

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности  
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Системы управления производственной, промышленной и экологической безопасностью  
(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Техническое диагностирование и освидетельствование технических устройств  
на опасном производственном объекте. Практикоприменение. Рекомендации

Обучающийся

С.С. Гоголь

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

доктор с.-х. наук, доцент, Н.В. Шелепина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

канд. экон. наук, доцент, Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Оглавление

Введение.....	3
Термины и определения .....	7
Перечень сокращений и обозначений.....	8
Глава 1 Анализ аварий и отказов технических устройств на опасном производственном объекте.....	9
1.1 Особенности эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах. Деградационные процессы при эксплуатации технических устройств.....	9
1.2 Анализ аварий и отказов технических устройств на опасном производственном объекте .....	20
Глава 2 Организация и проведение технического диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасном производственном объекте.....	31
2.1 Классификация дефектов. Влияние дефектов на работоспособность оборудования.....	31
2.2 Неразрушающие методы контроля .....	35
Глава 3 Система технического диагностирования технических устройств на опасном производственном объекте .....	49
3.1 Этапы технического диагностирования и освидетельствования технических устройств. Прогнозирование остаточного ресурса технических устройств .....	49
3.2 Анализ и оценка эффективности диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасном производственном объекте .....	71
Заключение .....	86
Список используемых источников.....	88
Приложение А Анализ видов и последствий отказов подъемных сооружений АО «Чукотской горно-геологической компании» .....	95

## Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования заключается в необходимости обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах. Имеющиеся проблемы с обеспечением промышленной безопасности обусловлены пренебрежением требованиями норм и правил и экономией средств. Обеспечение безопасности людей на опасных производственных объектах является особенно важным, так как аварии на таких объектах могут сопровождаться большими человеческими жертвами.

Специфические условия горных предприятий, обусловленные особенностями технологического процесса добычи полезных ископаемых, диктуют повышенные требования к техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств. В этих условиях перспективной формой поддержания работоспособного состояния технических устройств является определение их фактического состояния, своевременное выявление дефектов и прогнозирование остаточного ресурса.

Совершенствование методов диагностики текущего состояния технических устройств является важным фактором оптимизации производственных процессов, снижения финансовой нагрузки на поддержание их работоспособного состояния и, как следствие, повышения уровня безопасности на рабочих местах.

Объект исследования – технические устройства, применяемые на опасных производственных объектах.

Предмет исследования – существующая система технического диагностирования и освидетельствования технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах компании АО «Чукотская горно-геологическая компания», способы и методы выявления дефектов технических устройств.

Цель исследования – совершенствование существующей системы

технического диагностирования и освидетельствования технических устройств, поиск способов повышения их достоверности, качества и эффективности.

Гипотеза исследования состоит в том, что организационные мероприятия по поддержанию работоспособного состояния технических устройств и применяемые методы их технического диагностирования и освидетельствования несовершенны и могут быть оптимизированы.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности эксплуатации и деграционные процессы технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте;
- провести анализ аварий и отказов технических устройств, выявить наиболее значимые, разработать рекомендации по их предотвращению;
- провести анализ дефектов и способов их выявления различными методами неразрушающего контроля с целью повышения качества технического диагностирования и освидетельствования технических устройств;
- выявить слабые места в существующей системе технического диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасных производственных объектах организации АО «Чукотская горно-геологическая компания»;
- усовершенствовать существующую систему технического диагностирования и освидетельствования технических устройств в организации с целью повышения качества и эффективности проведения работ;
- обосновать выводы по результатам проведенного исследования.

Методы исследования: анализ влияния дефектов на работоспособность технических устройств и промышленную безопасность при их эксплуатации;

анализ условий эксплуатации технических устройств; наблюдение за процессом эксплуатации технических устройств на опасном производственном объекте; наблюдение за изменением технического состояния технических устройств в процессе эксплуатации; эксперимент по применению нового метода измерения планово-высотного положения крановых путей.

Научная новизна исследования заключается в совершенствовании процессов технического диагностирования и освидетельствования на опасных производственных объектах АО «Чукотская горно-геологическая компания» и предложении нового метода проведения измерений планово-высотного положения крановых путей мостовых кранов.

Практическая значимость исследования заключается в повышении эффективности проведения работ по техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств на опасных производственных объектах и улучшению промышленной безопасности при проведении работ за счет сокращения привлекаемого к проведению работ персонала, исключению работ на высоте, сокращению годовых затрат времени на технологические операции, экономии затрат на оплату труда, снижению коэффициентов частоты и тяжести травматизма.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в анализе действующей системы технического диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасных производственных объектах АО «Чукотская горно-геологическая компания», выявлении слабых мест в действующей системе с целью ее дальнейшего совершенствования.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Ее результаты докладывались и обсуждались на Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations» (Пенза, 2022), были представлены в научной работе, занявшей первое место в XX Международном научно-исследовательском конкурсе «Студент года 2022», в секции «Технические науки» (Пенза, 2022),

и были внедрены в практику работы на опасных производственных объектах АО «Чукотской горно-геологической компании».

На защиту выносятся:

- организационные мероприятия, направленные на повышение качества и достоверности технического диагностирования и освидетельствования технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах организации АО «Чукотская горно-геологическая компания»;
- новый метод проведения измерений планово-высотного положения крановых путей мостовых кранов с применением специального приспособления для проведения измерений.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 22 рисунка, 13 таблиц, список использованной литературы (53 источника), 1 приложение. Основной текст работы изложен на 94 страницах.

## Термины и определения

Главная вентиляторная установка – вентиляционный комплекс, предназначенный для обеспечения подземных горных выработок притоком свежего воздуха и обеспечения требуемой рудничной атмосферы [24].

Критический дефект – дефект, приводящий к невозможности использовать техническое устройство по назначению [42].

Нормативная документация – правила, руководящие документы, стандарты, технические условия, инструкции, руководства на ремонт, монтаж, наладку, техническое диагностирование, освидетельствование и эксплуатацию [22].

Отказ – событие, приводящее к нарушению работоспособного состояния технического устройства [25].

Подъемное сооружение – комплекс механизмов, предназначенных для осуществления операций по подъему и перемещению грузов и/или людей в пределах зоны обслуживания, ограниченной предельными значениями рабочих движений [32].

Предельное состояние – состояние технического устройства, при котором его дальнейшая эксплуатация невозможна, восстановление работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно [25].

Ресурс назначенный – суммарная наработка технического устройства, при достижении которой его эксплуатация должна быть прекращена независимо от технического состояния [36].

Ресурс остаточный – наработка технического устройства от момента контроля его технического состояния, до момента перехода в предельное состояние [25].

## Перечень сокращений и обозначений

ПС – подъемное сооружение.

ОПО – опасный производственный объект.

ВВО – вероятность возникновения отказа.

ТП – тяжесть последствий.

НПР – номер приоритета риска.

ТО – техническое обслуживание.

КБС – канатно-блочная система.

НК – неразрушающий контроль.

ВИК – визуально-измерительный контроль.

УЗК – ультразвуковой контроль.



## **Глава 1 Анализ аварий и отказов технических устройств на опасном производственном объекте**

### **1.1 Особенности эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах. Деградационные процессы при эксплуатации технических устройств**

К организациям, эксплуатирующим опасные производственные объекты, предъявляется ряд законодательных требований, к которым относится, в том числе, организация проведения экспертизы промышленной безопасности применяемых технических устройств, их регулярная диагностика, периодическое техническое освидетельствование в установленные сроки, приостановка эксплуатации опасного производственного объекта в случае возникновения аварий, инцидентов, а также при выявлении обстоятельств, негативно влияющих на состояние промышленной безопасности [27].

Негативное влияние на безопасность процессов оказывает комплекс факторов, таких как конструктивные недостатки и дефекты оборудования, неисправность технических устройств, их несвоевременное, некачественное обслуживание, отсутствие должного контроля со стороны должностных лиц. Совершенствование методов диагностики текущего состояния оборудования является важным фактором оптимизации производственных процессов, снижения финансовой нагрузки на поддержание работоспособного состояния машин и механизмов и, как следствие, повышения уровня безопасности на рабочих местах [3].

Различные условия эксплуатации, разное начальное качество машин и оборудования приводят к значительным различиям в скорости потери работоспособности технических устройств. Знание фактического текущего состояния и режима работы позволяет использовать технику наиболее эффективно. Для этого необходимо установить, какие неисправности, каким

методом и какими средствами искать [11].

Одной из распространенных причин аварий является наличие и рост дефектов в технических устройствах под действием рабочих нагрузок при изменении прочностных свойств материалов в процессе эксплуатации [9].

В настоящее время мероприятия, направленные на предотвращение и минимизацию последствий аварий и инцидентов закреплены законодательно. В этих же целях организации должны разрабатывать и утверждать методики оценки реального состояния технических устройств для поддержания их работоспособного состояния [4]. Для этого необходимо разобраться с особенностями их эксплуатации.

По характеру производственного процесса все технические устройства условно можно разделить на две большие группы:

- механизмы циклического действия – механизмы, работа которых заключается в повторяющихся производственных манипуляциях (грузоподъемные краны, лифты);
- механизмы непрерывного действия – механизмы, работающие непрерывно, за исключением периодов простоя (насосы, компрессорные установки, вентиляторы).

Характер производственного процесса влияет на режимы работы электропривода и износ механизмов, что определяет основные требования к применяемому оборудованию. Эти требования зависят от назначения оборудования, области его применения, но определяются главным образом конкретным характером технологического процесса.

Так, к механизмам одинакового назначения, например, конвейеров, предъявляются существенно отличные требования, если один из них работает непрерывно, а технологический процесс другого носит циклический характер. Таким образом, график электрических нагрузок электродвигателя является основным показателем, согласно которому его следует классифицировать.

Изучение любого графика электрических нагрузок осуществляется за

некоторый период времени, позволяющий учесть все возможные варианты работы. Обычно берется продолжительность одного или нескольких изменений.

Обзор конструкций технических устройств горнодобывающих предприятий показывает, что во всем разнообразии машин среди них можно выделить ограниченное число механизмов, выполняющих одинаковые функции и работающих в схожих режимах работы. К таким механизмам предъявляются однотипные требования.

Рассмотрим режимы работы технического устройства непрерывного действия, эксплуатируемого АО «Чукотская горно-геологическая компания» на примере главной вентиляторной установки проветривания подземных горных выработок.

Аварийный отказ работы главной вентиляторной установки непосредственно угрожает жизням большого количества людей, находящихся в шахте. В связи с этим она является наиболее ответственным устройством горнодобывающего предприятия, ведущего разработку месторождения подземным способом.

Одна из возможных конструктивных схем главной вентиляторной установки представлена на рисунке 1.

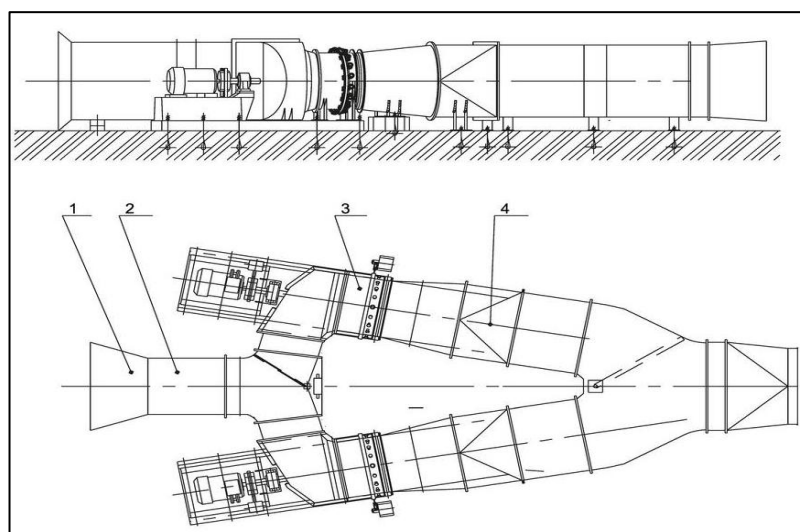


Рисунок 1 – Главная вентиляторная установка

Установка состоит из подводящего воздушного канала 1, объединенной выходной частью 4, переключателя потока 2 между осевыми вентиляторами 3.

Режимы работы вентилятора непрерывно изменяются и зависят ряда факторов. Это и сезонные колебания давления и температуры окружающей среды, и изменение ритма горных работ в течение суток, и включение в работу новых горных выработок.

График электрических нагрузок вентиляторной установки (рисунок 2) относительно равномерный и имеет небольшие отклонения от некоторой средней величины, вызванные изменением технологических операций. Значительные снижения нагрузки возникают в период ремонтной смены, когда добыча полезного ископаемого не происходит.

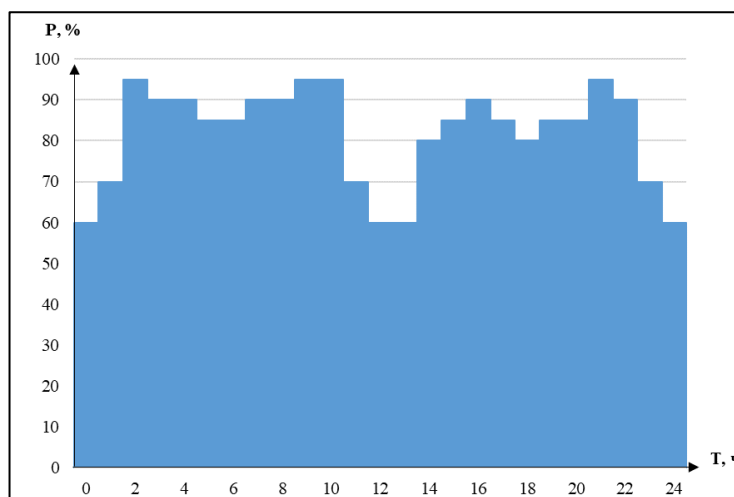


Рисунок 2 – График электрических нагрузок вентиляторной установки

В процессе эксплуатации технических устройств и механизмов непрерывного действия происходит непрерывное увеличение уровня вибрации, на основании которого можно судить об уровне технического состояния устройства. Для определения фактического технического состояния и предотвращения аварий необходимо проводить регулярное вибродиагностическое обследование на невращающихся частях [8].

Рассмотрим режимы работы технических устройств циклического действия на примере подъемных сооружений.

Подъемные сооружения состоят из [38]:

- грузоподъемной машины (грузовой лебедки);
- грузозахватного органа (крюк, электромагнит, грейфер);
- расчетных металлоконструкций;
- строительных конструкций у стационарно установленных подъемных сооружений;
- самоходного шасси у самоходных кранов.

Подъемные сооружения являются неотъемлемой частью осуществления погрузочно-разгрузочных, монтажных, ремонтных и других работ в условиях производства. Наличие на объекте производства отдельных видов ПС относит данный объект к категории опасных [27].

Режимы работы подъемных сооружений в целом определяется двумя основными показателями, характеризующими условия эксплуатации [16].

- класс использования, зависящий от интенсивности эксплуатационной жизни подъемного сооружения;
- класс нагружения, зависящий от масс перемещаемых грузов.

Показателем класса использования ПС является количество циклов работы весь период службы  $C_T$  (таблица 1).

Таблица 1 – Классы использования подъемных сооружений

Класс использования	Количество циклов работы за срок службы, $C_T$	Возможный пример реализации
U0	до 16 тыс. включительно	5-10 циклов работы в сутки на протяжении 10 лет
U1	от 16 до 32 тыс.	
U2	от 32 до 63 тыс.	20-35 циклов работы в сутки на протяжении 10 лет
U3	от 63 до 125 тыс.	
U4	от 125 до 250 тыс.	До 70 циклов работы в сутки на протяжении 10 лет
U5	от 250 до 500 тыс.	От 70 до 140 циклов работы в сутки на протяжении 10 лет
U6	от 500 тыс. до 1 млн.	До 140 циклов работы в сутки на протяжении 20 лет
U7	от 1 до 2 млн.	Более 140 циклов работы ежедневно на протяжении 20 лет
U8	от 2 до 4 млн.	
U9	свыше 4 млн.	

Рисунок 3 иллюстрирует, как сильно изменяется интенсивность работы ПС по мере увеличения класса использования, что вносит значительный вклад в изменение фактического состояния в процессе эксплуатации.

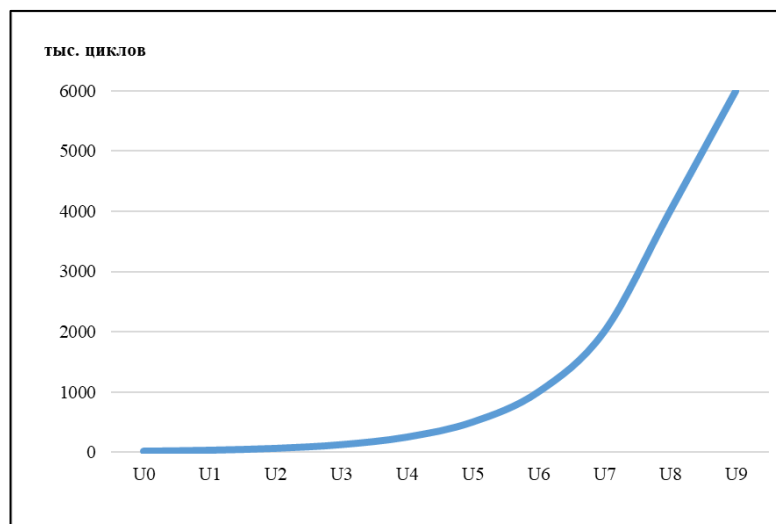


Рисунок 3 – Интенсивность работы подъемного сооружения в зависимости от класса использования

Класс нагружения определяется по таблице 2.

