при необходимости связующих добавок.

При интенсивном сдувании пыли с территории объекта открытых горных работ необходимо осуществлять меры по предотвращению пылеобразования (связующие растворы, озеленение и др.).

Работа камнерезных машин, буровых станков, перфораторов и электросверл без эффективных средств пылеулавливания или пылеподавления запрещается.

Если работа автомобилей, бульдозеров, тракторов и других машин с двигателями внутреннего сгорания сопровождается образованием концентраций ядовитых примесей выхлопных газов в рабочей зоне, превышающих ПДК, должны применяться каталитические нейтрализаторы выхлопных газов.

Организация должна проводить систематический контроль за содержанием вредных примесей в выхлопных газах.

Для предупреждения случаев загрязнения атмосферы газами при возгорании горючих полезных ископаемых и горной массы, складированной в отвал, необходимо разрабатывать противопожарные мероприятия, утверждаемые техническим руководителем организации, а при возникновении пожаров — принимать срочные меры по их ликвидации.

При возникновении пожара все работы на участках карьера, атмосфера которых загрязнена продуктами горения, должны быть прекращены, за исключением работ, связанных с ликвидацией пожара.

При выделении ядовитых газов из дренируемых вод на территорию объекта открытых горных работ должны осуществляться мероприятия,

сокращающие или полностью устраняющие фильтрацию воды через откосы уступов объекта.

Смотровые колодцы и скважины насосных станций по откачке производственных сточных вод должны быть надежно закрыты.

Спуск рабочих в колодцы для производства ремонтных работ разрешается после выпуска воды, тщательного проветривания и предварительного замера содержания вредных газов в присутствии лица технического надзора.

При обнаружении в колодцах и скважинах вредных газов или при отсутствии достаточного количества кислорода все работы внутри этих колодцев и скважин необходимо выполнять в шланговых противогазах.

При обнаружении на рабочих местах вредных газов в концентрациях, превышающих допустимые величины, работу необходимо приостановить и вывести людей из опасной зоны.

При наличии на объектах открытых горных работ радиационно опасных факторов должен осуществляться комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающий выполнение требований Федерального закона «О радиационной безопасности населения» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 3, ст. 141), действующих правил радиационной безопасности и норм радиационной безопасности (НРБ).

Для установления степени радиоактивной загрязненности необходимо проводить обследования радиационной обстановки в сроки, согласованные с территориальными органами Госгортехнадзора России, не реже одного раза в три года.

Организации, разрабатывающие полезные ископаемые с повышенным радиационным фоном, обязаны осуществлять радиационный контроль. Проверку радиационного фона необходимо проводить на рабочих местах и территории объекта открытых горных работ в соответствии с действующими правилами радиационной безопасности. Результаты замеров радиационного фона фиксируются в специальном журнале.

Целью радиационного контроля является получение информации об индивидуальных и коллективных дозах облучения персонала объекта открытых горных работ и населения близлежащих территорий, а также сведений о всех регламентируемых величинах, характеризующих радиационную обстановку.

Регистрация доз облучения персонала и населения должна проводиться в соответствии с единой государственной системой контроля и учета доз облучения.

Порядок проведения производственного контроля за радиационной безопасностью согласовывается с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Рабочие, поступающие на предприятия с радиационными источниками облучения, обязательно проходят обучение по радиационной безопасности и проверку знаний. Повторное обучение необходимо проводить не реже одного раза в три года.

На объектах открытых горных работ с повышенной радиационной обстановкой горные работы должны проектироваться и вестись с максимально повышенной эффективностью воздухообмена путем рационального расположения вскрывающих траншей, отвалов и сооружений с учетом розы ветров.

При возможных накоплениях радиоактивных примесей в отдельных зонах карьера, превышающих ПДК, следует осуществлять искусственную вентиляцию таких зон в соответствии с действующими правилами радиационной безопасности и нормами радиационной безопасности.

Искусственное проветривание объектов открытых горных работ должно обеспечивать снижение содержания радиоактивных примесей в воздухе до уровня ДК. Вентиляционные установки, подающие воздух для проветривания, следует располагать в зонах с чистым воздухом.

Скорость вентиляционной струи должна быть достаточной для эффективного выноса вредных примесей за пределы загрязненных зон и



составлять не менее 0,6 м/с для восходящих потоков и 0,25 м/с для горизонтальных струй.

При неудовлетворительной радиационной обстановке необходимо для защиты органов дыхания от пыли и радиоактивных аэрозолей обеспечивать работающих в кабинах и на открытом воздухе респираторами.

Горное оборудование перед направлением в ремонт должно проходить дозиметрический контроль. При радиоактивном загрязнении необходимо проводить его дезактивацию. Оборудование подлежит обязательной дезактивации перед сдачей в металлолом.

Оборудование, направляемое в ремонт, должно иметь ту же дозу внешнего гамма-излучения и поверхностное загрязнение согласно НРБ.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения от поверхности оборудования, направляемого в ремонт и сдаваемого в металлолом, не должна превышать 50 мкР/ч.

Дезактивацию технологического оборудования объекта открытых горных работ следует проводить на специальной площадке с твердым покрытием и водостоком в специальную емкость. Сброс смывных вод на земную поверхность запрещается.

Оборудование, не подлежащее очистке до предельно допустимых уровней, следует рассматривать как радиационные отходы.

Перевозку горных пород и полезных ископаемых с повышенным радиационным фоном следует осуществлять специальным транспортом, использование которого для других целей запрещается. Все операции с такими полезными ископаемыми на территории объектов открытых горных работ должны проводиться с применением средств пылеподавления.

Производственные зоны, где сортируются и складываются руды с повышенной радиоактивной загрязненностью, следует ограждать по всему периметру. Входы и проезды в них должны охраняться с установлением запрещающих знаков (знака радиационной опасности и надписей: «Вход (въезд) запрещен»).

Персонал, занятый добычей полезного ископаемого с повышенным радиоактивным фоном, при санитарно-бытовом обслуживании должен быть выделен в отдельный поток и подвергаться радиометрическому контролю чистоты кожных покровов.

Для устранения возможного пылеобразования и разноса радиоактивных аэрозолей с поверхности намывного откоса при эксплуатации гидроотвала его необходимо покрывать чистым грунтом по мере намыва до проектных отметок с толщиной слоя не менее 0,5 м.

Для контроля уровня радиоактивности грунтовых вод должны быть предусмотрены пробоотборные (наблюдательные) скважины по периметру гидроотвала и по направлению потока грунтовых вод. Местоположение и число скважин определяются в зависимости от гидрогеологических условий с таким расчетом, чтобы расстояние между скважинами было не менее 300 м. При этом одна-две скважины должны быть за пределами санитарно-защитной зоны.

Порядок использования отвалов горных пород и слаборадиоактивных твердых отходов с остаточным содержанием урана менее 0,005 % определяется соответствующими нормативными документами.

## 5 СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Календарное планирование инновационных проектов на стадиях проведения НИР имеет своей целью установление взаимосвязанных сроков начала и окончания работ по каждой теме с учётом имеющихся ресурсов. Календарное планирование отдельных конструкторских работ включает определение состава и последовательности этапов этих работ, трудоёмкости, длительности и календарных сроков их выполнения, составление календарных планов-графиков работ по выполнению каждой темы, определение затрат от использования инноваций.

Задачей экономической части дипломной работы является экономическое обоснование организации планирования системы технического обслуживания и ремонта. Большая сложность и комплексность проведения исследовательских работ, необходимость параллельного выполнения работ, зависимость начала многих работ от результатов других, значительно осложняют планирование работы.

Наиболее удобными в этих условиях являются системы сетевого планирования и управления (СПУ), основанные на применении сетевых моделей планируемых процессов, допускающих использование современной вычислительной техники, позволяющей быстро определить последствия различных вариантов управляющих воздействий и находить наилучшие из них.

Перечень работ и событий приведены в таблице 16.

Таблица 4 – Перечень работ

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работы, дн
		1	Получение задания	1
1-2	Подбор литературы	2	Литература подобрана	1
2-3	Изучение и анализ литературы	3	Литература подобрана и проанализирована	2