Таблица 2 – Определение класса нагружения в зависимости от коэффициента распределения нагрузки

Класс нагружения ПС	Описание класса нагружения	Коэффициент распределения нагрузки $K_p$	Возможный пример реализации
Q1	Особо легкий	до 0,062	Все перемещаемые краном грузы имеют массу менее 50% его грузоподъемности
Q2	Легкий	от 0,062 до 0,125	85% перемещаемых краном грузов имеют массу менее 50% его грузоподъемности
Q3	Средний	от 0,125 до 0,25	65% перемещаемых краном грузов имеют массу менее 50% его грузоподъемности. Периодический производится подъем грузов, близких к номинальной грузоподъемности.
Q4	Тяжелый	от 0,25 до 0,5	75% перемещаемых краном грузов имеют массу более 50% его грузоподъемности
Q5	Весьма тяжелый	свыше 0,5 до 1	Постоянная работа с грузами, близкими к номинальной грузоподъемности крана

Режим работы подъемного сооружения в целом определяется

сопоставлением классов использования и нагружения по таблице 3. При этом для каждого режима работы  $A_i$  будет приблизительно схожим значение произведения количества циклов работы  $C_T$  на коэффициент распределения нагрузки  $K_p$ .

Таблица 3 – Классификация режима работы подъемного сооружения

	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
Q1	–	–	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Q2	–	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q3	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Q4	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Q5	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11

Рисунок 4 иллюстрирует изменения нагрузок на металлоконструкции крана по мере увеличения класса его использования.

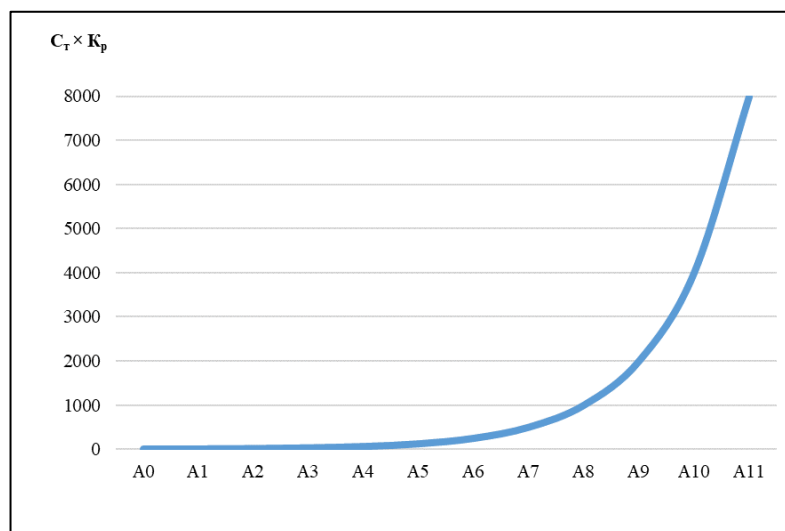


Рисунок 4 – График изменения нагрузок на металлоконструкции крана по мере увеличения класса его использования

Режимы работы отдельных механизмов подъемного сооружения, таких как механизм подъема, поворота, передвижения и другие, характеризуются:

- общей продолжительностью работы механизма в часах;
- коэффициентом распределения значений нагрузок.

Класс использования механизма в зависимости от общей продолжительности его работы определяется по таблице 4.

Таблица 4 – Класс использования механизма

Класс использования	Продолжительность работы, ч	Возможный пример реализации
T0	до 200	Механизм работает не более 0,25 ч в сутки на протяжении 5 лет
T1	от 200 до 400	
T2	от 400 до 800	Механизм работает не более 0,5 ч в сутки на протяжении 10 лет
T3	от 800 до 1600	
T4	от 1600 до 3200	Механизм работает по 1-2 ч в сутки на протяжении 10 лет
T5	от 3200 до 6300	
T6	от 6300 до 12500	Механизм работает по 3-4 ч в сутки на протяжении 10 лет
T7	от 12500 до 25000	Механизм работает по 7-14 ч в сутки на протяжении 10 лет
T8	от 25000 до 50000	
T9	от 50000 до 100000	Механизм работает до 14 ч в сутки на протяжении 20 лет

Класс нагружения механизма в зависимости от коэффициента распределения нагрузки определяется по таблице 5.

Таблица 5 – Классы нагружения механизма

Класс нагружения	Описание класса нагружения	Коэффициент распределения нагрузки $K_m$	Возможный пример реализации
L1	Легкий	до 0,125	Механизм работает только с нагрузками, которые значительно меньше номинальных значений
L2	Средний	от 0,125 до 0,25	Механизм работает с нагрузками меньшими номинальных. До 30% времени работы механизма нагрузки приближаются к номинальным.
L3	Тяжелый	от 0,25 до 0,50	Механизм эксплуатируется с близкими к номинальной нагрузками до 75% рабочего времени
L4	Весьма тяжелый	от 0,5 до 1	Механизм в основном работает только с нагрузками, близкими к номинальным значениям



Классификацию режимов работы [16] механизмов используют, с одной стороны, для нормирования ресурса механизма в целом и его элементов, а с другой стороны, для контроля соблюдения этих норм. Способ определения класса режима работы отдельного механизма схож с определением класса режима работы всего подъемного сооружения.

Режим работы каждого отдельного грузоподъемного механизма подъемного сооружения определяется путем умножения класса использования механизма на класс его нагружения. Результаты сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Классификация режима работы механизма

Класс нагружения механизма	Класс использования механизма									
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
L1	–	–	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2	–	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
L3	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	–
L4	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	–	–

На рисунке 5 представлен график изменения нагрузок на механизмы крана по мере увеличения режима их работы.

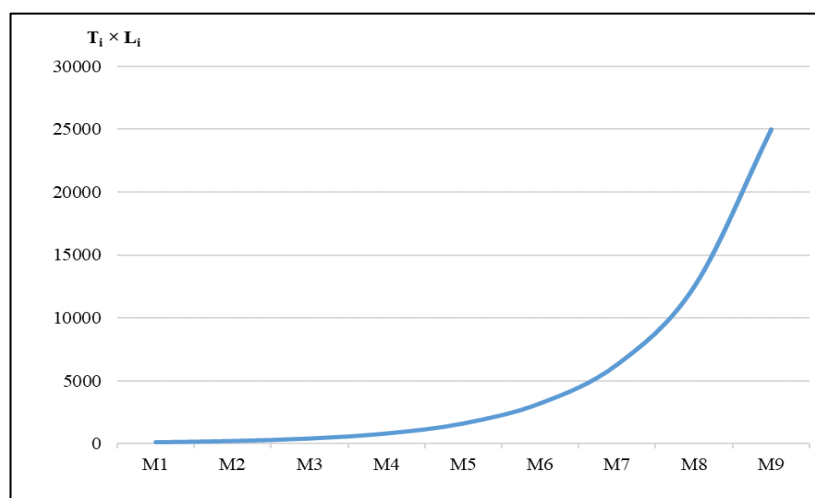


Рисунок 5 – Изменение нагрузки на механизмы в зависимости от режима работы подъемного сооружения

На рисунке 6 представлен график электрических нагрузок подъемного сооружения.

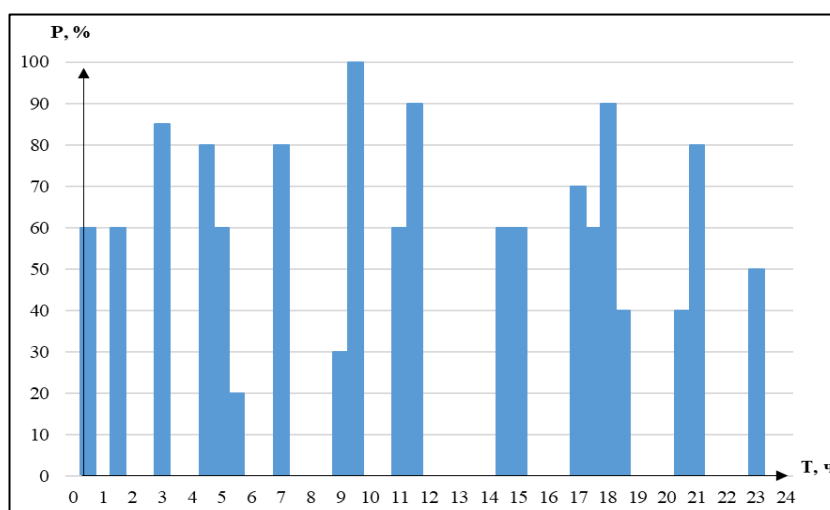


Рисунок 6 – График электрических нагрузок подъемного сооружений

График показывает явно выраженные циклы нагрузки подъемного сооружения, обусловленные спецификой эксплуатации. По истечении циклов нагрузки или установленного производителем срока службы должны быть проведены мероприятия по прогнозированию остаточного ресурса и продлению срока службы [27].

Фактическое техническое состояние технического устройства характеризуется рядом взаимосвязанных факторов, таких как форма, геометрические размеры, свойства материалов, изменение которых происходит непрерывно в процессе эксплуатации. Моделирование процесса изменения технического состояния под влиянием внешних и внутренних воздействий позволяет учесть их влияние на появление отказов.

При эксплуатации оборудования происходит [6]:

- износ трущихся частей;
- разрушение металлов, уменьшение толщины стенок за счет воздействия коррозии;
- изменение структуры и механических характеристик конструкционных материалов с течением времени, появление

усталости материалов.

Под износом трущихся частей понимается изменение формы и размеров, а также состояния поверхности соприкасающихся деталей в процессе работы. Износ является следствием процесса изнашивания (разрушения) – процесса отделения частиц материала с поверхности тела, накопления деформации и постепенного изменения формы.

Износ характеризуется механическим и коррозионно-механическим воздействием на поверхности трения. Процесс износа детали представлен диаграммой на рисунке 7.

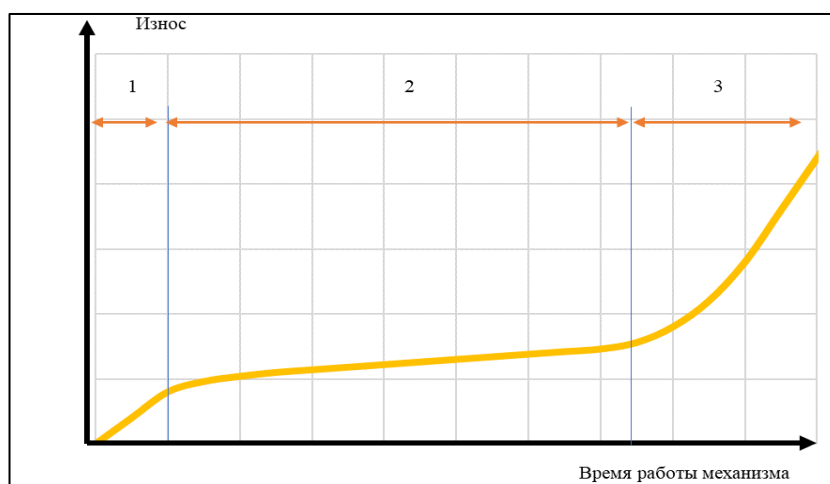


Рисунок 7 – Диаграмма износа детали

Сам процесс зависит от большого количества факторов, таких как качество материалов, технического обслуживания, условия эксплуатации и прочего, и условно делится на три периода:

- период приработки детали – 1;
- период нормального изнашивания – 2;
- период предельного изнашивания – 3.

Другим значимым деградиационным процессом является коррозия – непрерывное разрушение металлов при химическом или электрохимическом взаимодействии с окружающей средой. Способность металла сопротивляться коррозионному процессу называется его коррозионной стойкостью.

По характеру разрушения конструкции различают:

- сплошную коррозию (равномерная, неравномерная, избирательная), которая полностью охватывает поверхность конструкции (равномерная, неравномерная, избирательная);
- местную коррозию (язвенная, точечная, сквозная), которая охватывает отдельные участки поверхности.

Старение материалов – это необратимый процесс постепенного изменения структуры материала, ухудшение его механических, химических и физических свойств с течением времени по сравнению с исходным состоянием. Как следствие старения, у материалов ухудшается прочность, снижаются пластические показатели, появляются и разрастаются микротрещины.

## **1.2 Анализ аварий и отказов технических устройств на опасном производственном объекте**

Задачей анализа отказов технических устройств является выявление причин нарушения работоспособности и выяснение предшествующих этому событий.

Целью анализа является прогноз изменения технического состояния устройства на основе повторяемости событий, а также разработка и осуществление действий, предупреждающих реализацию отказа [50].

Рассмотрим некоторые подходы к решению задачи анализа отказов.

Методы анализа отказов могут быть [52]:

- качественными, такие как: причинно-факторный анализ, пространственный анализ, временной анализ. Данные методы нацелены на выявление закономерностей возникновения отказов и отличаются относительной легкостью сбора и подготовки первичной информации, однако требуют большого опыта и квалификации проводящего анализ специалист, хорошего знания оборудования и протекающих в нем процессов;
- количественными, такие как: методы расчета показателей

надежности, анализ Парето, анализ видов и последствий отказов и другие. Данные методы позволяют численно охарактеризовать деградационные процессы с возможностью их дальнейшего ранжирования по важности. От качественных методов их отличает высокая сложность сбора первичной информации, однако процедуры обработки собранной информации достаточно просты.

Причинно-факторный анализ позволяет выявлять типовые для конкретного вида оборудования проблемы. Суть метода заключается в подсчете количества реализации отказов по различным категориям причин за определенный промежуток времени и, на основании этого, определение самых частых причин отказов. Дальнейшие мероприятия направлены на устранение этих причин.

Пространственный анализ выявляет слабые места оборудования путем подсчета за определенный период времени количества отказов по месту их проявления или по отдельным узлам и агрегатам этого оборудования. Дальнейшие мероприятия по предупреждению отказов фокусируются на узле, наиболее часто выходящим из строя.

Временной анализ позволяет фиксировать циклические закономерности возникновения отказов. Для этого проводится подсчет отказов за равные относительно небольшие промежутки времени в течение исследуемого периода. На основе анализа можно сделать предположение о наличии некоторой цикличности отказов, обусловленных, например, квалификацией персонала отдельной смены.

Методы расчета показателей надежности опираются на теорию вероятностей и такие показатели надежности, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, коэффициент технической готовности, коэффициент технического использования, коэффициент сохранения эффективности и другие. Существенное влияние на достоверность и эффективность данного метода оказывает объем первичной информации и время выборки.

Методы расчета показателей надежности направлены на долгосрочное планирование технического обслуживания и ремонтов оборудования, опираясь на действующие на предприятии условия эксплуатации. Применение данных методов целесообразно только в условиях наличия большого количества однотипного оборудования, используемого в стабильных системах.

Анализ Парето основан на классифицировании проблем по количеству отказов и связанных с ними затрат [49]. Это позволяет структурировать риски отказов (таблица 7) и определить наиболее приоритетные пути реализации предупреждающих действий.

Таблица 7 – Классификация отказов по анализу Парето

Тип отказов	Количество отказов	Потери от реализации отказов
Важные	Менее 20%	Более 80%
Несущественные	Более 80%	Менее 20%

Анализ проводится на основе понесенных затрат в зависимости от различных причин отказов. Это помогает определить наиболее затратные причины отказов.

Анализ видов и последствий отказов – метод анализа, применяемый для определения потенциальных дефектов и причин их возникновения в изделии. Он применяется для выявления проблем до того, как они проявятся и окажут воздействие на оборудование.

Рассмотрим подробнее анализ видов и последствий отказов на примере крана мостового двухбалочного Kaverit КС-РН-20MR-020.0-0-РО грузоподъемностью 20 тонн, принадлежащего АО «Чукотская горно-геологическая компания», ОПО «Участок транспортный».

На первом этапе анализа определяются функции технического устройства, виды и причины отказа каждого его компонента, потенциальные последствия отказа [41].

Так, функцией крана мостового является обеспечение технологического процесса в зоне технического обслуживания и ремонта.

Далее техническое устройство условно делится на компоненты, определяются возможные отказы этих компонентов, возможные первопричины отказов и потенциальные последствия их реализации:

- компонент – узел, деталь, агрегат технического устройства. Степень дробления технического устройства на компоненты определяется специалистами, проводящими анализ, исходя из целей данного анализа;
- потенциальный отказ – описание отказа или характеристики отказа;
- потенциальные последствия – максимально негативное событие, которое потенциально может произойти при реализации отказа;
- потенциальные причины отказа – событие, которое напрямую или косвенно ведет к реализации отказа.

На втором этапе проводится количественная оценка каждого идентифицированного вида отказа и определение наиболее важных из них. Для этого каждому идентифицированному потенциальному отказу присваиваются баллы вероятности возникновения отказа и возможные последствия. Критерии вероятности возникновения отказов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Критерии вероятности возникновения отказа

Уровень ВВО	Описание	Критерии
1	Редко	Почти невозможно Аналогичные отказы происходят крайне редко Могут реализоваться при исключительных обстоятельствах
2	Маловероятно	Отказ может произойти в какой-то момент Подобные отказы однажды имели место быть в организации Подобные отказы происходят примерно 1 раз в 10 лет

Продолжение таблицы 8

Уровень ВВО	Описание	Критерии
3	Возможно	Подобные отказы происходят примерно раз в год Подобный отказ может произойти при некоторых обстоятельствах
4	Высоковероятно	Наступление отказа ожидаемо Отказ произойдет в большинстве случаев Подобные отказы происходят несколько раз в год
5	Всегда	Подобные отказы происходят постоянно Подобные отказы происходят чаще 1 раза в неделю

Критерии тяжести последствий от реализации отказов представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Критерии тяжести последствий при реализации отказа

Уровень ТП	Травма	Здоровье	Ущерб имуществу
1	Травма с оказанием первой помощи	Незначительный ущерб здоровью с обратимыми последствиями	Менее 100 тыс. руб.
2	Травма с оказанием медицинской помощи Травма с переводом на легкий труд	Незначительный ущерб здоровью, требующий медицинской помощи	От 100 тыс. руб. до 500 тыс. руб.
3	Единичная травма с потерей рабочего времени	Умеренный, тяжелый ущерб с обратимыми последствиями.	От 500 тыс. руб. до 1 млн. руб.
4	Множественные травмы Утрата трудоспособности на длительный срок	Тяжелая хроническая форма с необратимыми последствиями	От 1 млн. руб. до 5 млн. руб.
5	Смерть Постоянная утрата трудоспособности	Тяжелая форма с необратимыми последствиями.	Свыше 5 млн. руб.