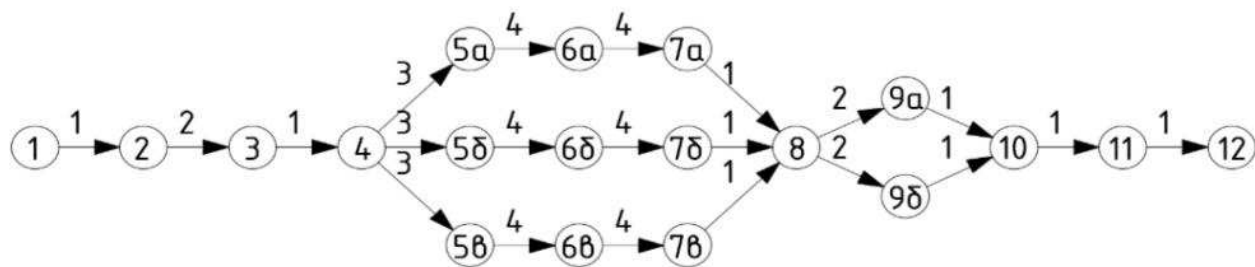
Продолжение таблицы 4

3-4	Составление плана работы	4	План работы составлен	1
4-5а	Анализ надежности экскаваторов	5а	Проанализирована надежность экскаваторов	3
4-5б	Анализ причинно-следственного комплекса надежности экскаваторов	5б	Проанализирован причинно-следственный комплекс отказов экскаваторов	3
4-5в	Анализ слабоформализуемых факторов влияющих на надежность экскаваторов	5в	Проанализированы слабоформализуемые факторы, влияющие на надежность	3
5а-6а	Анализ неформализуемых факторов влияющих на надежность экскаваторов	6а	Проанализированы неформализуемые факторы влияющие на надежность экскаваторов	4
5б-6б	Подготовка и обработка экспертной инф. о значимости факторов влияния на надежность экскаваторов	6б	Экспертная информация подготовлена и обработана	4
5в-6в	Анализ применяемых стратегий эксп.карьерных экскаваторов	6в	Проанализированы применяемые стратегии эксплуатации	4
6а-7а	Анализ методов автоматизации ремонтов экскаваторов	7а	Проанализированы методы автоматизации ремонтов	4
6б-7б	Анализ взаимодействия модулей информационной системы	7б	Модули информационной системы проанализированы	4

Продолжение таблицы 4

6в-7в	Разработка схемы причинно-следственного комплекса надежности экскаваторов	7в	Схема разработана	4
7-8	Компоновка разделов дипломной работы	8	Все разделы скомпонованы	1
8-9а	Составление раздела безопасности жизнедеятельности и дипломной работы	9а	Раздел безопасности жизнедеятельности составлен	2
8-9б	Составление экономического раздела дипломной работы	9б	Экономический раздел составлен	2
9-10	Составление пояснительной записки дипломной работы	10	Пояснительная записка составлена	1
10-11	Составление структуры доклада и презентации	11	Доклад и презентация сделаны	1
11-12	Защита диплома	12	Диплом защищен	1

На основе исходных данных из таблицы 6 строим сетевой график.



$T_{\text{оп}} = 21 \text{ дн.}$

Рисунок 4 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Таблица 5 – Расчет параметров сетевого графика табличным методом

Предшествующее событие	Последующее событие	Продолжительность работы	Раннее начало работ	Раннее окончание работ	Позднее начало работ	Позднее окончание работ	Полный резерв времени работ	Частный резерв времени работ
$i$	$j$	$t_{ij}$	$t_{ij}^{\text{PH}}$	$t_{ij}^{\text{PO}}$	$t_{ij}^{\text{ПН}}$	$t_{ij}^{\text{ПО}}$	$R_{ij}^{\text{П}}$	$\text{Ч}_{ij}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	0	1	0	1	0	0
2	3	2	1	3	1	3	0	0
3	4	1	3	4	3	4	0	0
4	5a	3	4	4	4	4	0	0
4	5б	3	4	4	4	4	0	0
4	5в	3	4	7	4	7	0	0
5a	6a	4	7	7	7	7	0	0
5б	6б	4	7	7	7	7	0	0
5в	6в	4	7	11	7	11	0	0
6a	7a	4	11	11	11	11	0	0
6б	7б	4	11	11	11	11	0	0
6в	7в	4	11	15	11	15	0	0
7a	8	1	15	15	15	15	0	0
7б	8	1	15	15	15	15	0	0
7в	8	1	15	16	15	16	0	0
8	9a	2	16	16	16	16	0	0
8	9б	2	16	18	16	18	0	0
9a	10	1	18	18	18	18	0	0
9б	10	1	18	19	18	19	0	0
10	11	1	19	20	19	20	0	0
11	12	1	20	21	20	21	0	0

В таблице 5 приведен расчет параметров сетевого графика табличным методом, где:

$i$  – предшествующее событие;

$j$  – последующее событие;

$t_{ij}$  – продолжительность работы;

$t_{ij}^{PH}$  – раннее начало работ;

$t_{ij}^{PO}$  – раннее окончание работ;

$t_{ij}^{ПН}$  – позднее начало работ;

$t_{ij}^{ПО}$  – позднее окончание работ;

$R_{ij}^{\Pi}$  – полный резерв времени работ;

$Ч_{ij}$  – частный резерв времени работ;

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$R_{ij}^{\Pi} = t_{ij}^{ПО} - t_{ij}^{PH} \quad (1)$$

$$Ч_{ij} = t_{jh}^{PH} - t_{ij}^{PH} \quad (2)$$

где  $t_{jh}^{PH}$  – раннее начало последующей работы.

Выводы: сетевой график изготовления стенда (рис.1) имеет пути

$L_1: 1 - 2 - 3 - 4 - 5a - 6a - 7a - 8 - 9a - 10 - 11 - 12; t_{L1} = 21$  дн.

$L_2: 1 - 2 - 3 - 4 - 5б - 6б - 7б - 8 - 9a - 10 - 11 - 12; t_{L2} = 21$  дн.

$L_3: 1 - 2 - 3 - 4 - 5в - 6в - 7в - 8 - 9б - 10 - 11 - 12; t_{L3} = 21$  дн.

Критический путь равен 21 дней и не имеет резервов времени.

Для расчета резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий.

Таблица 6 – Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий

Код событий	$t_{pi}$	$t_{ai}$	$R_i$
1	0	0	0
2	1	1	0
3	3	3	0
4	4	4	0
5а	7	7	0
5б	7	7	0
5в	7	7	0
6а	11	11	0
6б	11	11	0
6в	11	11	0
7а	15	15	0
7б	15	15	0
7в	15	15	0
8	16	16	0
9а	18	18	0
9б	18	18	0
10	19	19	0
11	20	20	0
12	21	21	0

Построение сетевого графика выполнения ВКР позволило дипломанту организовать ход работы ВКР в установленные сроки учебного процесса. В процессе работы по разделам ВКР были рассмотрены факторы надежности эксплуатации экскаваторов.

Дана классификация факторов по следующим группам: управляемые, слабоуправляемые и неуправляемые.

Во второй главе проведено детальное изучение слабоуправляемых факторов на основе результатов анкетирования. Определено влияние слабоуправляемых факторов на надежность экскаватора.

Для эффективной организации планирования ремонта экскаваторов предлагается изучить раздел 3. Где представлено рассмотрение организации мониторинга, сбора, хранения и обмена информации слабоуправляемых и неуправляемых факторов.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дипломной работе проведен анализ факторов влияющих на надежность карьерных экскаваторов. Дано условное разделение факторов на формализуемые, слабоформализуемые и неформализуемые.

На основе данных экспертных оценок (анкетирования) факторов, показан учет неформализуемых факторов. Показан результат обработки анкет и их значимость. Анкеты могут быть тиражированы и использованы для систематических опросных исследований.

Также для снижения влияния слабоформализуемых факторов на надежность экскаваторов, предложена схема разработки системы технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов.

Составлен сетевой график, который показывает, что работа может быть выполнена в установленные сроки.

В 5 главе указан необходимый перечень мер технической безопасности, при работе с экскаватором.

В данной работе показана попытка учета факторов влияния, которая является перспективной, для данного вида горного оборудования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воячек А.И., Сенькин В.В. Основы проектирования и конструирования машин.: учеб. пос. – Пенза: Изд-во Пенз. Гос. ун-та, 2008. – 228 с.
2. Домбровский Н.Г. Экскаваторы. Изд-во «Машиностроение», 1969, 318с.
3. ГОСТ Р.15.201 – 2000. Продукция производственно-технического назначения. – Москва: Изд-во стандартов, 2001.
4. Москвичев В.В. Основы конструкционной прочности технических систем и инженерных сооружений: В 3 ч. – Новосибирск: Наука, 2002. – Ч.1: Постановка задач и анализ предельных состояний. – 106 с.
5. Махутов Н.А., Москвичев В.В., Фомин В.М. Создание техники северного исполнения – Проблема социально - экономического развития восточных регионов России // Вестник Российской Академии Наук 2015. №2. С 155-163.
6. Маковеев А.В. Основные металлоконструкции мощных карьерных экскаваторов Уралмашзавода.// Горное оборудование и электромеханика. 2013 №8.
7. Буянкин П. В. Моделирование динамических нагрузок напорно-поворотное устройство экскаватора-мехлопаты / П. В. Буянкин, Е.К. Соколова // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2013. – С. 38-41.
8. Васьков В.С., Таугер В.М. Оценка методов расчета нагрузок на рабочее оборудование карьерных экскаваторов. // УДК 622.271.4
9. Богданов А.П. [и др.]. Дефекты металлоконструкций карьерных экскаваторов. // Universum: Технические науки. Электрон. Научн. Журн. 2015. №11 (22).

10. Тамашевский А.А [и др.]. Дефекты металлоконструкций карьерных экскаваторов. // Технология колесных и гусеничных машин.2015. № 6(22).
11. Гоберман Л.А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин: Учебник для техникумов. -М.: Машиностроение, 1988.- 464 с.
12. И.И Родин., В.П. Пономарев. Проектирование одноковшовых строительных экскаваторов. Учебное пособие. Красноярск,1973.
13. Лоцманенко В.В., Кочегаров Б.Е. Проектирование и конструирование (основы): Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2004 - 96 с.
14. Селевцова И.В. Влияние технологии изготовления заготовок деталей на качество изделий в машиностроении. // УДК 621.81-021.465
15. Квагинидзе В.С., Н.Н Чупейкина. Конструктивно-технологические мероприятия по повышению работоспособности сварных соединений металлоконструкций горно-транспортного оборудования. Статья.
16. Макаров А.П. Развитие усталостных трещин в металлоконструкциях экскаваторов. // УДК 621.117.18
17. Михайлов В.Е. Слепцов О.И. Эффективность методов повышения работоспособности несущих узлов горнотранспортной техники в условиях низких температур. // УДК 539.56:621.791.7
18. Кох П.И. Одноковшовые экскаваторы. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт. – Л. Ленинградская типография Госгортехиздата, 1963, 435 с.
19. Кох П.И. Ремонт экскаваторов. М., Недра, 1967, 290 с.
20. Кох П.И. Надежность механического оборудования карьеров. М., Недра, 1978, 189 с.
21. Щадов М.И., Подэрни Р.Ю. Справочник механика открытых горных работ. Экскавационно-транспортные машины циклического действия. – М: Недра, 1989, 366 с.