Указанная в таблицах градация является примерной. Организация или специалисты, проводящие анализ, могут разработать свои критерии в зависимости от ситуации.

Риск отказа оценивается присвоением номера приоритета риска, который является произведением уровня тяжести последствий отказа на уровень вероятности его возникновения. На основании полученных данных



должны быть разработаны корректирующие мероприятия, направленные на снижение номера риска. Чем выше получился номер приоритета риска, тем пристальнее к нему должно быть внимание.

После разработки корректирующих мероприятий необходимо провести повторную оценку риска отказа и сравнение с предыдущим результатом (Приложение А).

На рисунке 8 видно, что основными причинами отказа подъемного сооружения являются усталость металла несущих конструкций, нарушение условий эксплуатации и некачественное техническое обслуживание, на что и следует обратить особое внимание.



Рисунок 8 – Сравнение номеров приоритетов риска до и после внедрения корректирующих мероприятий

Перечисленные выше методы анализа отказов могут проводиться как в комплексе, так и сами по себе, а целью имеют разработку и реализацию мероприятий, направленных на снижение возможных отказов. Результаты анализа обязательно должны сопоставляться с практикой эксплуатации технического устройства. Оформленные на основе анализа документы требуют периодического пересмотра и актуализации. Следует также

понимать тот факт, что при выявлении отдельно взятой причины отказов без рассмотрения ее, как части взаимосвязанной и взаимозависимой системы может привести не к улучшению, а к ухудшению ситуации в целом.

Рассмотрим отчет от Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по авариям, произошедшим при эксплуатации ПС [1].

За 11 лет с 2005 по 2016 годы произошло 474 аварии с участием ПС. Динамика аварийности ПС представлена на рисунке 9.

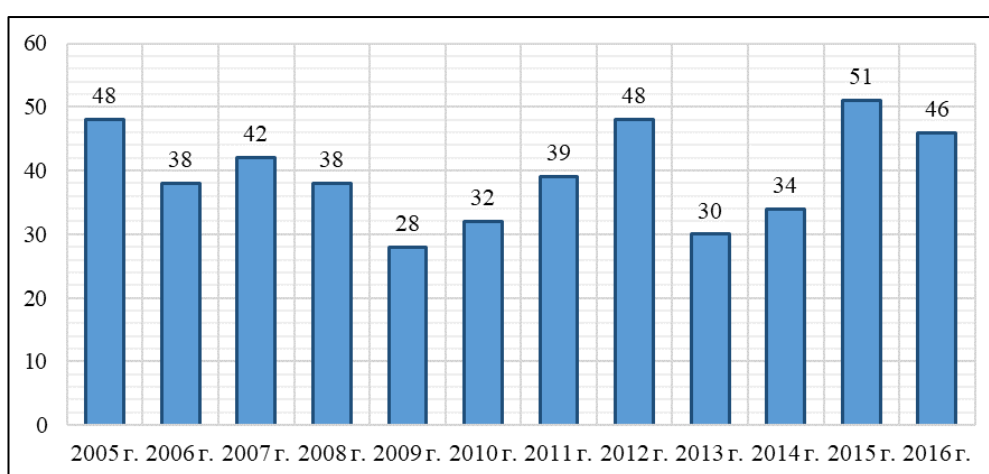


Рисунок 9 – Динамика аварийности подъемных сооружений

Распределение аварий по видам ПС представлено на рисунке 10.

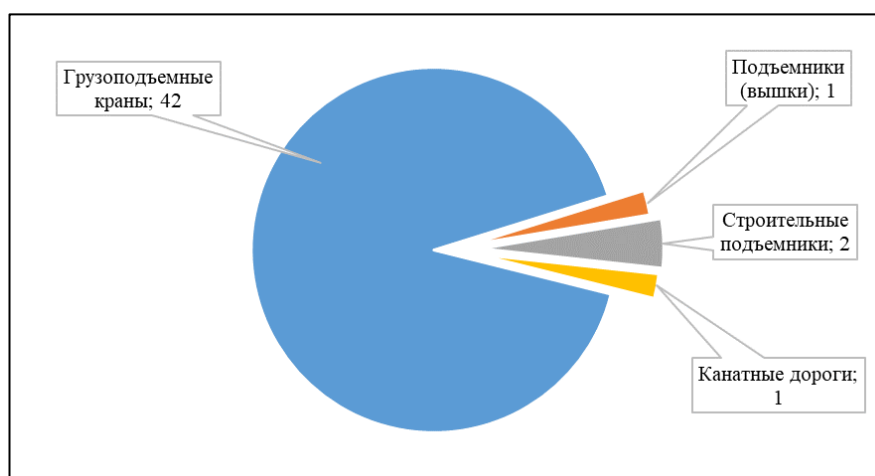


Рисунок 10 – Распределение аварий по видам подъемных сооружений

Анализ отчета по авариям с участием ПС показал, что основными их причинами являются [1]:

- недостаточный производственный контроль со стороны руководящего состава и ответственных специалистов организации;
- отсутствие в организации специалистов, ответственных за безопасную эксплуатацию ПС;
- производство грузоподъемных работ с привлечением неквалифицированного персонала или персонала с недостаточным опытом;
- отсутствие в организации разработанных проектов производства работ, технологических карт, схем строповки, производственных инструкций;
- несвоевременное, некачественное или формальное проведение технических освидетельствований подъемных сооружений;
- несвоевременные планово-предупредительные ремонты и техническое обслуживание;
- нарушение технологии производства работ;
- трудовая дисциплина.

Стоит отметить огромное количество подъемных сооружений, которые отработали свой ресурс и продолжают эксплуатироваться, тем самым внося свой вклад в повышение уровня аварийности. Кран, эксплуатируемый за пределами срока службы характеризуется износом основных конструкций, шарнирных соединений, усталостью металла, его утоннением вследствие коррозии или трения, выработанным канатно-блочным механизмом и изношенными грузоподъемными механизмами. По мере все большего увеличения срока эксплуатации крана растет вероятность аварии.

По результату анализа аварий с подъемными сооружениями можно разделить основные причины этих аварий на организационные и технические (таблица 10).

Таблица 10 – Основные причины аварий подъемных сооружений

Причины аварии	Описание причины аварии
Технические	Неисправная работа приборов и устройств обеспечения безопасности подъемных сооружений
	Изношены или неисправных тормозные механизмы хода крана
	Нарушение требований установки тупиковых упоров крановых путей
	Износ головки рельса, нарушение планово-высотного профиля кранового пути
	Наличие недопустимых дефектов у применяемых съемных грузозахватных приспособлений и тары
	Наличие трещин в расчетных металлоконструкциях подъемного сооружения, в сварных соединениях. Некачественные болтовые соединения
	Неправильная запасовка грузовых канатов. Использование грузовых канатов, не соответствующих требованиям паспорта подъемного сооружения, руководству по эксплуатации
	Не подготовленная надлежащим образом площадка работы ПС
Организационные	Слабый производственный контроль, отсутствие специалистов, ответственных за безопасную эксплуатацию
	Не организованы, не проводятся своевременно техническое обслуживание и ремонт, технические освидетельствования
	Краны с истекшим сроком службы эксплуатируются без наличия положительного заключения экспертизы промышленной безопасности
	ПС эксплуатируются неаттестованным персоналом
	Отсутствует эксплуатационная и техническая документация на ПС
	Работы повышенной опасности с использованием ПС проводятся без оформления соответствующего наряда-допуска
	Нарушение требований промышленной безопасности при пуске крана в работу
	Нарушаются требования проекта производства работ или отсутствуют проекты производства работ подъемными сооружениями
	Не установлен порядок обмена сигналами между стропальщиками и крановщиком
	Монтаж/демонтаж крана осуществляется с нарушением требований инструкции
	Отсутствуют должностные и производственные инструкции у эксплуатирующего ПС персонала

Среди организационных причин аварий на первом месте указан слабый производственный контроль. Следует отметить, что остальные

представленные причины аварий также зависимы от производственного контроля. Следовательно, организациям, эксплуатирующим опасные производственные объекты, необходимо уделять должное внимание уровню технического состояния технических устройств путем разработки организационных мероприятий по обеспечению единого подхода к техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств.

Вывод по первой главе.

Таким образом проведен анализ:

- особенностей эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах;
- деградационных процессов, протекающих при эксплуатации технических устройств;
- методов анализа отказов технических устройств.

На основании проведенного анализа технические устройства по характеру производственного процесса были разделены на механизмы циклического действия – механизмы, работа которых заключается в повторяющихся производственных манипуляциях (грузоподъемные краны, лифты), и механизмы непрерывного действия – механизмы, работающие непрерывно, за исключением периодов простоя (насосы, компрессорные установки, вентиляторы).

Сделаны следующие выводы:

- несмотря на разнообразие технических устройств, среди них можно выделить ограниченное число механизмов, выполняющих в однотипные функции;
- техническое состояние технических устройств вносит значительный вклад в их аварийность и непрерывно изменяется под воздействием условий рабочей среды, статических и динамических нагрузок, деградации свойств материалов с течением времени;

- в процессе эксплуатации технических устройств непрерывного действия происходит непрерывное увеличение уровня вибрации, которую необходимо регулярно отслеживать для предотвращения отказов и аварий;
- по истечении циклов нагрузки технических устройств циклического действия необходимо проводить мероприятия по прогнозированию остаточного ресурса и продлению срока службы.

С помощью анализа видов и последствий отказов установлено, что основными причинами отказов технических устройств циклического действия, на примере подъемного сооружения, являются усталость металла несущих конструкций, нарушение условий эксплуатации и некачественное техническое обслуживание, что является следствием слабого производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности при эксплуатации. В результате рекомендовано разработать организационные мероприятия по обеспечению единого подхода к техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств путем разработки «Регламента проведения технического освидетельствования подъемных сооружений».

## **Глава 2 Организация и проведение технического диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасном производственном объекте**

### **2.1 Классификация дефектов. Влияние дефектов на работоспособность оборудования**

Уровень технического состояния оборудования и технических устройств зависит от дефектов, их видов и степени опасности, от количества дефектов в устройстве в целом и в отдельных его узлах.

Дефект – это отдельное единичное несоответствие диагностируемого устройства или недопустимое отступление от предъявляемых к данному устройству требований. К ним относятся, например, неоднородность материалов или нарушения их сплошности, отклонения таких физических параметров деталей и изделий от заданных, как размеры, допуски, качество обработки поверхности, сопротивление изоляции, влагостойкость и ряд других физических величин.

Рассмотрим классификацию возможных дефектов основного материала технического устройства [6]:

а) по происхождению:

- 1) металлургические – возникают на этапе изготовления деталей путем литья или проката;
- 2) технологические – возникают на этапе изготовления или обработки деталей, а также во время сборки оборудования;
- 3) эксплуатационные – возникают в процессе эксплуатации оборудования в результате усталости материалов, износа, воздействия окружающей среды, неправильной эксплуатации.

б) по влиянию на работоспособность оборудования:

- 1) недопустимые – наличие недопустимых дефектов запрещает дальнейшую эксплуатацию оборудования без их устранения с

- последующим контролем;
- 2) допустимые – наличие допустимых дефектов не вносит особые ограничения на эксплуатацию.

Отнесение дефектов к допустимым или недопустимым определяется нормативно-технической документацией на конкретное техническое устройство.

- а) по влиянию на свойства оборудования:
  - 1) критические – определяют невозможность дальнейшего использования устройства по назначению;
  - 2) значительные – вносят существенные коррективы в долговечность и эксплуатацию;
  - 3) малозначимые – влияние на свойства незначительно;
- б) по возможности выявления:
  - 1) явные – определяются визуально-измерительным контролем;
  - 2) скрытые – не определяются визуально-измерительным контролем;
- в) по расположению:
  - 1) сквозные;
  - 2) поверхностные;
  - 3) подповерхностные;
  - 4) внутренние;
- г) по размерам:
  - 1) молекулярные – дефекты на уровне кристаллической решетки;
  - 2) микроскопические – дефекты примерно в 50 раз больше молекулярных;
  - 3) макроскопические – определяются визуально невооруженным глазом или посредством применения простейших оптических средств;
- д) по количеству:
  - 1) единичные;



- 2) групповые;
- е) по расположению в пространстве:
  - 1) продольные;
  - 2) поперечные;
  - 3) разветвленные;
  - 4) протяженные;
  - 5) плоские;
  - б) объемные;
- ж) по форме:
  - 1) круглые – дефекты практически правильной цилиндрической или сферической формы в объеме без выделенных заострений, такие как поры, свищи, шлаковые включения;
  - 2) щелевидные – дефекты длиной в несколько раз больше их ширины с выраженными заострениями в основаниях или острыми углами – трещины, непровары, несплошности;
  - 3) неопределенной формы – дефекты, имеющие заострения, углы, разнонаправленные в пространстве – трещины, разрывы;
- и) по возможности исправления:
  - 1) исправимые;
  - 2) неисправимые.

Для выбора оптимального метода контроля дефектов необходимо провести их классификацию в разных срезax, например, по размерам, по расположению, по количеству, по влиянию на диагностируемое техническое устройство.

Рассмотрим подробнее некоторые виды наиболее распространенных видов дефектов несущих металлоконструкций.

Трещины – частичное местное разрушение материала в виде разрыва. Трещины достаточно часто встречаются в расчетных металлоконструкциях подъемных сооружений, в основании лопастей вентиляторов, в шарнирных сочленениях и местах резкой перемены геометрии нагруженных механизмов,

в сварочных швах. Трещины относятся к наиболее опасным и критическим дефектам и большинством документации определяются недопустимыми.

Подрезы являются углублениями в теле металла вблизи сварочных швов, что может значительно изменить рабочую толщину конструкции в месте дефекта, а также вызывает концентрацию нагрузок в сопредельных объемах. Как результат, значительно снижается прочность конструкции, ускоряется процесс разрушения сварочного шва.

Расслоение – это внутреннее нарушение сплошности металла стенки технического устройства, уменьшающее прочностные характеристики. Расслоения чаще являются следствием нарушения технологии изготовления детали и недостаточном выходном контроле, но могут появляться и в процессе эксплуатации устройства. Дополнительной опасностью является возможность образования трещины под воздействием расслоения при эксплуатации.

Прожоги, кратеры – дефекты в виде сквозного отверстия или углубления в сварном шве, вызванные нарушением технологии сварки при изготовлении или ремонте. Опасностью дефектов является концентрация напряжений в металле и негативное влияние на прочность соединения, поэтому они подлежат обязательному исправлению.

Поры и шлаковые включения – дефекты в виде мелких углублений или включений в металл посторонних примесей, которые практически не оказывают влияния на прочность конструкции.

Опасность дефектов зависит от множества конструктивных и эксплуатационных факторов, от их вида, типа и количества. Например, округлые дефекты без выраженных острых краев менее опасны с точки зрения разрушения конструкции, ввиду отсутствия концентрации напряжений вокруг них. Острые же края концентрируют внутренние напряжения на острие дефекта, что приводит к дальнейшему его развитию и росту вдоль линии концентрации напряжения. Такие дефекты, как трещины, подрезы, расслоения, прожоги являются очень опасными наружными

дефектами и не допускаются в конструкциях, работающих на выносливость.

При техническом диагностировании необходимо знать влияние наружных и внутренних дефектов на прочностные характеристики конструкции. При этом в первую очередь оценивается допустимость наружных дефектов, значения которой зависят от условия эксплуатации конкретного технического устройства и указаны в нормативно технической или конструкторской документации. Нормы браковки, как правило, выражаются в значениях максимальных размеров допустимых дефектов, количеству дефектов на определенную площадь, на ориентацию в пространстве.

## **2.2 Неразрушающие методы контроля**

Неразрушающий контроль (НК) – это технические методы исследования узлов и компонентов технических устройств на предмет наличия дефектов и измерения параметров выявленных дефектов.

Целью методов НК является оценка целостности, свойств, геометрических характеристик обследуемых устройств, выявление в них дефектов и отклонений, влияющих на эксплуатационные качества [46].

Широкое применение неразрушающих методов контроля обусловлено тем фактом, что обследуемый объект не подвергается разрушению или изменению своих характеристик. Это позволяет избежать больших материальных затрат, одновременно повышая надежность эксплуатируемого оборудования.

Методы неразрушающего контроля основаны на различных физических явлениях, таких как передача энергии, прохождение вещества или энергии через диагностируемый объект [13].

Результаты неразрушающего контроля в обязательном порядке оформляются документально. Заключение должно содержать описание выявленных дефектов и их расположение, указанное на прилагаемой схеме (рисунок 11).

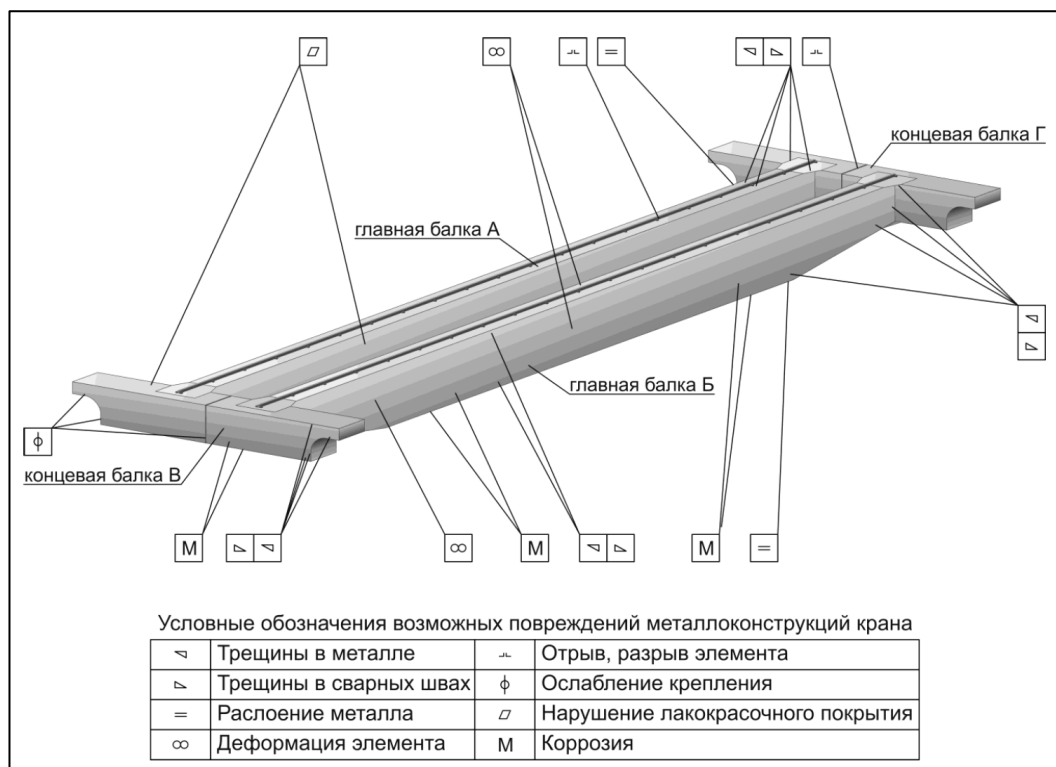


Рисунок 11 – Расположение участков контроля крана мостового двухбалочного Kaverit КС-РН-20MR-020.0-0-РО

Наиболее распространенными методами неразрушающего контроля являются [31]:

- визуально-измерительный,
- ультразвуковой,
- акустико-эмиссионный,
- магнитный,
- проникающими веществами,
- вибродиагностический,
- вихретоковый,
- тепловой.

Кроме перечисленных также применяются и другие методы НК, согласно технической документации на техническое устройство [13].

Процесс проведения НК при обследовании технических устройств подразумевает применение не менее двух методов, позволяющих выявить поверхностные и внутренние дефекты. В каждом конкретном случае методы

НК подбираются исходя из наибольшей эффективности метода, а также на основании нормативной документации. Выбранные методы НК и их объем должны гарантировать выявление недопустимых дефектов.

Применяемые при НК средства контроля, средства измерений, инструмент, приборы, аппаратура должны иметь технические паспорта, сертификаты, подтверждения о прохождении поверки, калибровки.

Эксплуатационные материалы, применяемые для НК, такие как порошки, пенетраты, химические реактивы, должны иметь соответствующие сертификаты качества. Каждая партия материалов в обязательном порядке подвергается входному контролю и проверке перед использованием.

Перед проведением НК техническое устройство должно быть подготовлено соответствующим образом: остановлено или временно выведено из эксплуатации, при необходимости производится частичная разборка, контролируемые поверхности очищаются от загрязнений и защитных покрытий, препятствующих проведению контроля.

Визуально-измерительный контроль (ВИК) – самый простой и, одновременно, самый объемный и информативный метод контроля, который выполняется без специализированного оборудования за исключением простейших измерительных и оптических средств (рисунок 12).



Рисунок 12 – Набор визуально-измерительных инструментов

Внимательный внешний осмотр является эффективным средством предупреждения и обнаружения дефектов, позволяет выявить на поверхности поры, трещины, прожоги и многие другие дефекты. Эффективность метода делает его обязательным и предшествующим другим методам контроля. Неразрушающий контроль любого изделия начинается именно с визуального осмотра [2].

Задачей визуального контроля является выявление на наружной и внутренней поверхностях элементов технического устройства поверхностных дефектов, таких как [28]:

- трещины в структурных элементах, выходящие на поверхность расслоения;
- коррозионные повреждения металла;
- эрозионный износ поверхностей элементов;
- дефекты сварных швов, болтовых, клепанных и других соединений;
- изменения геометрических размеров и форм основных элементов.

Задачей измерительного контроля является определение геометрических параметров дефектов, выявленных при визуальном контроле.

Одним из недостатков ВИК является сложность обнаружения мелких поверхностных дефектов, невозможность обнаружения внутренних дефектов.

На эффективность метода оказывает влияние опыта специалиста, проводящего контроль, а также таких субъективных факторов, как усталость, освещенность рабочего места.

Ультразвуковой контроль (УЗК) – метод акустического неразрушающего контроля сварных соединений, использующий механические колебания упругой среды – ультразвук.

Целью УЗК является выявление поверхностных и внутренних дефектов при ультразвуковой дефектоскопии и измерение толщины стенки детали при ультразвуковой толщинометрии. Средствами УЗК являются дефектоскопы и толщиномеры, которые используют особенности распространения в теле металла ультразвуковых колебаний.

При отсутствии дефектов ультразвуковые волны распространяются прямолинейно и расходятся в виде пучка. Наличие дефекта в контролируемой области вызывает искажение ультразвуковой волны, что фиксируется принимающим устройством при проведении ультразвуковой дефектоскопии (рисунок 13). Таким образом, выявление искаженной ультразвуковой волны свидетельствует о наличии дефекта в обследуемой области [45].

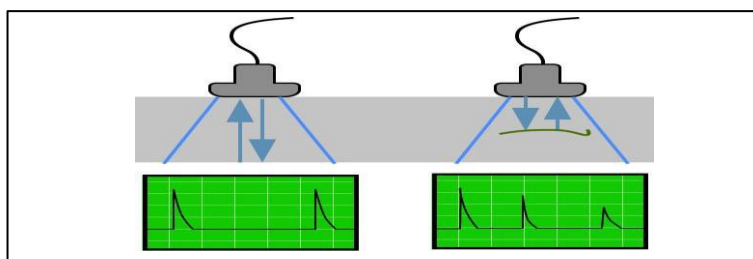


Рисунок 13 – Ультразвуковая дефектоскопия

Целью проведения ультразвуковой дефектоскопии является определение:

- размеров и площади дефектов;
- координат дефектов на поверхности;
- расстояния между дефектами;
- количества дефектов на определенной площади.

Ультразвуковая толщинометрия – метод измерения толщины стенок технических устройств, основанный на отражении звуковой волны от границы изменения сред (рисунок 14).

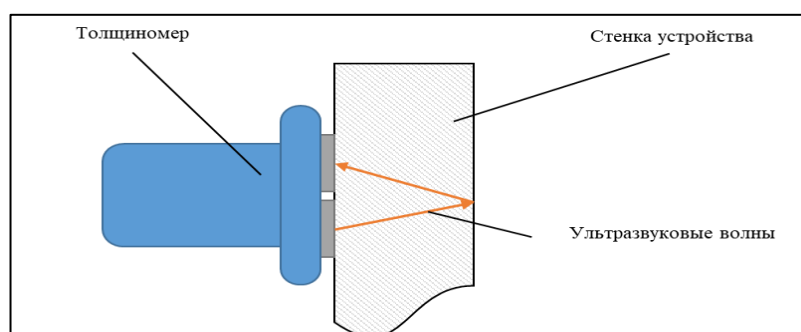


Рисунок 14 – Принцип действия ультразвукового толщиномера

Целью метода является определение действительной толщины стенки, соответствия толщины стенок проектным размерам, выявление участков коррозионного поражения металла, величины и скорости утоннения стенки за исследуемый период в процессе эксплуатации.

Средством измерения являются ультразвуковые контактные толщиномеры, которые позволяют измерить толщину материала с доступом только к одной его стороне [51].

По результатам контроля проводится расчет на прочность, которым определяется дальнейший срок эксплуатации, снижение прочностных характеристик или обосновывается необходимость ремонта или замены устройства.

На эффективность метода оказывают неоднородности материала, загрязнения, изменения толщины контактного слоя, что нарушает акустический контакт с инструментом. Также настройка прибора требует наличие соответствующего опыта у специалиста [40].

К преимуществам ультразвукового метода можно отнести:

- высокую достоверность получаемой информации;
- выявление любых изменений сплошности материалов;
- широкий перечень контролируемых материалов;
- отсутствие негативного влияния на контролируемый объект;
- диагностирование конструкций с односторонним доступом;
- высокая вероятность выявления опасных дефектов, тяжело определяемых другими методами.

Основные недостатки:

- высокая стоимость ультразвукового оборудования и работ;
- высокая трудоемкость подготовки поверхности к контролю;
- сложность обеспечения качественного акустического контакта;
- низкая производительность.

Акустико-эмиссионный контроль – метод НК по обнаружению и определению местоположения несплошностей стенки объекта контроля или



сварного соединения (рисунок 15).

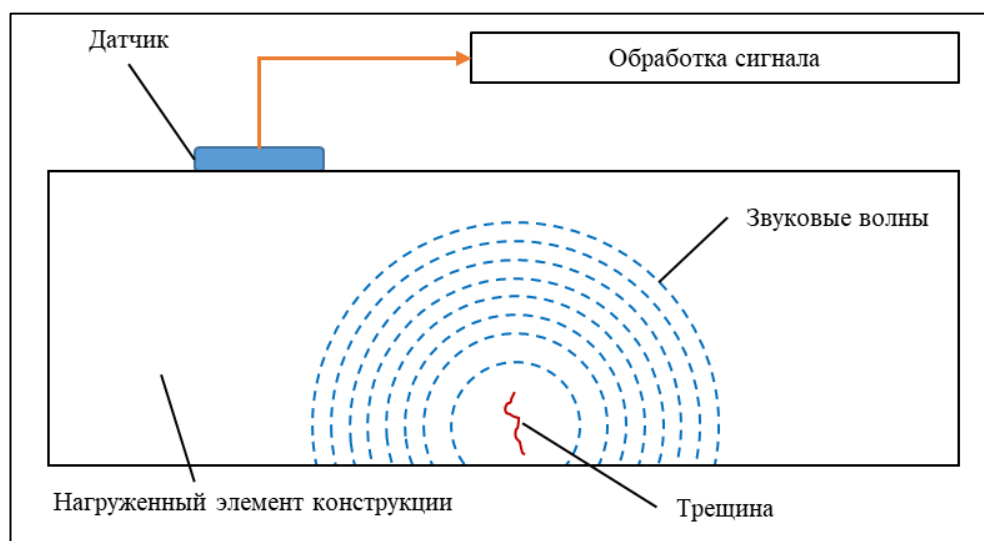


Рисунок 15 – Принцип выявления трещин с помощью акустической эмиссии

Метод основан на анализе акустических волн, возникающих в материале в результате пластических деформаций и повреждений структуры [44]. Данный метод является пассивным методом диагностики, так как источником регистрируемого физического поля является сам дефект. Места выявления индикаторов акустической эмиссии в обязательном порядке подвергаются другому методу НК.

Магнитный неразрушающий контроль – метод НК, который основан на искажениях магнитных полей, возникающих вблизи дефектов [48].

Магнитный контроль основан на искажении магнитного поля в местах нарушения сплошности материалов с магнитными свойствами и позволяет выявлять такие дефекты, как трещины, шлаковые включения, надрывы, поры, которые выходят на поверхность или находятся на небольшой до 3-4 мм глубине [12]. Размеры выявляемых дефектов при этом составляют от 0,01 мкм глубиной. Соблюдая технологию контроля можно выявить трещины элементов конструкции и деталей на стадии проявления, тогда как другими методами это обнаружить затруднительно или невозможно.

Среди магнитных методов НК большое распространение получил магнитопорошковый метод контроля.

В этом методе в качестве индикатора наличия дефекта выступают частицы магнитного порошка, входящего в состав специальной суспензии [14]. Намагниченные частицы ориентируются вдоль линий наведенного магнитного поля. При отсутствии в зоне контроля дефектов, магнитное поле рассеивается равномерно. При наличии в зоне контроля дефекта, магнитное поле искажается, в результате чего частицы магнитного порошка в виде скоплений образуют своеобразные индикаторные рисунки (рисунок 16).

Метод магнитопорошкового неразрушающего контроля проводится на участках элементов технических устройств, указанных в нормативной документации, а также в местах с признаками наличия дефектов [14].



Рисунок 16 – Скопление частиц магнитного порошка в зоне расположения дефекта

При контроле предварительно удаляются защитные покрытия и изоляция. Особое внимание уделяется зонам концентрации напряжений, местам скопления конденсата, ремонтным сварочным швам.

К достоинствам магнитных методов НК можно отнести:

- высокую производительность;
- наглядность результатов;
- малые размеры выявляемых дефектов.

Контроль проникающими веществами – метод НК для выявления трудноразличимых поверхностных дефектов, основанный на проникновении

в их полости специальной жидкости (пенетрата), последующим извлечением этой жидкости из дефектов с помощью проявляющего покрытия и ее фиксации.

Зафиксированный пенетрат образует на поверхности обследуемого участка визуально различимые рисунки в виде ярких четких линий, повторяющих контур дефекта (рисунок 17).

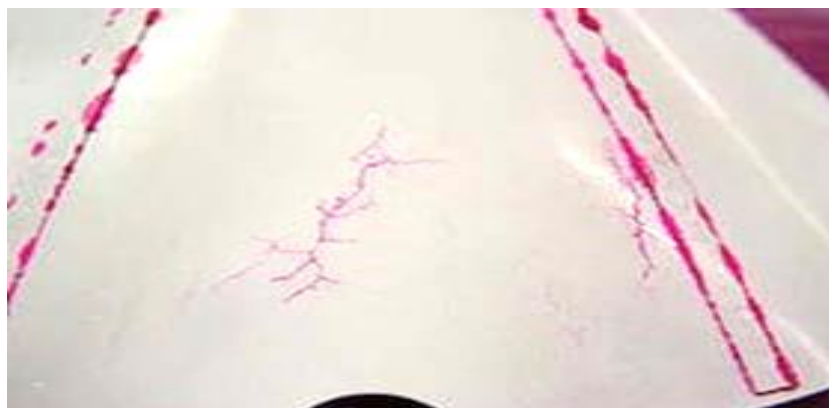


Рисунок 17 – Дефекты, выявленные проникающими веществами

Данным методом выявляются дефекты с выходом на поверхность, места их расположения, протяженности и характер распространения [19]. К обследованию допускаются изделия любых форм и материалов, которые химически не взаимодействуют с дефектоскопическими жидкостями [44].

К преимуществам метода можно отнести следующие особенности:

- высокая разрешающая способность и наглядность результатов;
- возможность быстрого обследования больших площадей конструкций сложной формы;
- простота технологических операций контроля;
- низкая стоимость используемых материалов и оборудования.

К недостаткам метода можно отнести:

- невозможность обнаружения дефектов, не имеющих выхода на поверхность;
- влияние внешних условий и чистоты поверхности на достоверность

результатов;

- необходимость очистки контролируемой поверхности от пенетрата и проявителя после проведения работ;
- негативное влияние дефектологических материалов на здоровье персонала;
- ограниченный срок хранения материалов.

Стоит отметить также, что данным методом не обнаруживаются дефекты, у которых внешние габаритные размеры значительно превышают глубину, а также на пористых поверхностях. В этом случае пенетрат полностью удаляется из полости, не образуя при этом линий. В таких случаях следует применять другие методы НК.

Оценку вибрационного состояния технических устройств непрерывного действия осуществляют на основе измерений перемещения, скорости и ускорения на корпусах подшипников. Общие критерии оценки, основанные на измерении значений параметров вибрации и их изменений, устанавливаются с учетом необходимости обеспечения безопасной продолжительной работы технического устройства и отсутствия влияния вибрации на работу соседних машин и механизмов [15].

Сигналы скорости и перемещения получают с интегрированных в корпуса подшипниковых опор акселерометров.

Измерения проводят в различных точках во взаимно перпендикулярных направлениях в установившемся режиме работы. Продолжительность измерений должна быть достаточной для получения стабильных результатов измерений и не может быть менее трех периодов вращения наиболее низкооборотного вала оборудования.

Под уровнем вибрации понимается максимальное значение вибрации, измеренной в одной определенной точке. Общую оценку вибрационного состояния делают по критерию, в соответствии с которым вибрационное состояние оборудования является наиболее опасным.

Устанавливают следующие оценки технического состояния [24]:

- хорошо – оценка соответствует исправному состоянию агрегата и характеризует высокое качество ремонтных и монтажных работ;
- удовлетворительно – работоспособный агрегат при малой вероятности его отказа. Требуется контроль скорости изменения параметров вибрации;
- допустимо – техническое состояние устройства приближается к предельному, имеются развивающиеся неисправности. Требуется мероприятия по техническому обслуживанию;
- недопустимо – наличие развитых дефектов и высокой скорости их развития, высока вероятность отказа, эксплуатация технического устройства опасна и недопустима. Требуется немедленная остановка и вывод технического устройства в ремонт.

Вихретоковый контроль – вид НК, который основан на взаимодействии внешнего электромагнитного поля с наводимыми в объекте контроля полем вихревых токов.

Целью вихретокового контроля является выявление дефектов в стыковых сварных швах, клепанных и болтовых соединениях, на поверхности и в глубине деталей из ферромагнитных и неферромагнитных сталей, из некоторых цветных сплавов [18].

Данным методом НК выявляются трещины, надрывы, поры, неметаллические и шлаковые включения в элементах конструкций и деталей глубиной более 0,1 мм. Максимальная достоверность результатов достигается при однородных магнитных свойствах обследуемого материала.

Вихретоковым контролем не могут быть выявлены дефекты на элементах, имеющих резкие изменения магнитных или электрических свойств, нанесенные защитные электропроводящие покрытия, а также если поверхность элемента покрыта коррозией. Также не выявляются дефекты, заполненные электропроводящими частицами, и несплошности, близкие к параллельности обследуемой поверхности.

Тепловой контроль – метод НК, с помощью которого улавливают инфракрасные излучения, которые распространяются или излучаются диагностируемым объектом, и преобразуют его в видимый спектр – термограмму [20]. Пример термограммы приведен на рисунке 18.

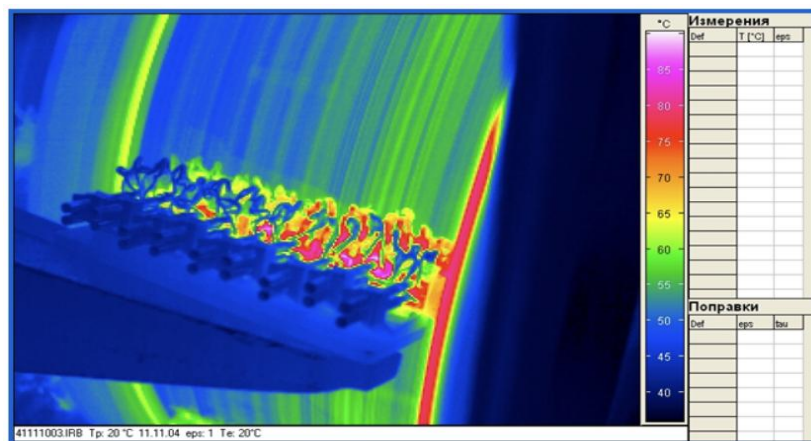


Рисунок 18 – Термограмма измерения температуры

Контроль может быть активным или пассивным. При активном контроле объект диагностирования нагревается от внешнего источника тепла. При пассивном – исследуются естественные тепловые процессы в объекте.