22. Шибанов Д.А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ 18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.06: защита 24.06.2015 / Шибанов Даниил Александрович; – Санкт-Петербург, 2015.– 203 с.

23. Шибанов, Д. А. Влияние факторов эксплуатации карьерных экскаваторов на их техническое состояние / Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов, И. Е. Звонарев // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов 9-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т. 1 / под общ. ред. А. Б. Копылова, И. А. Басалай. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 430 - 433.

24. Репин Н.Я., Репин Л.Н. Выемочно-погрузочные работы: Учеб. пособие. – 2-е изд., стер – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 267 с.

25. Иванова П.В. [и др.]. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов. //УДК 622.271.022.

26. Иванова П.В. Выявление закономерностей изменения наработки карьерного электрического экскаватора большой единичной мощности с учетом воздействия факторов природно-техногенного характера. Диссертация. 2018.

27. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 1. С. 37–46. И.В. Баранникова, И. Мажибрада. Прогнозирование отказов одноковшовых экскаваторов на основе методов искусственного интеллекта.

28. Кудреватых А.В. Диагностика фактического состояния редукторов экскаваторно - автомобильных комплексов. / А.В Кудреватых., Н.В. Кудреватых; КузГТУ.-Кемерово, 2018.-183 с.

29. Экскаватор ЭКГ-5А. Механическая часть. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.1085.00.02ТО. 1987.

30. Экскаваторы ЭКГ -8И, ЭКГ- 6,3УС, ЭКГ- 4У. Инструкция по эксплуатации.3519.00.00.000.ИЭ. Ижорский завод имени А.А Жданова. 1980г.

31. Экскаваторы карьерные гусеничные типа ЭКГ-10, ЭКГ-8УС и ЭКГ-5У. Руководство по эксплуатации 3536.00.00.000РЭ. ОАО «Ижорские заводы».
32. Зайков В.И., Берлявский ГП Эксплуатация горных машин и оборудования: Учебник для вузов. – 4е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006.- 257с.
33. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ: Учебное пособие. В 2 т. Т. 2.- 4-е изд., стер.-М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 332 с.
34. Касьянов П.А. Исследование влияния кусковатости взорванной горной массы на режимы нагружения подъемных механизмов карьерных экскаваторов: дис. канд. техн.наук. – Свердловск, 1970.
35. Махно Д.Е. Эксплуатация и ремонт механических лопат в условиях Севера: Справочное пособ. / Д.Е. Махно, А.И. Шадрин. – М.: Недра, 1992. – 127 с.
36. Шадрин А.И. Оценка живучести элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов в условиях холодного климата / А.И. Шадрин, В.А. Храмовских // Горные машины и автоматика. – 2003. – №10. – С. 34-3
37. М. Ю. Насонов. Влияние внешней среды на долговечность металлоконструкций экскаваторов. Научно-аналитический и производственный журнал горное оборудование и электромеханика. №2. 2009. С 17-20 с.
38. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб. и доп.-М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007.- 680 с.
39. Подэрни Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ: Учебное пособие. В 2 т. Т. 1.- 4-е изд., стер.-М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 422 с.
40. В.А. Голубев., А.Е. Троп. Надежность горного оборудования и эффективность его использования. М., «Недра», 1974, 80 с.