Наличие внутреннего или наружного дефекта в теле материала искажает процесс равномерной теплопередачи, что искажает температурное поле поверхности. Такие локальные температурные перепады определяются с помощью термоиндикаторов, пирометров, инфракрасных микроскопов, тепловизоров и других средств.

Измерение твердости материала – метод НК, основанный на измерении величины вдавливания тела определенной формы (индентора) в исследуемый материал с помощью прибора-твердомера (рисунок 19).

В качестве индентора, обычно применяются специальные шарики или конусы, которые не получают остаточной деформации после процедуры. Способность материала сопротивляться этому вдавливанию определяет его твердость [37].

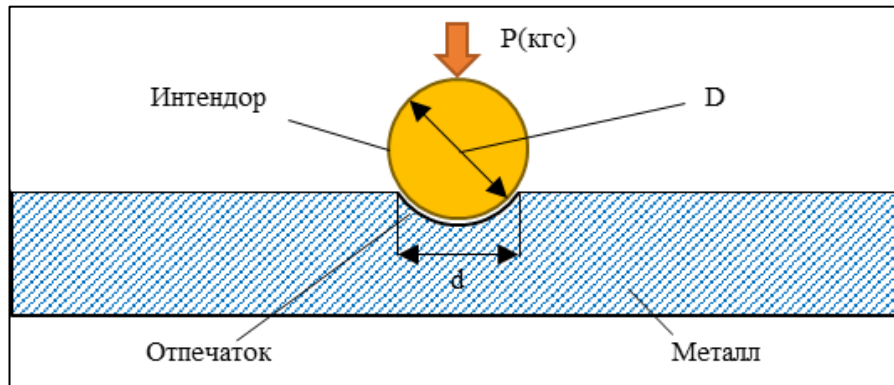


Рисунок 19 – Измерение твердости материалов

Необходимость измерения твердости материалов, как правило, определяется следующими случаями:

- необходимо оценить механические свойства материалов при отсутствии или утрате сведений о них;
- после аварий или инцидентов, когда было повреждено техническое устройство, после эксплуатации в специфических условиях, когда могли произойти необратимые изменения структуры металла, если твердость материала является одной из его основных характеристик.

Гидравлические испытания – метод контроля оборудования, работающего под давлением, который проводится с целью проверки элементов технического устройства на прочность, плотность, герметичность.

Данный метод подразумевает заполнение объекта испытания водой и плавное повышение давления до определенных технической документацией показателей с последующей выдержкой по времени (рисунок 20).

Считается, что техническое устройство успешно выдержало испытания, если после их проведения не обнаружены течи, трещины, потения в сварных и разъемных соединениях и на основном металле, остаточные деформации. Также во время испытаний не должны быть падения давления по манометру.

При выявлении указанных дефектов принимается решение о

выбраковке устройства либо об устранении дефектов с последующим повторным испытанием [35].



Рисунок 20 – Гидравлическое испытание сосуда, работающего под давлением

Вывод по второй главе.

Таким образом, приведены результаты теоретического исследования видов дефектов, их классификации и влияния на работоспособность технических устройств, методов неразрушающего контроля, направленных на выявление дефектов.

Сделаны выводы о том, что состояние технических устройств зависит от дефектов, их видов и степени опасности, от количества дефектов в устройстве в целом и в отдельных его узлах; для выбора оптимальных методов неразрушающего контроля необходимо правильно классифицировать дефекты; для повышения достоверности результатов неразрушающего контроля необходимо применение не менее двух методов для поиска поверхностных и внутренних дефектов.



## **Глава 3 Система технического диагностирования технических устройств на опасном производственном объекте**

### **3.1 Этапы технического диагностирования и освидетельствования технических устройств. Прогнозирование остаточного ресурса технических устройств**

Техническое состояние технических устройств, которые находятся в эксплуатации, непрерывно ухудшается ввиду воздействия неостанавливающихся деградационных процессов, что в свою очередь повышает вероятность отказа или аварии.

Владельцы опасных производственных объектов, которые эксплуатируют технические устройства, обязаны проводить процедуры по поддержанию их технического состояния, обеспечивающего безопасную эксплуатацию: периодическое техническое обслуживание, своевременный ремонт, периодическое техническое освидетельствование. В определенных случаях проводится экспертиза промышленной безопасности технических устройств, одним из этапов которой является техническое диагностирование [27].

Под технической диагностикой и освидетельствованием понимают комплекс административно-технических мер, направленных на подтверждение работоспособности технических устройств, изучение их фактического технического состояния, режимов работы с целью прогноза возможности дальнейшей эксплуатации и определения остаточного ресурса.

Целями процессов по техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств являются:

- подтвердить работоспособность;
- обеспечить безопасную эксплуатацию;
- подтвердить соответствие условий эксплуатации требованиям нормативной документации;

- предотвратить отказы, инциденты, аварии и снизить их возможные последствия.

Техническое диагностирование с целью оценки технического состояния технического устройства проводится [34]:

- если истек установленный изготовителем срок службы;
- если превышено максимально допустимое количество циклов нагрузки;
- если был проведен восстановительный ремонт после аварии или инцидента;
- если выявлены дефекты, вызывающие сомнение в прочности конструкции;
- если выявлены дефекты, причину появления которых не удастся установить;
- в других случаях, когда необходимо провести углубленную оценку фактического технического состояния.

К функциям технического диагностирования можно отнести:

- анализ технического состояния объекта обследования;
- локализация мест возникновения неисправностей;
- оценка величины остаточного ресурса;
- анализ динамики изменения технического состояния устройства.

Технические освидетельствования проводятся:

- до пуска технического устройства в эксплуатацию – первичное;
- периодически в процессе эксплуатации через установленные изготовителем или нормативно-технической документацией интервалы – периодическое;
- после ремонта, реконструкции, аварии и по другим причинам – внеочередное.

Существуют также частичное и полное технические освидетельствования, которые различаются объемом и периодичностью проведения. Объемы и периодичность освидетельствований определяются

соответствующей нормативной документацией.

Периодичность обследований технических устройств может изменяться в зависимости от:

- технического состояния, качества обслуживания и ремонтов;
- режимов эксплуатации, агрессивности окружающей среды;
- износа, коррозии основных элементов;
- наличия остаточных деформаций конструкций;
- результатов оценки остаточного ресурса и др.

Выявление негативных фактов может служить основанием для уменьшения периодов между обследованиями.

Административно-технические мероприятия и процедуры для обеспечения промышленной безопасности следует регламентировать соответствующими локальными нормативными актами, приказами, инструкциями, технологическими картами [27]. Документы, регламентирующие действия специалистов, осуществляющих производственный контроль, и персонала, непосредственно привлекаемого для технического диагностирования и освидетельствования, должны быть утверждены в установленном на предприятии порядке.

Для распределения зон ответственности специалистов и определения порядка работ целесообразно разработать регламент на проведение технического диагностирования и освидетельствования технических устройств, объединенных в группы, схожие по своему назначению.

Техническое диагностирование и освидетельствование технических устройств состоят из следующих этапов [34]:

- а) подготовительный, включающий следующие процессы:
  - 1) составление программы проведения работ;
  - 2) анализ технической документации;
  - 3) подготовка технического устройства к диагностированию или освидетельствованию;
  - 4) подготовка технических средств и приборов;

- б) рабочий, включающий следующие процессы:
- 1) оперативное (функциональное) диагностирование;
  - 2) корректировка программы диагностирования или освидетельствования при необходимости;
  - 3) визуальный и измерительный контроль;
  - 4) неразрушающий контроль;
  - 5) проведение испытаний при необходимости;
  - 6) оценка выявленных дефектов;
- в) заключительный, включающий следующие процессы:
- 1) оценка выявленных дефектов;
  - 2) определение остаточного ресурса деталей, узлов и агрегатов, срока продления безопасной эксплуатации;
  - 3) подготовка итогового заключения обследования;
  - 4) разработка корректирующих мероприятий по устранению выявленных недостатков;
  - 5) реализация корректирующих мероприятий;
  - 6) контроль за выполнением корректирующих мероприятий.

Если в результате обследования будет выявлена необходимость проведения ремонта технического устройства, обследование приостанавливается до устранения неисправностей, после чего осуществляется в той же последовательности.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

Перед проведением технического диагностирования или освидетельствования технического устройства составляется программа обследования, которая предусматривает:

- проверку наличия и ознакомление с технической документацией на техническое устройство;
- разработку рабочей карты обследования;
- идентификацию и подготовку технического устройства к обследованию;

- поэлементное обследование и оценку выявленных дефектов;
- определение остаточного ресурса;
- подготовку заключения обследования;
- разработку и реализацию мероприятий по устранению выявленных недостатков;
- производственный контроль.

Нормативная документация, которую изучают специалисты, проводящие обследование, может включать следующие документы:

- руководство по эксплуатации технического устройства;
- проектно-конструкторская документация;
- паспорт или формуляр на техническое устройство;
- сертификат или декларация соответствия требованиям технических регламентов;
- контрольные документы: сменные, вахтенные журналы, графики технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов, технологические карты на обслуживание и эксплуатацию устройства;
- сведения об имеющихся повреждениях, фактах отказов, инцидентов, аварий, акты расследований;
- сведения о замененных элементах, о проведенных ремонтах;
- расчеты, выполненные при ремонте или реконструкции устройства;
- протоколы измерения сопротивления изоляции и заземления электрооборудования;
- заключения экспертиз промышленной безопасности;
- сведения о наработке и условиях эксплуатации технического устройства;
- инструкции обслуживающего и контролирующего персонала;
- журналы регистрации инструктажа персонала;
- квалификационные удостоверения и журналы учета проверки знаний обслуживающего и эксплуатирующего персонала;

- предписания контролирующих органов.

Данный перечень не является исчерпывающим и может корректироваться специалистами, проводящими обследования исходя из целей обследования и достаточности материалов, необходимых для всесторонней оценки технического устройства.

При анализе технической документации проверяются сведения, занесенные в формуляр или паспорт технического устройства, а также в целях более полного и качественного обследования при анализе эксплуатационной документации определяются [23]:

- технические параметры устройства;
- предельно-допустимые состояния;
- фактические параметры эксплуатации;
- действующие поражающие факторы, механизмы повреждения и наиболее вероятные отказы;
- периодичность и объемы планово-предупредительных ремонтов;
- полноту проверок, испытаний, наладки аппаратуры защиты и сигнализации;
- мероприятия производственного контроля.

Результатом анализа технической документации является оценка:

- наличия и правильности ведения документации;
- соответствия фактических режимов работы технического устройства паспортным;
- качества технического обслуживания;
- полноты производственного контроля.

На основании собранной информации разрабатывается рабочая карта обследования технического устройства с внесением в нее перечня элементов, подлежащих обследованию.

Непосредственно перед обследованием технического устройства необходимо провести его идентификацию для чего с паспортом сравниваются данные, нанесенные на металлические таблички, а именно:

- наименование изготовителя или его товарный знак;
- наименование устройства, его условное обозначение;
- заводской номер;
- год и месяц изготовления.

Подготовка технического устройства к обследованию включает [21]:

- очистку от пыли, грязи, смазочных материалов;
- удаление коррозии;
- обеспечение доступа к подлежащим обследованию элементам;
- выполнение организационно-технических мероприятий по обеспечению безопасности проведения работ;
- проверку комплектности и состояния защитных средств.

При необходимости на подготовительном этапе снимаются крышки, люки, производится частичная или полная разборка механизмов, сливаются технические жидкости, проводятся другие подготовительные процедуры, в зависимости от целей диагностики и согласно руководству по эксплуатации. Подготавливаются иные, необходимые материалы и приспособления, необходимые для проведения работ.

Электрооборудование технического устройства в обязательном порядке отключается от питающей электроэнергии. На устройство отключения энергии необходимо вывесить табличку с надписью: «Не включать, работают люди» [39]. Для исключения непреднамеренной подачи электроэнергии рукоятку отключающего устройства необходимо зафиксировать в выключенном положении при помощи блокировочных замков. Каждый специалист, непосредственно участвующий в обследовании, устанавливает свой блокировочный замок, а ключи от замка на все время, необходимое для обследования, оставляет при себе.

Место обследования обозначается сигнальным ограждением с соответствующими предупредительными знаками, обеспечивается достаточным освещением и вентиляцией.

Рабочий этап обследования начинается с оперативного или

функционального диагностирования, в ходе которого проверяется работа технического устройства в реальных режимах эксплуатации.

При этом проверяется работоспособность механизмов, плавность срабатывания, хода, отсутствие посторонних биений, вибраций, шумов, признаков перегрева и запахов.

Целью оперативного или функционального диагностирования является получение информации об общем техническом состоянии технического устройства, фактических параметрах его работы и нагружения.

При выявлении на данном этапе признаков дефектов или неисправностей возникает необходимость проведения дальнейших измерений для более четкого определения и классификации дефектов, на основании чего в программу диагностирования вносятся соответствующие изменения.

Визуально-измерительный контроль – наиболее объемная и важная часть рабочего этапа обследования. При ВИК необходимо определить общее состояние всех обследуемых элементов, соединений, креплений, выявить и определить геометрические параметры дефектов, величины износа, механических повреждений.

Контроль проводится с наружной и, через смотровые лючки или с помощью эндоскопических приспособлений, с внутренних сторон элементов технического устройства. При невозможности обследования с внутренних сторон, допускается проведение контроля только с одной стороны. При этом необходимость разборки механизмов определяет проводящий обследование специалист [28].

Визуальный контроль проводится с применением увеличительной лупы 6-10 кратного увеличения. При этом:

- проверяется комплектность и правильность монтажа технического устройства, защитных и предохранительных устройств;
- проводится тщательный поэлементный осмотр: проверяется отсутствие повреждений, деформированных участков,



коррозионных поражений, отклонений форм, качество креплений механизмов;

- проверяется наличие и качество смазки, технических жидкостей, отсутствие утечек.

Выявленные дефекты отражаются в рабочей карте обследования и подвергаются измерительному контролю. Измеряются геометрические размеры дефектов, их длина, ширина, глубина, а также овальность цилиндрических отверстий, размеры коррозионного повреждения.

При измерительном контроле измеряются в том числе:

- толщина стенки несущих конструкций;
- регулировочные параметры составных частей;
- величины зазоров шарнирных соединений, износ пальцев и проушин.

Если выявленные дефекты не препятствуют дальнейшему обследованию, допускается их устранение после завершения контроля.

После проведения ВИК при обследовании применяют другие методы НК, которые проводятся специалистами аттестованной лаборатории неразрушающего контроля [31].

Методы неразрушающего контроля выбираются из условия наиболее эффективного применения для обнаружения определенных дефектов. Выбор методов НК зависит от требований нормативной документации, материала и конструкции обследуемого элемента технического устройства, технико-экономических показателей. При этом места, имеющие подозрение на наличие дефектов, должны проверяться не менее трех раз, с целью исключения возможности попадания в эксплуатацию дефектных деталей.

Все выявленные дефекты и несоответствия заносятся специалистами, проводящими обследование, в рабочую карту обследования, после чего они сверяются с критериями предельно-допустимых состояний, указанных в нормативно-технической документации.

Выводы по результатам неразрушающего контроля заносятся в Акт

неразрушающего контроля, который подписывается специалистами, проводившими контроль.

Испытания включают проверку работоспособности технического устройства при номинальных режимах работы и при аварийных нагрузках согласно требованиям руководств по эксплуатации и нормативной документации. При испытаниях проверяется работоспособность отдельных элементов устройства, их взаимодействие в работе и работоспособность технического устройства в целом, а также функционирование систем защиты и блокировки, приборов обеспечения безопасности работы, систем автоматизации.

Испытания электрооборудования и кабелей повышенным напряжением, испытания сосудов, работающих под давлением, испытания подъемных сооружений проводят специализированные организации по утвержденным программам испытаний с установленной производителем или нормами периодичностью.

Результаты испытаний оформляются в форме Протокола испытаний, который подписывается проводившими их специалистами. По результатам указанных испытаний могут быть назначены повторные или проверочные испытания.

Эксплуатация технического устройства должна быть незамедлительно запрещена, обслуживающий персонал должен и руководство опасного производственного объекта должны быть оповещены если во время проведения обследования или испытаний выявлены дефекты, негативно влияющие на безопасность эксплуатации технического устройства, о чем должна быть сделана запись в эксплуатационный журнал.

Дефекты, выявленные при обследовании технического устройства, его металлических конструкций, механизмов и отдельных узлов, заносятся в карты осмотра и соответствующие Акты контроля. Оценка выявленных дефектов дается на основании критериев предельно допустимых состояний для конкретного технического устройства. На основании оценки

разрабатывается ведомость дефектов для направления в ремонт. Ведомость дефектов также служит источником информации для последующего расчета остаточного ресурса.

Срок службы технического устройства устанавливается заводом-изготовителем и указывается в его паспорте и исчисляется с даты выпуска технического устройства. Если в паспорте технического устройства отсутствуют сведения о сроке его службы рекомендуется определять срок службы по соответствующей нормативной документации или использовать сроки службы аналогичных технических устройств.

При достижении срока службы эксплуатация технического устройства должна быть прекращена [26]. Дальнейшая эксплуатация может быть продолжена только после соответствующих расчетных обоснований с учетом результатов анализа проектной документации и условий эксплуатации технического устройства и проведения мероприятий по продлению срока службы.

Работы по определению возможности продления сроков службы технических устройств осуществляется экспертными организациями с учетом особенностей конструкции и условий эксплуатации технического устройства, его фактического технического состояния, требований нормативных документов. Продление срока службы осуществляется на основании прогноза остаточного ресурса на определенный период либо на срок до прогнозируемого наступления предельного состояния технического устройства.