41. Кубачек В.Р. Основы надежности горных машин / В.Р. Кубачек, Л.Г. Куклин. – Свердловск: СГИ, 1982. – 78с.
42. Русихин В.И. Эксплуатация и ремонт механического оборудования карьеров. Учебник для вузов / В.И. Русихин. – М.: Недра, 1982. – 214 с.
43. Насонов М.Ю. Оценка влияния крупнокусковой горной массы на нагруженность одноковшовых экскаваторов. Научно- аналитический и производственный журнал горное оборудование и электромеханика. №2. 2009. 20 с.
44. Квагинидзе В.С. Ремонтная технологичность металлоконструкций карьерных механических лопат на угольных разрезах Севера / В.С. Квагинидзе. – 2-е изд., стер. – М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2007. – 224 с. (Освоение северных территорий).
45. Барон Л.И. Коэффициенты крепости горных пород. Изд-во «Наука», 1972, 176 с.
46. Насонов М.Ю. Оценка влияния крупнокусковой горной массы на нагруженность одноковшовых экскаваторов.// УДК 621.879.0.32.004.69(035).2009.
47. Шарипов Р.Х. К расчету нагрузок действующих на металлоконструкцию экскаватора ЭКГ-5.//УДК 621.879. 2010.
48. Касьянов П.А. Оценка кусковатости экскавируемой горной массы/П.А. Касьянов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2012. – №3. – С.30-32.
49. Исайченков А.Б. Оптимизация сопряженно выполняемых технологических процессов вскрышных работ при применении современных экскаваторно-автомобильных комплексов. Автореферат.
50. Сайтов В.И. Влияние грансостава забоя на количество отказов механизма напора экскаватора циклического действия / В.И. Сайтов, Л.И. Андреева, Т.И. Красникова // Современные проблемы науки и образования

[Электронный ресурс] – 2012 – №2 URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?Id=5859> (дата обращения: 05.09.2019)

51. Насонов М.Ю. Оценка роста трещин в металлоконструкциях экскаваторов при ведении взрывных работ на разрезах Кузбасса.//УДК 622.839.45:622.235.2009.

52. Буянкин П.В. Обеспечение устойчивости поворотных платформ экскаваторов мехлопат. Диссертация. Кемерово.2015.

53. Лобур И.А. [и др.]. Об эксплуатационной надежности электромеханических систем карьерных гусеничных экскаваторов. 3 Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: Теория и практика» 13-15 декабря 2015.

54. Синяков А.А. Совершенствование системы технического обслуживания карьерных экскаваторов типа механическая лопата в условиях северных регионов России. Автореферат. Люберцы. 2005.

55. Апросимова Е.П. О проблеме безопасной эксплуатации горных машин в условиях Крайнего Севера. Стр 182-185.

56. Умут Уркун. Обеспечение производительности в условиях холодного климата / Умут Уркун // Горная промышленность. – 2014. – №6 (118). – С. 62-64.

57. Квагинидзе В.С. Экскаваторы на карьерах. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГГУ. — 2009. —409 с.

58. Махно Д.Е. Надежность карьерных экскаваторов и станков шарошечного бурения в условиях Севера / Д.Е. Махно, А.И. Шадрин. – М.: Недра, 1976. -167с.

59. Махно Д.Е. Хладноломкость и хладостойкость металлоконструкций горных машин в условиях Севера / Д.Е. Махно [и др.]. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 232 с.

60. Кох. П.И. Надежность и долговечность одноковшовых экскаваторов. Издательство «Машиностроение». Москва. 1966.

61. Махно Д.Е.[ и др.]. Проблемы эксплуатации механического оборудования в регионах холодного климата. Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и электромеханика.9/2008. С 23-25.
62. Махно Д.Е.[и др.]. Проблема хладостойкости конструкций при эксплуатации карьерных экскаваторов в регионах холодного климата. Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и электромеханика.9/2008. С 25-28.
63. Шадрин А.И., Орхон Л. Эксплуатационная надежность экскаваторов угольного разреза «Баганурский». Вестник ИрГТУ №8(79). 2013. С 37-40
64. Лхамжав. О. Обоснование регламента технического обслуживания и ремонта ротационных узлов шагающих экскаваторов по вибрационным признакам. Автореферат. Иркутск. 2013.
65. Чооду О.А., Монгуш Э.С. Влияние климатических факторов на эксплуатационные показатели дорожно-строительных машин. Вестник технические и физико-математические науки. 2013/3.
66. Болотнев А.Ю. [и др.]. Исследование распределения напряжений в рабочих узлах карьерного экскаватора ЭКГ 12,5. Вестник ИрГТУ №12(59).2011. С 92-95.
67. Коновалов Н.Н. Анализ конструктивно-технологических особенностей и условий эксплуатации металлических конструкций экскаваторов при разработке твердых месторождений полезных ископаемых. Журнал Наука и техника №2. 2009. С 20-22.
68. Авдеев А.Н., Сосоновский Л.И. Оценка работоспособности оборудования карьерных экскаваторов в экстремальных условиях эксплуатации. Вестник ИрГТУ №10(93). 2014.с 23-26.
69. Махно Д.Е. Закономерности и пути снижения вероятности хрупких разрушений конструкций при эксплуатации оборудования в экстремальных



условиях. Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и электромеханика» 3/2012. С 2-5.

70. Кольга А.Д. Обоснование рациональных режимов эксплуатации выемочно-погрузочных машин / А.Д. Кольга, Р.Х. Шарипов // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2010. – С. 181–184.