Процедура продления срока службы в зависимости от фактического состояния технического устройства может выполняться неоднократно, и при каждом очередном продлении устанавливается новый дополнительно назначенный срок службы. Возможность корректировки ранее назначенного срока при текущем диагностировании осуществляется после уточнения основных факторов, определяющих надежность и безопасность данного устройства.

Прогнозирование остаточного ресурса технических устройств является наиболее ответственным видом работ. Главная задача, которую приходится решать экспертам – определить, какой период еще могут эксплуатироваться обследуемые устройства до момента серьезной поломки или отказа.

Работы по продлению срока службы проводятся поэлементно на отдельных составных частях технического устройства, которые можно определить, как индивидуальные сборочные единицы, имеющие свои назначенные сроки службы.

Прогнозирование остаточного ресурса для каждого из основных элементов технического устройства осуществляется по установленному доминирующему механизму повреждения, играющему определяющую роль в исчерпании ресурса технического устройства в процессе его эксплуатации. В качестве остаточного ресурса принимается минимальное значение ресурса из полученных для основных элементов технического устройства [33].

Прогнозирование остаточного ресурса необходимо для принятия решения о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации технического устройства.

Существуют разные методы оценки остаточного ресурса оборудования. При выборе метода оценки определяются действующие на техническое устройство повреждающие факторы и восприимчивость к ним материалов устройства [47].

Порядок и методы расчета остаточного ресурса определяют специалисты, проводящие обследование. Методы расчета должны гарантировать надежную и безопасную эксплуатацию технического устройства на весь планируемый период продления срока службы. Результаты расчетов должны подтверждать безопасную эксплуатацию технического устройства на установленных режимах работы в течение всего периода, на который продлевается срок службы.

Оценка остаточного ресурса основных несущих элементов технических устройств, подвергаемым при эксплуатации на установленных режимах

работы статическим нагрузкам и имеющим в качестве повреждающего фактора общий коррозионный износ, определяется по формуле [22]:

$$T_{ост} = (S_{\phi} - S_{отб}) / \alpha, \quad (1)$$

$$\alpha = (S_{исх} - S_{\phi}) / T_{э}, \quad (2)$$

где  $S_{\phi}$  – минимальное из полученных значений измерения фактической толщины стенки элемента, мм;

$S_{отб}$  – толщина стенки элемента, при которой происходит его отбраковка, мм;

$\alpha$  – скорость коррозии материала стенки, мм/год;

$S_{исх}$  – исходная толщина стенки элемента, мм;

$T_{э}$  – период от начала эксплуатации устройства до момента обследования, лет.

Оценка остаточного ресурса технических устройств, эксплуатируемых при циклических нагрузках рассчитывается по формуле [22]:

$$T_{ост} = (T_{э} \cdot N) / N_{э}, \quad (3)$$

где  $N$  – допускаемое количество циклов нагрузки для устройства;

$N_{э}$  – количество циклов нагрузки, которому подверглось техническое устройство за время эксплуатации.

Оценка остаточного ресурса технических устройств, у которых в процессе эксплуатации происходит снижение механических свойств материалов отдельных элементов, производится по изменению таких механических свойств [29].

Снижение механических свойств материалов можно определить:

- путем испытаний образцов контрольных вырезов;
- замером твердости металлов;
- путем определения фактических механических характеристик

материала.

Если снижение механических свойств оказалось менее 5%, то дальнейшие расчеты проводятся по фактическим механическим свойствам. В противном случае определяется сначала скорость ухудшения механических свойств по аналогии с определением скорости коррозии, а затем производится прогноз состояния механических свойств к концу ожидаемого периода эксплуатации путем экстраполяции.

Оценка остаточного ресурса подъемных сооружений по балльной системе в зависимости от совокупности дефектов делается для всех грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы [5].

Для каждого типа подъемного сооружения значения дефектов в баллах указываются в соответствующих методиках. Результаты подсчета вносятся в заключение технического диагностирования [39].

Исходными данными для определения остаточного ресурса подъемного сооружения являются:

- результаты обследования;
- справка о характере работы подъемного сооружения за весь срок эксплуатации;
- данные о химическом составе и механических свойствах металла расчетных элементов металлических конструкций в момент выполнения оценки остаточного ресурса;
- данные о геометрии расчетных элементов металлоконструкций;
- данные о расчетах остаточного ресурса основных несущих элементов, подвергаемых при эксплуатации на установленных статических нагрузках и имеющим в качестве повреждающего фактора общий коррозионный износ;
- расчет металлоконструкций на прочность и сопротивление усталостным разрушениям.

Прогноз остаточного ресурса подъемного сооружения допускается оценивать методом расчета циклов нагружения, который заключается в

подсчете примерного количества выполненных за период эксплуатации рабочих циклов с последующим сравнением этой величины с предельно допустимыми паспортными данными.

Количество выполненных за период эксплуатации подъемным сооружением рабочих циклов рассчитывается по формуле:

$$N_{\phi} = C_c \cdot D_z \cdot Y_k, \quad (4)$$

где  $C_c$  – среднесуточное количество циклов работы ПС;

$D_z$  – количество рабочих дней в году;

$Y_k$  – фактический срок службы ПС в годах на момент проведения обследования.

Тогда остаточный ресурс ПС по количеству циклов нагружения составит:

$$T_{ост} = N_{max} - N_{\phi}, \quad (5)$$

где  $N_{max}$  – максимально допустимое для данного подъемного сооружения количество рабочих циклов, согласно паспортных данных.

Расчет остаточного ресурса для группы однотипных технических устройств на основе вероятностных моделей выполняется по наибольшему сроку эксплуатации [17].

Средний остаточный срок рассчитывается по формуле:

$$T_{ост} = T \cdot \tau_n, \quad (6)$$

где  $T$  – среднее значение остаточного срока службы в относительных единицах;

$\tau_n$  – нормативный срок службы технического устройства.

Среднее значение остаточного срока службы в относительных

единицах определяется по формуле:

$$T = 1,5 \cdot e^{-1,3 \cdot V}, \quad (7)$$

$$V = \tau / \tau_n, \quad (8)$$

где  $e$  – Экспонента, число Эйлера;

$V$  – возраст технического устройства в относительных единицах;

$\tau$  – срок эксплуатации технического устройства в годах.

Результаты расчетов остаточного ресурса оформляются в виде приложения к заключению обследования. При этом расчет должен содержать заключение о возможности и условиях дальнейшей эксплуатации.

Результаты проведенного технического диагностирования или освидетельствования оформляются соответствующим документов в форме актов, протоколов, заключений промышленной безопасности.

Документ должен содержать:

- уникальные идентификационные данные технического устройства;
- результаты проведенного обследования;
- сроки очередных обследований;
- сведения о лицах, проводивших обследование.

В качестве результатов проведенного обследования указывается один из следующих выводов:

- продолжение эксплуатации на установленных параметрах;
- необходимость проведения корректирующих мероприятий: ремонт, доработка, реконструкция или использование технического устройства по иному назначению;
- продолжение эксплуатации с ограничением параметров;
- вывод из эксплуатации.

В случае необходимости проведения корректирующих мероприятий разрабатывается план их реализации с учетом требований к обеспечению безопасной эксплуатации технического устройства на весь продлеваемый



период эксплуатации. План проведения корректирующих мероприятий оформляется приложением к заключению обследования.

Если по результатам технического диагностирования установлено, что техническое устройство находится в состоянии, опасном для дальнейшей эксплуатации, лица, проводившие обследование, должны письменно направить об этом информацию руководителю опасного производственного объекта, на котором данное техническое устройство эксплуатируется.

Основанием для принятия решения о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации технического устройства являются:

- результаты обследования технического устройства;
- результаты предыдущих обследований;
- результаты проверки соответствия условий применения технического устройства проектным или паспортным параметрам;
- оценка интенсивности и условий эксплуатации;
- уровень квалификации обслуживающего и эксплуатирующего техническое устройство персонала;
- наличие системы текущих обслуживаний и ремонтов и качество их выполнения;
- расчет остаточного ресурса.

Окончательное решение о продлении срока службы должно быть принято комиссией, назначенной руководством опасного производственного объекта. Срок, на который продлевается эксплуатация технического устройства не должен превышать сроков, рекомендованных заключением обследования. Если при обследовании установлена невозможность продления срока службы по техническому состоянию, необходимо в обязательном порядке выполнять данные рекомендации.

Рассмотрим подробнее процесс частичного технического освидетельствования подъемного сооружения на примере крана мостового двухбалочного, грузоподъемностью 20 т (рисунок 21), принадлежащего АО «Чукотская горно-геологическая компания», рудник «Купол», ОПО

«Участок транспортный» [7].

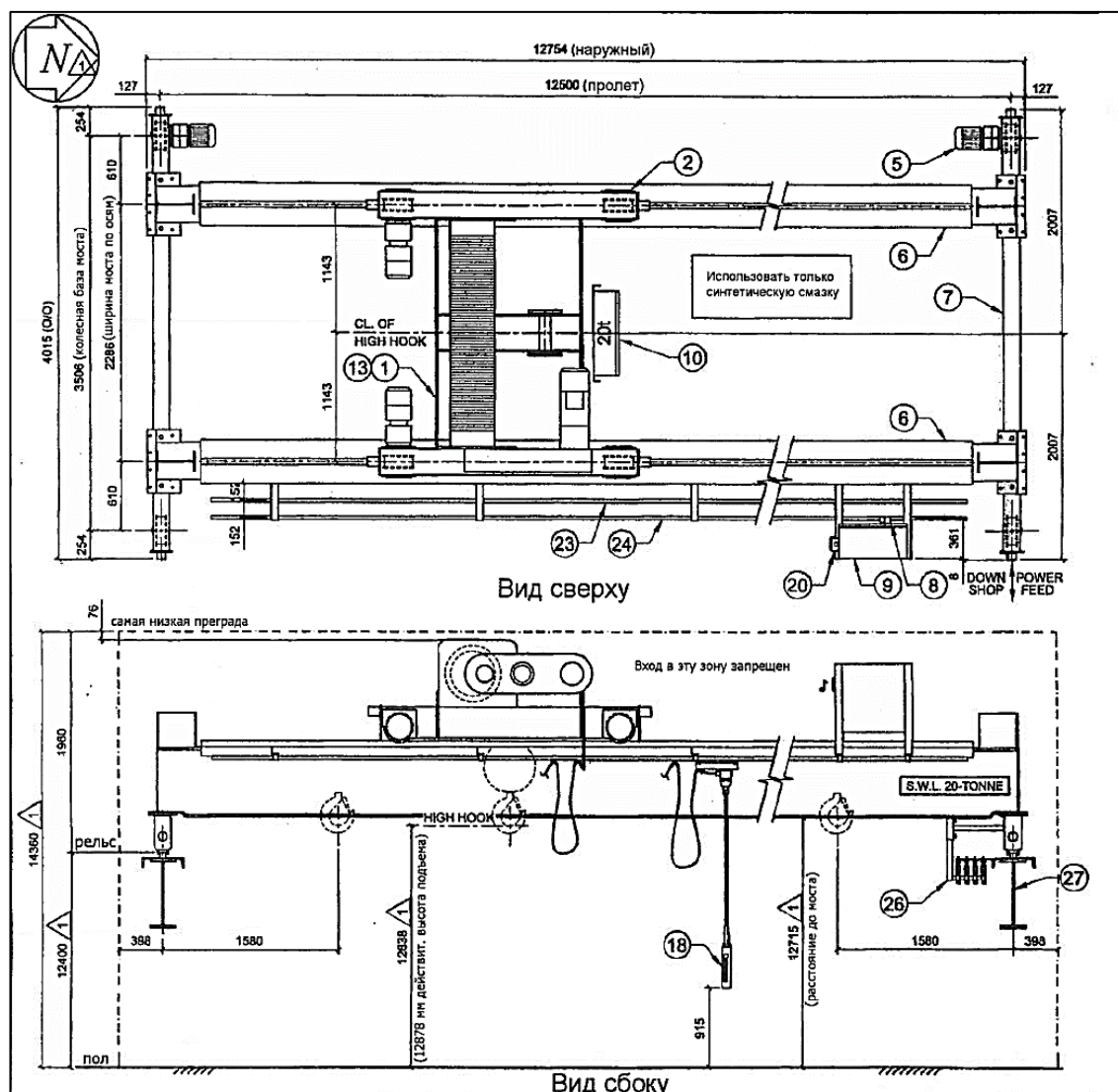


Рисунок 21 – Кран мостовой двухбалочный

Частичное техническое освидетельствование подъемных сооружений проводится не реже одного раза в год [32]. На проведение технического диагностирования подъемных сооружений в АО «Чукотская горно-геологическая компания» разработан регламент, целью которого является определение вида, объема и последовательности работ при техническом диагностировании подъемных сооружений, установление лиц, ответственных за проведение отдельных этапов работ, требования к персоналу, проводящему работы, а также требования безопасности при проведении

работ.

Необходимость разработки и утверждения регламента была обусловлена отсутствием единого подхода к порядку технического освидетельствования подъемных сооружений среди ответственных специалистов в разных структурных подразделениях, неполнота проводимых мероприятий.

Регламентом предусмотрены следующие работы по частичному техническому освидетельствованию:

- поэлементное обследование крановых путей;
- рассмотрение технической документации;
- осмотр и проверка работоспособности всех узлов крана.

Поэлементное обследование крановых путей с оценкой их фактического состояний включает выполнение следующих видов работ [32]:

- осмотр и измерение геометрических параметров рельсов с целью определения их фактического износа, выявления трещин, сколов, вмятин и других недопустимых дефектов;
- осмотр стыковых и промежуточных соединений на соответствие их требованиям проектной документации;
- осмотр элементов, передающих нагрузку от рельсов на основание с целью выявления трещин, деформаций, дефектов и отклонений;
- осмотр тупиков, ограничителей передвижения, ограждений, предупредительных знаков с целью выявления дефектов и несоответствий;
- измерение отклонений элементов крановых путей от проектного положения в плане и профиле с применением геодезических приборов;
- осмотр состояния заземления крановых путей и выполнение измерений его электрического сопротивления.

По результатам проверки состояния кранового пути составляются [23]:

- планово-высотная съемка кранового пути;

- протокол проверки наличия цепи и качества контактных соединений зануляющих (заземляющих) защитных проводников;
- протокол измерения сопротивления изоляции кабелей, проводов и аппаратов в электроустановках;
- акт проверки кранового пути.

Анализ технической документации проводится в целях проверки системы технического обслуживания ПС, кранового пути, съемных грузозахватных приспособлений и соответствия требованиям нормативной документации.

При рассмотрении руководства по эксплуатации проводится:

- ознакомление с конструкцией ПС;
- определение требований к проведению технического обслуживания, ремонта и оценке их выполнения;
- определение дополнительных требований к проведению технического освидетельствования.

При рассмотрении паспорта ПС проверяется полнота и правильность заполнения форм:

- о местонахождении ПС;
- о назначении специалистов, ответственных за содержание ПС в работоспособном состоянии;
- о проведенных ремонтах, реконструкции;
- о предыдущих технических освидетельствованиях.

Акты предыдущих освидетельствований рассматриваются на предмет выполнения указанных в них рекомендаций.

Проект производства работ рассматривается на предмет оценки правильности установки крана в процессе эксплуатации, наличия схем строповки, схем складирования грузов и других регламентов по безопасной эксплуатации ПС.

При рассмотрении акта проверки кранового пути проверяется наличие и соответствие нормативным требованиям [53]:

- планово-высотной съемки кранового пути;
- протокола проверки наличия цепи и качества контактных соединений зануляющих (заземляющих) защитных проводников протокола измерения сопротивления заземления;
- протокола измерения сопротивления изоляции кабелей, проводов и аппаратов в электроустановках.

График проведения технических обслуживаний и освидетельствований ПС, график проведения осмотров съемных грузозахватных приспособлений и тары проверяется на предмет их наличия, соответствия требованиям эксплуатационной документации и своевременности выполнения намеченных работ.

При наличии предписаний контролирующих органов проверяется выполнение указанных предписаний.

При визуальном осмотре выявляется исправность всех узлов и грузозахватных приспособлений, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию. В визуальный осмотр не входит разборка узлов, но он предусматривается открывание крышек редукторов и кожухов тормозов [32].

При осмотре металлоконструкций проводится:

- очистка металлоконструкций от загрязнений, избытка влаги и смазочных материалов;
- внешний осмотр ответственных и вспомогательных элементов металлоконструкций;
- проверка качества соединений элементов металлоконструкций;
- измерение величин деформаций поврежденных элементов;
- оценка степени коррозии элементов.

При осмотре электрооборудования проверяется:

- наличие и комплектность электрооборудования, токоподводящей системы и системы управления и защиты крана;
- целостность корпуса, клеммных коробок, зон крепления в местах установки электрооборудования;

- отсутствие влаги в клеммных коробках, ящиках сопротивления;
- исправность щеток, коллекторов, контактных реле, пускателей электромагнитов, электрогидротолкателей, приборов и аппаратуры управления;
- правильность установки и подключения к питающей сети в соответствии с паспортной документацией.

Осмотр приборов и устройств безопасности включает проверку:

- их наличия и исправности;
- их соответствия паспортным данным.

Для проверки работы механизмов и системы управления проводятся однократные перемещения крана и его исполнительных узлов.

При работе обращается внимание на:

- работоспособность тормозов;
- отсутствие биения, резких толчков;
- повышенного шума в механизмах;
- правильность намотки канатов на барабан.

Проверка работоспособности механизмов и системы управления крана:

- производится подъем крюка на полную высоту подъема с последующим опусканием;
- производится передвижение крана и грузовой тележки на всю рабочую длину пути в обе стороны.

Ограничители рабочих движений проверяются путем плавного наезда исполнительного органа крана на концевые выключатели, ограничивающие диапазон перемещения этого органа:

- ограничитель высоты подъема груза должен остановить грузозахватный орган, обеспечив зазор между грузозахватным органом и упором не менее 200 мм;
- ограничитель механизма передвижения должен обеспечивать отключение двигателей на расстоянии до тупикового упора не менее полного пути торможения, указанного в паспорте. После

срабатывания концевых выключателей необходимо убедиться в том, что выезд из конечной зоны возможен только в противоположном направлении.