71. Кольга А.Д. Влияние изменения скорости подъема ковша на надежность рукояти карьерных экскаваторов / А.Д. Кольга, Р.Х. Шарипов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ», 2010. – С. 370–374.

72. Великанов В.С. Определение производительности одноковшового гусеничного экскаватора с учетом профессиональных навыков машиниста / В.С. Великанов, В.В. Олизаренко // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – С. 85-91.

73. Великанов В.С. Исследование связи между коэффициентом управления и квалификацией машиниста экскаватора / В.С. Великанов, С.С. Великанова // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. науч. тр. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГГУ», 2009. – С. 24-28.

74. Великанов В.С. Повышение эффективности эксплуатации карьерных гусеничных экскаваторов с оборудованием «Прямая механическая лопата». Автореферат. Екатеринбург, 2009.

75. Иванов С.Л. Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования. Записки Горного института, 2016. Т.221. С 692-700.

76. Кудреватых А. В. Анализ причин аварийных простоев и поиск путей решения задачи по повышению надежности работы экскаваторного парка в ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь»» / А.В. Кудреватых, А.Г. Жаворонков. – Образование, наука, инновации: Материалы I региональной

научно-практической конференции, 28 апреля 2010 г. – г. Междуреченск. – С. 75-80.

77. Махно Д.Е., Зельцер П.Я. К методике оценки уровня квалификации машиниста экскаватора // Вестник ИрГТУ №12 (59), 2011. С 105-107.

78. Великанов В.С., Олизаренко В.В. К вопросу ранжирования профессиональных навыков машиниста карьерных экскаваторов // УДК 658.386:621.879

79. Абдрахманов А.А. [и др.]. Квалификация персонала как инструмент в повышении эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов // УДК 331.361:[621.879+331.103.1]

80. Хажиев В.А. Обоснование рациональной производительности экскаваторов-мехлопат в различных условиях эксплуатации на угледобывающих предприятиях. Автореферат. Екатеринбург, 2010.

81. Великанов В.С. Научные основы системы снижения рисков отказов при управлении карьерным экскаватором. Диссертация. Екатеринбург, 2020.

82. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗ-КАРТЭКС / Шибанов Д.А., Шишлянников Д.И., Иванова П.В., Иванов С.Л. // Горное оборудование и электромеханика, 2015. - № 9. - С. 3-9.

83. Шарипов Р.Х. Изучение влияния скорости подъема на долговечность рукояти экскаваторов с зубчато-реечным напором (на примере ЭКГ-5А). Автореферат. Екатеринбург, 2011.

84. Выбор рациональной системы организации технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов для заданных горнотехнических условий / П.В. Иванова, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин, Д.А. Шибанов // Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. Т. II / Под ред. В.В.Максарова – СПб: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – С. 94-98.

85. Иванова П.В. Алгоритм выбора рациональной системы организации ТО и Р карьерных экскаваторов для заданных условий эксплуатации / П.В. Иванова, С.Л. Иванов, С.Ю. Кувшинкин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 12-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – С. 354-357.

86. Paterson L.B., Özdoğan M. Performance of the Bigger, Faster and Smarter New Generation Electric Mining Shovels / L.B. Paterson, M. Özdoğan. // 17 international Mining Congress and Exhibition of Turkey December 2012. – P. 237-242.

87. Максименко А.Н., Заровчатская Е.В., Масловская С.В. Определение основных выходных параметров машин на этапе эксплуатации их жизненного цикла.

88. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок. Экономика, Статистика и Информатика. №1, 2015. С 183-187.

89. Тужиков Е.Н., Пушкарев А.Г. Применение метода экспертных оценок при оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления в области обеспечения первичных мер пожарной безопасности на территории муниципального образования. Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург. С 99-101.

90. Анохин А.Н. Методы экспертных оценок. Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ, 1996. – 148 с.

91. Райхман Э.П., Азгальдов Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров. М., «Экономика», 1974. 151 с.

92. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч./ А.И. Орлов.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.-2009. Ч.2 Экспертные оценки. – 2011. - 486 с.

93. Гуцыкова С.В. Метод экспертных оценок. Теория и практика / С.В. Гуцыкова – «Когито-центр», 2011- (Методы психологии).