Проверка других приборов и устройств безопасности осуществляется согласно эксплуатационной документации.

Таким образом «Регламент проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол» обеспечил единый подход к этапам технического освидетельствования подъемных сооружений ответственными специалистами различных подразделений.

### **3.2 Анализ и оценка эффективности диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасном производственном объекте**

Подтверждение соответствия кранового пути требованиям проектной документации [32] осуществляется на основании измерений его планово-высотного положения с помощью инженерно-геодезических средств.

Данная процедура заключается в установке на головку рельса в определенных точках геодезической призмы и последующее измерение положения метки в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В этих целях с помощью подъемника доставляют к точке измерения специалиста инженерно-геодезической службы, который в нужном месте устанавливает геодезическую призму, после чего второй сотрудник производит необходимые измерения. Далее точка измерения меняется, процедура повторяется [10].

Сложность и трудоемкость данного вида работ в условиях производственного цеха обусловлена следующими факторами:

- а) проведение работ на высоте;
- б) необходимость проведения организационно-технических мероприятий [30]:

- 1) подготовка места проведения работ;
  - 2) инструктаж;
  - 3) подготовка подъемника к работе;
  - 4) оформление наряда-допуска на выполнение работ с повышенной опасностью;
- в) необходимость привлечения к работам нескольких специалистов:
- 1) машинист подъемника;
  - 2) специалист, осуществляющий установку геодезической призмы в точке измерения;
  - 3) специалист, непосредственно проводящий измерения;
  - 4) инженерно-технический работник, ответственный за безопасное проведение работ на высоте;
- г) частые смены мест проведения измерения, перемещения подъемника по производственному цеху;
- д) необходимость освобождения цеха от рабочего персонала и обслуживаемого оборудования на период проведения измерений и работы подъемника;
- е) сложность доступа к некоторым точкам измерения.

В виду перечисленных факторов процедура измерения планово-высотного положения одного кранового пути описанным методом на ОПО «Участок транспортный» по времени занимает 8 часов без учета перерывов, в том числе:

- 2 часа – организационно-технические мероприятия;
- 5 часов – время, затраченное на проведение измерений;
- 1 час – заключительные работы.

Для сокращения времени, необходимого для измерения планово-высотного положения кранового пути предложено изготовить силами ремонтной службы специальное приспособление, предназначенное для доставки к точке измерения геодезической призмы без привлечения дополнительного персонала.



Приспособление 1 с геодезической призмой 2 устанавливается на подкрановый рельс 3 (рисунок 22). С помощью специальной тяги устройство жестко связывается с тележкой крана. Движение тележки вдоль рельса и установка ее на обозначенном месте осуществляется перемещением крана, управляемым пультом управления, находящимся у специалиста, осуществляющего измерения.

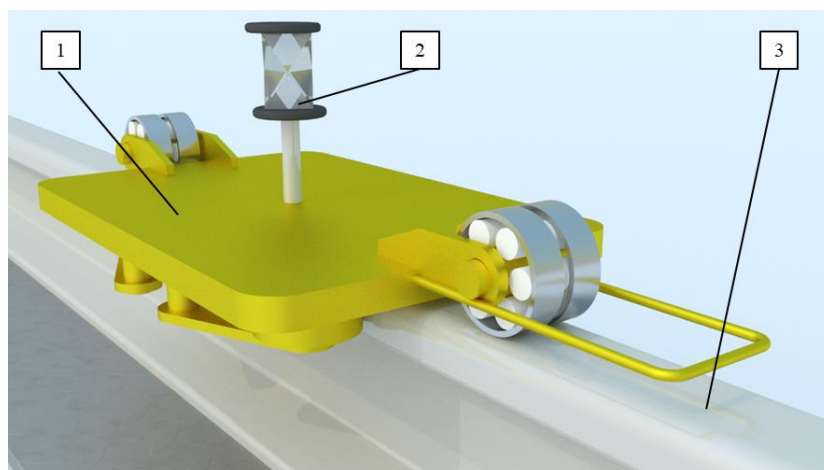


Рисунок 22 – Приспособление для проведения измерения планово-высотного положения крановых путей

Положительный эффект достигается за счет:

- отсутствия необходимости привлечения дополнительного персонала к проведению работ;
- отсутствия необходимости проводить организационно-технические мероприятия по подготовке к работам с повышенной опасностью;
- отсутствия необходимости освобождать производственное помещение;
- быстрой смены точки измерения в пределах скорости перемещения крана по рельсам.

Пробное проведение измерений с помощью приспособления показало следующие результаты:

- измерения провел один специалист инженерно-геодезической службы без привлечения других специалистов;

- время, затраченное на проведение измерений, составило 2 часа, из них 0,5 часа подготовительных, 1 час проведения измерений и 0,5 часа заключительных работ;
- качество измерений с применением устройства и без него сопоставимы;
- технологический процесс в производственном цехе не останавливался, за исключением простоя крана в течение 2 часов.

Оценим экономический эффект от внедрения и применения приспособления для планово-высотной съемки крановых путей [43].

Процедура измерения планово-высотного положения крановых путей должна проводиться не реже одного раза в год для каждого кранового пути.

В АО «Чукотская горно-геологическая компания» имеется 14 крановых путей общей протяженностью 700 метров. Длина исследованного кранового пути составляет 80 м, следовательно, время на проведение планово-высотной съемки всех крановых путей до применения приспособления составляет:

$$t_{Cl} = \frac{L \cdot t_o}{80}, \quad (9)$$

где  $L$  – общая протяженность всех крановых путей, м;

$t_o$  – время проведения измерений планово-высотного положения кранового пути длиной 80 метров, ч.

$$t_{Cl} = \frac{700 \cdot 5}{80} = 43,75 \text{ ч}$$

Суммарные годовые затраты времени на технологические операции по измерению планово-высотного положения всех крановых путей до применения приспособления составляют:

$$t_I = (t_{подгI} + t_{заклI}) \cdot K_{путей} + t_{Cl}, \quad (10)$$

где  $t_{подгI}$  – время подготовительных работ к проведению измерений

одного кранового пути, ч;

$t_{закл1}$  – время заключительных работ после проведения измерений одного кранового пути, ч;

$K_{путей}$  – количество крановых путей на предприятии, шт.

$$t_1 = (2 + 1) \cdot 14 + 43,75 = 85,75 \text{ ч}$$

Суммарные годовые затраты на оплату труда на технологические операции по проведению измерений планово-высотного положения всех крановых путей до применения приспособления составляют:

$$Z_1 = \sum (T_{чi} \cdot t_1), \quad (11)$$

где  $T_{чi}$  – часовая ставка специалиста, задействованного в проведении работ, руб.

Действующие часовые ставки с учетом районных коэффициентов и надбавок составляют:

- машинист подъемника – 510,9 руб.;
- ответственный производитель работ – 653,3 руб.;
- специалисты инженерно-геодезической службы – 685,5 руб.;
- слесарь по ремонту оборудования – 480,3 руб.;
- сварщик – 502 руб.;
- токарь – 536,4 руб.

Годовые затраты на оплату труда составят:

$$Z_1 = (510,9 + 653,3 + 685,5 + 685,5) \cdot 85,75 = 217393,4 \text{ руб.}$$

Рассчитаем время, необходимое для проведения измерений планово-высотного положения всех крановых путей с применением приспособления:

$$t_2 = (t_{подг2} + t_{закл2}) \cdot K_{путей} + t_{C2}, \quad (12)$$

где  $t_{подг2}$  – время подготовительных работ к проведению измерений одного кранового пути, ч;

$t_{закл2}$  – время заключительных работ после проведения измерений, ч;

$t_{C2}$  – время проведения измерений с применением приспособления, ч.

$$t_{C2} = \frac{700 \cdot 1}{80} = 8,75 \text{ ч}$$

$$t_2 = (0,5 + 0,5) \cdot 14 + 8,75 = 22,75 \text{ ч}$$

Суммарные годовые затраты на оплату труда на технологические операции по измерению плано-высотного положения всех крановых путей с применением приспособления составляют:

$$З_2 = 685,5 \cdot 22,75 = 15595,1 \text{ руб.}$$

Прирост производительности труда за счет уменьшения затрат времени на выполнение операции:

$$П_{пр} = \frac{t_1 + t_2}{t_1} \cdot 100\%, \quad (13)$$

$$П_{пр} = \frac{87,75 - 22,75}{87,75} \cdot 100\% = 74,1\%$$

Размер экономии затрат на оплату труда в следующем году:

$$\mathcal{Э} = (З_1 - З_2), \quad (14)$$

$$\mathcal{Э} = 217393,4 - 15595,1 = 201798,3 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на изготовление приспособления:

$$Z_{изг} = \sum (T_{чC_i} \cdot t_i) + C_M, \quad (15)$$

где  $T_{чC_i}$  – часовая ставка специалиста, задействованного в изготовлении, ч;

$t_i$  – продолжительность работы специалиста при изготовлении приспособления, ч;

$C_M$  – стоимость материалов, использованных при изготовлении приспособления – 20000 руб.

Действующие часовые ставки с учетом районных коэффициентов и надбавок составляют:

- слесарь по ремонту оборудования – 480,3 руб.;
- сварщик – 502 руб.;
- токарь – 536,4 руб.
- слесарь по ремонту оборудования – 12 часов;
- сварщик – 4 часа;
- токарь – 4 часа.

$$Z_{изг} = (480,3 \cdot 12) + (502 \cdot 4) + (536 \cdot 4) + 20000 = 29917,2 \text{ руб.}$$

Период окупаемости затрат на изготовление приспособления определяется соотношением суммы произведенных затрат к общей годовой экономии:

$$P_{ок} = \frac{Z_{изг}}{\mathcal{E}}, \quad (16)$$
$$P_{ок} = \frac{29917,2}{201798,3} = 0,15 \text{ лет}$$

Коэффициент экономической эффективности – это величина, обратная сроку окупаемости.

$$K = \frac{\mathcal{E}}{3_{изг}}, \quad (17)$$
$$K = \frac{201798,3}{29917,2} = 6,7$$

Рассчитаем показатели социальной эффективности мероприятий по техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте.

Коэффициент частоты травматизма:

$$K_{\text{ч}} = \frac{Ч_{\text{НС}} \cdot 1000}{ССЧ}, \quad (18)$$

где  $Ч_{\text{НС}}$  – число пострадавших от несчастных случаев на производстве, человек;

$ССЧ$  – годовая среднесписочная численность работников, человек.

Коэффициент частоты травматизма до проведения мероприятий:

$$K_{\text{ч1}} = \frac{3 \cdot 1000}{188} = 15,96$$

Коэффициент частоты травматизма после проведения мероприятий:

$$K_{\text{ч2}} = \frac{2 \cdot 1000}{188} = 10,64$$

Изменение коэффициента частоты травматизма:

$$\Delta K_{\text{ч}} = 1 - \frac{K_{\text{ч2}}}{K_{\text{ч1}}} \cdot 100, \quad (19)$$

$$\Delta K_{\text{ч}} = 1 - \frac{10,64}{15,96} \cdot 100 = 33\%$$

Коэффициент тяжести травматизма:

$$K_m = \frac{D_{\text{НС}}}{\text{Ч}_{\text{НС}}}, \quad (20)$$

где  $D_{\text{НС}}$  – количество дней нетрудоспособности в связи с несчастным случаем, дней.

Коэффициент тяжести травматизма до проведения мероприятий:

$$K_{T1} = \frac{32}{3} = 10,67$$

Коэффициент тяжести травматизма после проведения мероприятий:

$$K_{T2} = \frac{17}{2} = 8,5$$

Изменение коэффициента тяжести травматизма:

$$\Delta K_T = 1 - \frac{K_{T2}}{K_{T1}} \cdot 100, \quad (21)$$

$$\Delta K_T = 1 - \frac{8,5}{10,67} \cdot 100 = 20\%$$

Рассчитаем потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год:

$$BUT = \frac{100 \cdot D_{нс}}{ССЧ}, \quad (22)$$

Потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год до проведения мероприятий:

$$BUT_1 = \frac{100 \cdot 32}{188} = 1$$

Потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год после проведения мероприятий:

$$BUT_2 = \frac{100 \cdot 17}{188} = 9$$

Фактический годовой фонд рабочего времени 1 основного рабочего:

$$\Phi_{факт} = \Phi_{план} - BUT, \quad (23)$$

где  $\Phi_{план}$  – плановый фонд рабочего времени 1 основного рабочего, 247 дней.

Фактический годовой фонд рабочего времени 1 основного рабочего до проведения мероприятий:

$$\Phi_{факт1} = 247 - 17 = 230$$

Фактический годовой фонд рабочего времени 1 основного рабочего после проведения мероприятий:

$$\Phi_{факт2} = 247 - 9 = 238$$

Прирост фактического фонда рабочего времени 1 основного рабочего



после проведения мероприятий:

$$\Delta\Phi_{\text{факт}} = \Phi_{\text{факт}2} - \Phi_{\text{факт}1} \quad (24)$$

$$\Delta\Phi_{\text{факт}} = 238 - 230 = 8$$

По результатам внедрения на руднике «Купол», принадлежащего АО «Чукотская горно-геологическая компания», нового метода проведения измерений планово-высотного положения крановых путей с помощью специального приспособления и введения в действие Регламента проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол» был проведен сравнительный анализ эффективности мероприятий.

При анализе сравнивались показатели привлекаемых для проведения работ ресурсов, трудозатраты на проведение работ, социальной и экономической эффективности.

Сравнительный анализ привлекаемых для проведения работ по измерению планово-высотного положения крановых путей ресурсов представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Сравнительный анализ ресурсов, привлекаемых для проведения работ по измерению планово-высотного положения крановых путей

Привлекаемые для проведения работ ресурсы	Единицы измерения	Было	Стало
Машинист гидравлического подъемника	человек	1	0
Специалист, осуществляющий установку в точке измерения геодезической призмы	человек	1	0
Специалист, проводящий измерения	человек	1	1
Инженерно-технический работник, ответственный за безопасное проведение работ на высоте	человек	1	0
Гидравлический подъемник	ед.	1	0
Инженерно-геодезические приборы	комплект	1	1
Средства индивидуальной защиты от падения с высоты	комплект	2	0

Анализ изменения трудозатрат проведение работ по измерению плано-высотного положения крановых путей представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительный анализ трудозатрат на проведение работ

Трудозатраты	Единицы измерения	Было	Стало
Осмотр места проведения работ и планирование работ	час	0,2	0,2
Освобождение производственного цеха от обслуживаемого оборудования	час	1	0
Установка сигнального ограждения по периметру работы гидравлического подъемника	час	0,5	0
Подготовка гидравлического подъемника к работе	час	0,5	0
Осмотр и проверка средств индивидуальной защиты от падения с высоты	час	0,5	0
Оформление наряда-допуска на производство работ на высоте, проведение целевого инструктажа	час	0,5	0
Установка инженерно-геодезического оборудования	час	0,1	0,1
Непосредственное проведение измерений	час	5	1
Осмотр гидравлического подъемника после проведения работ	час	0,5	0
Снятие инженерно-геодезических приборов, уборка рабочего места	час	0,5	0,5
Снятие сигнального ограждения, сдача средств индивидуальной защиты, закрытие наряда-допуска	час	1	0

Анализ социальной и экономической эффективности мероприятий представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Оценка социальной и экономической эффективности мероприятий

Наименование показателя	Условное обозначение	Единицы измерения	Значение показателя	
			было	стало
Годовая среднесписочная численность работников	$ССЧ$	человек	188	188
Число пострадавших от несчастных случаев на производстве	$Ч_{нс}$	человек	3	2
Количество дней нетрудоспособности в связи с несчастными случаями	$Д_{нс}$	дней	32	17
Плановый фонд рабочего времени в днях	$\Phi_{план}$	дней	247	247
Суммарные годовые затраты времени на технологические операции	$t$	час	87,75	22,75

Продолжение таблицы 13

Наименование показателя	Условное обозначение	Единицы измерения	Значение показателя	
			было	стало
Суммарные годовые затраты времени на технологические операции	$t$	час	87,75	22,75
Суммарные годовые затраты на оплату труда на технологические операции по проведению планово-высотной съемки крановых путей	$З$	руб.	217393,4	15595,1
Коэффициент частоты травматизма	$K_{\text{ч}}$	–	15,96	10,64
Коэффициент тяжести травматизма	$K_{\text{т}}$	–	10,67	8,5
Потери рабочего времени в связи с временной утратой трудоспособности на 100 рабочих за год	$BUT$	дней	17	9
Фактический годовой фонд рабочего времени 1 основного рабочего	$\Phi_{\text{факт}}$	дней	230	238
Прирост производительности труда за счет уменьшения затрат времени на выполнение операции	$П_{\text{тр}}$	%	74,1	
Экономия затрат на оплату труда по проведению измерений планово-высотного положения крановых путей	$\text{Э}$	руб.	201798,3	
Период окупаемости затрат на изготовление приспособления для проведения планово-высотной съемки	$П_{\text{ок}}$	лет	0,15	
Изменение коэффициента частоты травматизма	$\Delta K_{\text{ч}}$	%	33	
Изменение коэффициента тяжести травматизма	$\Delta K_{\text{т}}$	%	20	
Прирост фактического фонда рабочего времени 1 основного рабочего после проведения мероприятий	$\Delta \Phi_{\text{ФАКТ}}$	дней	8	

Проведенный анализ экономической и социальной эффективности показывает целесообразность применения нового метода измерения планово-высотного положения крановых путей при техническом освидетельствовании подъемных сооружений, применяемых на опасных производственных объектах рудника «Купол» АО «Чукотской горно-геологической компании» и введения в действие Регламента проведения технического

освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол».

Вывод по третьей главе.

Таким образом, проведен анализ системы технического диагностирования и освидетельствования технических устройств на опасных производственных объектах, условий проведения работ по техническому диагностированию и освидетельствованию, этапов проведения работ, способов расчета остаточного ресурса технических устройств.