94. Экспертные оценки при разработке решений. Метод экспертных оценок.
95. Консон А.С. Экономика ремонта машин. Изд-во «Машиностроение», 1970. 216 с.
96. Шибанов Д.А. Перспективы совершенствования системы технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС ИМЕНИ П.Г. Коробкова». Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. №8. С. 128-135.
97. А.А. Хорешок., А.В. Кудреватых., В.В. Кузнецов. Характеристика методов технического обслуживания горно-транспортного оборудования. С.48-61, 2011.
98. Единая система планово предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. Изд-е. 6-е. М., «Машиностроение», 1967, 592 с.
99. Борисов Ю.С. Организация ремонта и технического обслуживания. М., «Машиностроение», 1978. 360 с.
100. Тункель Н.Р. [и др.]. Нормативы расчета в проектах межремонтных сроков, продолжительности и трудоемкости ремонтов и обслуживания основного оборудования шахт и разрезов. Государственный институт Гипрошахт, Ленинград, 1986.
101. Курбатова О.А., Павлюченко В.М. Монтаж ремонт горных машин и электрооборудования: Учеб. пособие – Владивосток: Изд-во ДВГТУ. - 2004. – 286 с.
102. Варнаков Д.В., Варнаков В.В., Дежаткин М.Е. Оптимизация системы технического сервиса путем внедрения обслуживания по фактическому состоянию машин. Вестник УГСХА. С. 168-172.// УДК 631.354.
103. Асонов С.А. [и др.]. Информационно-диагностические средства объективного контроля как инструмент повышения эффективности

эксплуатации добычных горных машин. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. №14.

104. Дорошев Ю.С. Повышение технологической надежности карьерных экскаваторов: монография/ Ю.С. Дорошев, Нестругин С.В. –Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009.-194 с.

105. Досайкин В.М. [и др.]. Выбор и обоснование методов диагностирования одноковшовых карьерных экскаваторов. Статья, 2015.

106. Юрченко В.В. [и др.]. Системы обеспечения работоспособности карьерных экскаваторов. Научно практические исследования, 5-2 (28), 2020.// УДК 338.

107. Ганин А.Р. Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗКАРТЭКС»/ А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Горное дело – 2014. – №1(2). – С. 40-47.

108. Открытое Акционерное Общество Рудоавтоматика [Электронный ресурс]: Информационно-диагностическая система, - Режим доступа: <http://www.rudoavtomatika.ru/node/27/>.

109. Силовые машины [Электронный ресурс]: Комплектный электропривод переменного тока экскаватора ЭКГ-32, - Режим доступа: [http://www.power-m.ru/products/EP\\_AC/ep\\_ac15.aspx/](http://www.power-m.ru/products/EP_AC/ep_ac15.aspx/).

110. С.В. Лобков. [и др.]. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов. РД 15-14-2008. 2008.

111. Дрыгин М.Ю., Курышкин Н.П. Диагностика состояния тяжелой горной техники при планово-предупредительных ремонтах. Динамика систем, механизмов машин, 2017. Том 5, №2.

112. ГОСТ Р53006-2008. Оценка ресурсов потенциально опасных объектов на основе экспресс методов. М.: Стандартинформ, 2009.

113. Тарасов В.Г. Реализация локальной системы автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта оборудования контроля и автоматики. Вестник СибГАУ. №3 (49). 2013.

114. Кизим А.В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования. Доклады ТУСУРа, №2 (20), 2009. С 131-135.

115. Акланов Ф.А. [и др.]. Автоматизация технического обслуживания и ремонта оборудования на производственных предприятиях. Решетневские чтения. Математические методы моделирования, управления и анализа данных. 2009. С 11-13.

116. Измайлов М.К. Сравнительный анализ современных ЕАМ-систем, используемых в Российской зарубежной практике. Online scientific journal BENEFICIUM. 2020. 2(35). С 35-42.

117. Доросинский Л.Г., Зверева О.М. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Ульяновск: Зебра, 2016. – 243 с.

## **Приложение А**

### **Изъятие**

## **Изъятие**



## Изъятие

## **Приложение Б**

### **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Приложение В**

### **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Приложение Г**

### **Изъятие**



## **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Приложение Д**

### **Изъятие**

## **Изъятие**

## **Изъятие**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологий

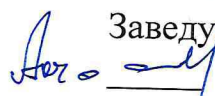
институт

«Горные машины и комплексы»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



А.С. Морин

подпись инициалы, фамилия

« 29 » 01 2021 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**21.05.04 «Горное дело»**

(специальность)

**21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»**

(специализация)

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И  
РЕМОНТА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК И  
МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИИ**

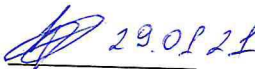
тема

Руководитель

 29.01.21  
подпись, дата

С.В. Доронин  
инициалы, фамилия


Выпускник

 29.01.21  
подпись, дата

Д.А. Завадич  
инициалы, фамилия

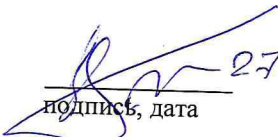
Консультанты:

Экономическая часть

 20.01.21.  
подпись, дата

Р.Р. Бурменко  
инициалы, фамилия

Безопасность  
жизнедеятельности

 27.01.21  
подпись, дата

А.В. Галайко  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 29.01.21  
подпись, дата

С.В. Доронин  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021