На основании проведенного анализа разделены между собой понятия техническое диагностирование и техническое освидетельствование, выявлены слабые места в системе технического освидетельствования технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах АО «Чукотская горно-геологическая компания». В результате были разработаны административно-технические мероприятия, регламентирующие действия персонала при техническом освидетельствовании технических устройств, предложено техническое решение по повышению эффективности проведения работ по техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств, дана оценка экономической и социальной эффективности предлагаемого решения.

По результатам внедрения на руднике «Купол», принадлежащего АО «Чукотская горно-геологическая компания», нового метода проведения измерений планово-высотного положения крановых путей с помощью специального приспособления и введения в действие Регламента проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол» был проведен анализ эффективности предложенных мероприятий.

Анализ эффективности показал целесообразность применения нового метода проведения измерений планово-высотного положения крановых путей при техническом освидетельствовании подъемных сооружений и разработки организационных мероприятий по обеспечению единого подхода к техническому освидетельствованию подъемных сооружений в виде Регламента.

Так, разработанное и изготовленное специальное приспособление для проведения измерений планово-высотного положения крановых путей позволило сократить привлекаемый для проведения работ персонал с 4 человек до 1 человека, исключить проведение работ на высоте с применением гидравлического подъемника, сократило годовые затраты времени на технологические операции с 87,75 ч до 22,75 ч, обеспечило годовую экономию затрат на оплату труда по проведению измерений планово-высотного положения крановых путей в 201798,3 руб. и прирост производительности труда за счет уменьшения затрат времени на выполнение операции на 74,1%. Период окупаемости затрат на изготовление приспособления составил 0,15 лет.

Введение в действие разработанного «Регламента проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол» позволило снизить коэффициенты частоты и тяжести травматизма на 33% и 20% соответственно и обеспечил прирост фактического фонда рабочего времени одного основного рабочего на 8 дней.

## Заключение

В результате проведенных исследований были изучены и проанализированы особенности эксплуатации и деградационные процессы технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, в результате которого был сделан вывод о том, что в процессе эксплуатации технических устройств непрерывного действия происходит непрерывное увеличение уровня вибрации, которую необходимо регулярно отслеживать для предотвращения отказов и аварий, а по истечении циклов нагрузки технических устройств циклического действия необходимо проводить мероприятия по прогнозированию остаточного ресурса и продлению срока службы.

Проведен анализ аварий и отказов технических устройств. Методом анализа видов и последствий отказов была дана количественная оценка значимости отказов подъемных сооружений и даны рекомендации по снижению вероятности возникновения отказов и уменьшению тяжести последствий реализованных отказов путем разработки организационных мероприятий по обеспечению единого подхода к техническому диагностированию и освидетельствованию технических устройств.

Проведен анализ дефектов и способов их обнаружения неразрушающими методами контроля. Сделан вывод о том, что для повышения достоверности результатов неразрушающего контроля необходимо применение не менее двух методов для поиска поверхностных и внутренних дефектов.

Проведен анализ существующей системы технического диагностирования и освидетельствования на опасных производственных объектах АО «Чукотская горно-геологическая компания». Было выявлено отсутствие единого подхода к этапам технического освидетельствования подъемных сооружений ответственными специалистами различных подразделений, отсутствие паспортов на эксплуатируемые крановые пути, а

также отсутствие должного контроля за состоянием крановых путей кранов мостового типа, передвигающихся по надземных крановым путям. Выявлена высокая сложность и трудоемкость процедуры по подтверждению соответствия крановых путей конструкторской документации путем проведения измерений планово-высотных положений рельсов.

В результате был разработан «Регламент проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол», который позволил обеспечить единый подход к этапам технического освидетельствования подъемных сооружений ответственными специалистами различных подразделений. Введение в действие разработанного «Регламента проведения технического освидетельствования подъемных сооружений на участке «Купол» позволило снизить коэффициенты частоты и тяжести травматизма на 33% и 20%, соответственно, и обеспечил прирост фактического фонда рабочего времени одного основного рабочего на 8 дней.

Было разработано и изготовлено специальное приспособление для проведения измерений планово-высотного положения крановых путей и предложен новый способ проведения измерений, что позволило сократить привлекаемый для проведения работ персонал с 4 человек до 1 человека, исключить проведение работ на высоте с применением гидравлического подъемника, сократило годовые затраты времени на технологические операции с 87,75 ч до 22,75 ч, обеспечило годовую экономию затрат на оплату труда по проведению измерений планово-высотного положения крановых путей в 201798,3 руб. и прирост производительности труда за счет уменьшения затрат времени на выполнение операции на 74,1%. Период окупаемости затрат на изготовление приспособления составил 0,15 лет.

В результате была решена задача по совершенствованию системы технического освидетельствования технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, принадлежащих АО «Чукотская горно-геологическая компания».

## Список используемых источников

1. Аварийность и смертельный травматизм при эксплуатации подъемных сооружений работы [Электронный ресурс] : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <https://www.gosnadzor.ru/industrial/equipment/Analysis/> (дата обращения: 10.10.2022).
2. Бабич А., Ишмухаметов Ф., Зенков А. В. Визуально-измерительный контроль как основной вид неразрушающего контроля при проведении экспертизы промышленной безопасности // Технадзор. 2015. № 12 (109). С. 430–438.
3. Бардышев О. А. О диагностировании технических устройств // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 7. С. 44–48.
4. Башняк С. Е. Методические рекомендации по безопасной эксплуатации подъемных технических средств // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2020. № 1-1 (35). С. 63–68.
5. Богданов А. П., Гайнуллин А. А., Ефимов А. В., Девкович Р. В., Наумов Д. С., Окулов К. Ю. Обзор методов укрупненной оценки остаточного ресурса оборудования, эксплуатируемого на опасных производственных объектах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 98–105.
6. Валеев С. И., Поникаров С. И. Техническая диагностика: Учебное пособие. Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2015. 124 с.
7. Гоголь С. С. Техническое освидетельствование подъемных сооружений // Сборник статей LXIV Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations». Пенза. 2022. С. 75–78.
8. Гоголь С. С. Эксплуатация вентиляторных установок главного проветривания шахт // Сборник статей XX Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза. 2022. С. 98–101.



9. Демин А. В., Махутов Н. А., Гаденин М. М., Иванов В. И. Инновационные подходы при проведении технического диагностирования технических устройств на опасных производственных объектах // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 3. С. 5–17.
10. Земцова О. Г., Артамонов Д. В. Сложности измерения геометрических параметров подкрановых путей мостовых кранов в реальных условиях // Дневник науки. 2019. № 4 (28). С. 52.
11. Калитин В. В. Основные пути развития экспертизы промышленной безопасности // Научный электронный журнал «Меридиан». 2021. № 6(59). С. 6–8.
12. Комлев А. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля // Технадзор. 2015. № 11 (108). С. 580–591.
13. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 56542-2019 : введ. 01.11.2020. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169346> (дата обращения: 13.09.2022).
14. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод. Типовые технологические процессы [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 56512-2015 : введ. 01.06.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200122220> (дата обращения: 13.08.2022).
15. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов [Электронный ресурс] : ГОСТ 32106-2013 : введ. 01.11.2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107329> (дата обращения: 23.08.2022).
16. Краны грузоподъемные. Классификация режимов работы [Электронный ресурс] : ГОСТ 34017-2016 : введ. 01.01.2018. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144610> (дата обращения: 18.12.2022).
17. Лейфер Л. А., Кашникова П. М. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2008. № 1 (76). С. 66–79.

18. Методические рекомендации о порядке проведения вихретокового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах [Электронный ресурс] : РД-13-03-2006 : введ. 25.12.2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047503> (дата обращения: 23.08.2022).

19. Методические рекомендации о порядке проведения капиллярного контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах [Электронный ресурс] : РД-13-06-2006 : введ. 25.12.2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047506> (дата обращения: 23.08.2022).

20. Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах [Электронный ресурс] : РД-13-04-2006 : введ. 25.12.2006. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200047504> (дата обращения: 23.08.2022).

21. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов [Электронный ресурс] : РД-15-14-2008 : введ. 01.08.2008. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062379> (дата обращения 20.01.2023).

22. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов [Электронный ресурс] : РД 03-421-01 : утв. постановлением Госгортехнадзора России № 39 от 06.09.2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030798> (дата обращения: 16.01.2023).

23. Методические указания по проведению обследования кранов мостового типа с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации Часть 5. Краны мостовые и козловые [Электронный ресурс] : РД 10-112-5-97 : введ. 01.01.1998. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004844> (дата обращения: 18.02.2023).

24. Методические указания по проведению экспертных обследований

вентиляторных установок главного проветривания [Электронный ресурс] : РД 03-427-01 : введ. 01.04.2002. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029333> (дата обращения: 16.03.2022).

25. Надежность в технике. Термины и определения [Электронный ресурс] : ГОСТ 27.002-2015 : введ. 01.03.2017. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136419> (дата обращения: 25.02.2023).

26. О безопасности машин и оборудования [Электронный ресурс] : Технический Регламент Таможенного Союза 010/2011 : утв. Решением Комиссии Таможенного Союза № 823 от 18.10.2011 (ред. от 16.05.2016). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902307904> (дата обращения: 10.01.2023).

27. О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 29.12.2022). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234) (дата обращения: 20.02.2023).

28. Об утверждении инструкции по визуальному и измерительному контролю [Электронный ресурс] : Постановление Федерального горного и промышленного надзора России от 11.06.2003 № 92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901865879> (дата обращения: 13.09.2022).

29. Об утверждении Положения о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах [Электронный ресурс] : Постановление Федерального горного и промышленного надзора России от 09.07.2002 № 43. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901824662> (дата обращения: 19.01.2023).

30. Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте [Электронный ресурс] : Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 16.11.2020 № 782н. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573114692> (дата обращения: 20.12.2022).

31. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на

опасных производственных объектах» [Электронный ресурс] : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2020 № 478. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573200379> (дата обращения 20.01.2023).

32. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [Электронный ресурс] : Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 № 461. URL: <https://base.garant.ru/400165076> (дата обращения: 11.06.2022).

33. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила осуществления эксплуатационного контроля металла и продления срока службы основных элементов котлов и трубопроводов тепловых электростанций» [Электронный ресурс] : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 535. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275679> (дата обращения 19.01.2023).

34. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности» [Электронный ресурс] : Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.10.2020 № 420. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573053315> (дата обращения 11.08.2022).

35. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением» [Электронный ресурс] : Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 536. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275722> (дата обращения 05.08.2022).

36. Оборудование тепломеханическое тепловых электростанций. Контроль состояния металла. Нормы и требования [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 58177-2018 : введ. 01.03.2019. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200160969> (дата обращения: 26.02.2023).

37. Орешко Е. И. Методы измерения твердости материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 1 (85). С. 101–117.

38. Попов В. А. Обеспечение промышленной безопасности при эксплуатации крановых установок специализированного подвижного состава // Вестник МАНЭБ. 2020. № 4. С. 20–24.

39. Рекомендации по экспертному обследованию грузоподъемных машин. Общие положения [Электронный ресурс] : РД 10-112-1-04 : одобрен секцией Научно-технического совета по подъемным сооружениям Федеральной службы по технологическому надзору (протокол 26.04.2004). URL: <https://dokipedia.ru/document/1724470> (дата обращения 20.02.2023).

40. Теплинский Ю. А. Диагностика прочностного ресурса газопровода методом ультразвуковой толщинометрии // Газовая промышленность. 2008. № 5 (617). С. 69–71.

41. Ткачев М. В. Анализ видов и последствий отказов как компонент плана ТОиР оборудования [Электронный ресурс] : Журнал: Prostoev.NET. 2018. № 3(16). URL: <https://prostoev.net/analiz-vidov-i-posledstvij-otkazov-kak-komponent-plana-toir-oborudovaniya/> (дата обращения: 01.08.2022).

42. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения [Электронный ресурс] : ГОСТ 15467-79 : введ. 01.07.1979. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001719> (дата обращения: 11.06.2022).

43. Фрезе Т. Ю. Оценка эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности: учебно-методическое пособие по выполнению раздела выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы). Тольятти: ТГУ, 2019. 60 с.

44. Ширяев А. М. Диагностика усталости сосудов из аустенитных сталей // Сварка и диагностика. 2015. № 6. С. 35–39.

45. Юдов А. Е., Каменев А. А. Методы и преимущества ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х

томах. / ред. Горохов А. А. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2018. Т.3. С. 254–256.

46. Beskopylnyi A. N., Vernezi N. L., Veremeenko A. A., Arakelyan R. M. Experience non-destructive testing of the metal of bridge structures // The International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice for the innovation Development». 2019. № 698. P. 6.

47. Dubyago M. N. Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration // Advances in energy, environment and chemical engineering. 2015. № 10. P. 49–54.

48. Koson-Schab A. Investigation of the impact of load on the magnetic field strength of the crane by the magnetic metal memory technique // Materials. 2020. № 23. P. 1–12.

49. Rajput S., Sabharwal N., Singh A. City Gas Distribution Incident Analysis in India using Pareto Principle: A Comprehensive Analysis // Journal of failure analysis and prevention. 2022. № 3. P. 899–911.

50. Spreafico C. A review about methods for supporting failure risks analysis in eco-assessment // Environmental Monitoring and Assessment. 2021. № 7. P. 439.

51. Wang Y., Lian M., Liu H. Incident Angle Identification Based on First-Echo Energy Attenuation in Ultrasonic Thickness Measurement // IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. 2018. № 11. P. 2141–2149.

52. Wu Y. Computational methods for efficient structural reliability and reliability sensitivity analysis // AIAA Journal. 1994. № 8. P. 1717–1723.

53. Zolina T. V. Skewed crane movement as a cause of defect accumulation and damages of bearing frame structures of industrial building // Scientific herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. 2015. № 4 (28). P. 7–15.

## Приложение А

### Анализ видов и последствий отказов подъемных сооружений АО «Чукотской горно-геологической компании»

Таблица А.1 – Анализ видов и последствий отказов подъемных сооружений АО «Чукотской горно-геологической компании»

Компонент	Возможный отказ	Возможные последствия	Возможные причины	Оценка рисков (фактическая)			Мероприятия	Оценка рисков (желаемая)		
				ТП	ВВО	НПР		ТП	ВВО	НПР
Расчетные металлоконструкции крана	Деформация	Выход из строя оборудования	Превышение грузоподъемности	4	2	8	Запретить превышение грузоподъемности крана. Обеспечить наличие действующего ограничителя грузоподъемности. Проверять работоспособность ограничителя грузоподъемности перед началом смены.	4	1	4
Расчетные металлоконструкции крана	Деформация	Выход из строя оборудования	Превышение установленного режима работы	4	2	8	Пересмотреть номенклатуру перемещаемых грузов Пересмотреть технологические карты. Исключить операции, приводящие к превышению установленного режима работы.	4	1	4
Расчетные металлоконструкции крана	Трещины	Продолжительный ремонт	Превышение грузоподъемности	3	3	9	Запретить превышение грузоподъемности крана. Обеспечить наличие действующего ограничителя грузоподъемности. Проверять работоспособность ограничителя грузоподъемности перед началом смены.	3	2	6
Расчетные металлоконструкции крана	Коррозия	Временная остановка	Износ лакокрасочного покрытия	2	1	2	Контролировать состояние лакокрасочного покрытия при техническом освидетельствовании. Восстанавливать лакокрасочное покрытие 1 раз в год.	2	1	2

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Компонент	Возможный отказ	Возможные последствия	Возможные причины	Оценка рисков (фактическая)			Мероприятия	Оценка рисков (желаемая)		
				ТП	ВВО	НПР		ТП	ВВО	НПР
Электродвигатель лебедки	Неисправность подшипников	Временная остановка	Некачественное ТО	2	1	2	Включить в технологическую карту технического обслуживания обязательный контроль и смазку подшипников.	2	1	2
Электродвигатель лебедки	Неисправность электрооборудования	Временная остановка	Перегрев обмоток электродвигателя	2	1	2	Пересмотреть номенклатуру перемещаемых грузов Пересмотреть технологические карты. Исключить операции, приводящие к превышению установленного режима работы.	2	1	2
Канатно-блочная система	Износ каната	Обрыв каната	Нарушение условий эксплуатации	3	4	12	Пересмотреть номенклатуру перемещаемых грузов. Пересмотреть технологические карты. Исключить операции, приводящие к превышению установленного режима работы.	3	3	9
Канатно-блочная система	Износ каната	Обрыв каната	Некачественное ТО	3	4	12	Включить в технологическую карту технического обслуживания обязательный контроль всей длины каната.	3	2	6
Крюковая подвеска	Неисправность замка	Временная остановка	Некачественное ТО	3	3	9	Проверять наличие и работоспособность замка крюка перед началом смены.	3	1	3
Крюковая подвеска	Трещины	Разрушение крюка	Нарушение условий эксплуатации	4	4	16	Проводить предсменный визуальный осмотр крюковой подвески. Проводить ультразвуковую диагностику крюка при техническом освидетельствовании.	4	2	8



Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

Компонент	Возможный отказ	Возможные последствия	Возможные причины	Оценка рисков (фактическая)			Мероприятия	Оценка рисков (желаемая)		
				ТП	ВВО	НПР		ТП	ВВО	НПР
Крановый путь	Деформация подкрановых конструкций	Падение крана	Усталость металла несущих конструкций	4	5	20	Проводить ежемесячный осмотр подкрановых металлоконструкций. Включить осмотр подкрановых металлоконструкций в график осмотра зданий и сооружений.	4	1	4
Крановый путь	Износ головки рельса	Продолжительный ремонт	Нарушение условий эксплуатации	3	2	6	Проводить фактический замер геометрических размеров оголовка рельса каждые 24 смены. 1 раз в год проводить обследование крановых путей. 1 раз в 3 года проводить комплексное обследование крановых путей.	3	1	3
Крановый путь	Трещины рельса	Продолжительный ремонт	Нарушение условий эксплуатации	3	1	3	Проводить осмотр подкрановых рельсов каждые 24 смены. 1 раз в год проводить обследование крановых путей. 1 раз в 3 года проводить комплексное обследование крановых путей.	3	1	3