

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология  
Отделение школы (НОЦ) ИШИТР

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Методы неразрушающего контроля при экспертизе кранов</b>

УДК 621.873-047.38:620.179.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Заревич А. И.	к.т.н., доцент ОАР ИШИТР		
Руководитель ООП	Казаков В. Ю.	к.ф.м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н. В.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШНКБ	Авдеева И. И.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов А. П.	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа информационных технологий и робототехники

Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология

Отделение школы (НОЦ) ИШИТР

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Казаков В. Ю.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Ивановой Ангелине Михайловне

Тема работы:

Методы неразрушающего контроля при экспертизе кранов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 13.04.2018 № 2585/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.06.2018

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ)*

Объектом исследования выбраны ГПМ с отработавшим нормативным сроком службы. Особые требования, предъявляемые к объектам, это продление срока службы сверх нормативного без изменения режимов работы при обеспечении безопасной эксплуатации. К требованиям также относятся соблюдение требований экологичности, обеспечивающих нормированные энергозатраты, и получение запланированной прибыли при прогнозировании остаточного ресурса.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Методики проведения экспертизы промышленной безопасности. Методы неразрушающего контроля. Методы неразрушающего контроля, применяемые при экспертизе промышленной безопасности. Типы металлоконструкций кранов и особенности их нагружения. Технические характеристики кранов. Методы расчет остаточного ресурса. Расчетный случаи (А и Б). Общие расчетные показатели для всех типов ГПМ.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Общие виды кранов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– порталный кран «Альбатрос 10-32-10,5»;</li> <li>– самоходный кран «КПЛ 16-30».</li> </ul> <p>Фактические дефекты металлоконструкции:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– узел крепления гнутого листа буксовой зоны к внутренней стенке балки в зоне приводного ходового колеса (трещина в сварном шве);</li> <li>– верхний пояс стрелы (трещина в ремонтном сварном шве в зоне ремонтной накладки в средней части стрелы -видимая длина трещины 50мм);</li> <li>– нижняя фасонка соединения шарнира и стрелы (трещина длиной 100мм в ремонтном сварном шве фасонки);</li> <li>– внутренняя стенка в буксовой зоне приводного ходового колеса (трещина длиной 70мм в сварном шве крепления гнутого листа к стенке балки).</li> </ul> <p>Схема алгоритма расчета интервала повторной экспертизы металлоконструкции.</p> <p>Структурная схема определения остаточного ресурса. -</p> <p>Схема поперечного сечения пролетной балки (разрез на консоли).</p> <p>Презентация.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Основные разделы</b></p>	<p><b>Шарутина В. А.</b></p>
<p><b>Раздел на английском языке</b></p>	<p><b>Кузнецова И. Н.</b></p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p><b>Авдеева И. И.</b></p>

<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Шаповалова Н. В.</b>
--	-------------------------

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Methods of non-destruction testing in metalwork.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	<b>02.10.2017</b>
---	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А. И.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения инновационных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием современных технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, проводить анализ состояния и динамики метрологического и нормативного обеспечения производства, производить оценку качества измерений, контроля и испытаний, проводить работы по автоматизации измерений и контроля в производстве и научных исследованиях
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: выполнять разработку и экспертизу новых технических регламентов и другой нормативной документации, разрабатывать процедуры оценки соответствия, поддерживать единое информационное пространство планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла изделий
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: исследовать причины появления некачественной продукции, разрабатывать предложения по предупреждению и устранению причин брака, осуществлять приемочный и выходной контроль продукции, а также контроль производства на основе современных технических средств
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения инновационной инженерной деятельности; организовывать работы по защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на них, проводить технико-экономический анализ по проектам, связанным с метрологическим обеспечением производства
	<i>Универсальные компетенции</i>
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, заниматься научно-педагогической деятельностью в области метрологии, технического регулирования и управления качеством
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок работ, демонстрировать ответственность за результаты работы
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности, проявлять гражданскую позицию, направленную на его совершенствование

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) 27.04.01 Стандартизация и метрология  
 Уровень образования магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) ИШИТР  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.11.2017	Проведение аналитического обзора по заданной теме	10
11.12.2017	Сравнение имеющихся методов неразрушающего контроля	10
12.02.2018	Сравнение двух имеющихся методик проведения экспертиз промышленной безопасности	20
12.03.2018	Расчеты по имеющимся методикам с применением методов неразрушающего контроля	20
26.03.2018	Выводы по результатам расчетов	10
23.04.2018	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
07.05.2018	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	10
21.05.2018	Выполнение раздела на иностранном языке	5
28.05.2018	Оформление графического материала	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич А. И.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР	Казаков В. Ю.	к.ф.м.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна

<b>Институт</b>	<b>Кибернетики</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Систем управления и мехатроники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	27.04.01/Стандартизация и метрология

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость проведения экспертизы промышленной безопасности, включающие в себя тарифные ставки работ экспертов и наладчиков; стоимость оборудования и расходных материалов, применяемых при экспертизе.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норм не установлено из-за большого количества различного типа оборудования и его технических показателей, а также из-за большой конкуренции на рынке среди экспертных компаний. Используется метод маркетинговых исследований, рассчитанны по критерию Фишера (с достоверным результатом не ниже 70%).
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоги в соответствии с принятым уровнем по законодательству в РФ.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценка потенциальных потребителей методики выступают порты и судоходные компании, также экспертные компании и ведомства, осуществляющие надзор и контроль за грузоподъемным оборудованием. SWOT- анализ предлагаемой разработки.
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	Цели результаты представленной методики, ожидаемые результаты внедрения методики на производстве.
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчеты сметы на проведение экспертизы промышленной безопасности с применением различных методов контроля, сравнительный анализ затрат на покупку экспертного оборудования с затратами на приобретение новой грузоподъемной машины.
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Сравнение затрат на проведение экспертизы промышленной безопасности с использованием двух методов неразрушающего контроля и затрат на покупку нового крана.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. SWO- анализ
2. Смета затрат

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Н. В.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна

<b>Институт</b>	<b>Кибернетики</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Систем управления и мехатроники</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	27.04.01/Стандартизация и метрология

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></li> <li>– <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></li> <li>– <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></li> </ul>	<p>В морских и речных портах РФ используют ГПМ, которые занимаются перегрузкой различного вида грузов. Так как эксплуатация проходит все время на открытом воздухе и оборудование управляется человеком, учитываются некоторые особенности безопасной работы, а именно: метеоусловия и освещение (перепады температур, темное время суток, ограниченная видимость из-за тумана или дождя), род перегружаемого груза (вредные вещества и пыль), шумы, вибрации и электромагнитные поля (влияют на здоровье крановщика).</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>Федеральный закон №116[1] и система стандартов по грузоподъемным кранам[8-13].</p>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li>– <i>действие фактора на организм человека;</i></li> <li>– <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li>– <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></li> </ul>	<p>Перепады температур, влажность, запыленность рабочего места, а также работа на открытом воздухе стропальщиков, сигнальщиков, наладчиков (слесарей и электриков), крановщиков. Психологический фактор из-за работы в условиях ограниченной видимости</p>
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>механические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li>– <i>термические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li>– <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);</i></li> <li>– <i>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i></li> </ul>	<p>Вредные вещества, к которым относятся нефтепродукты, пыль химически опасные вещества. Работа на высоте, электробезопасность, пожаробезопасность. Механические опасности, к которым относят движение машин и механизмов.</p>

<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Правила по переработке вредных и опасных грузов, защита селитебной зоны, анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы), анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы), анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>ЧС – авария. Для предотвращения аварийных ситуаций разработаны правила эксплуатации ГПМ, в которые включена обязательная проверка технического состояния ежесменная и периодическая.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Обеспечение безопасности на рабочем месте, эргономика рабочего пространства кабины крановщика.</p>
<b>Перечень графического материала:</b>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент, инженер	Авдеева И. И.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 110 листов, 19 рисунков, список литературы 11 источников, два приложения.

Ключевые слова: экспертиза промышленной безопасности, неразрушающий контроль, методы неразрушающего контроля, метод магнитной памяти металла, ультразвуковой контроль, грузоподъемные машины, порталный кран, плавающий кран, остаточный ресурс.

Актуальность обусловлена обязательным проведением ЭПБ в соответствии с Федеральными нормами и правилами в области технического регулирования для грузоподъемных машин с истекшим нормативным сроком службы.

Объектом исследования является методика проведения экспертизы промышленной безопасности металлоконструкций грузоподъемных машин.

Цель работы - исследование возможности разработки обобщенной методики проведения экспертизы промышленной безопасности металлоконструкций грузоподъемных машин.

Задачи исследования состоят в проведении обзора и сравнения методов неразрушающего контроля металлоконструкций, руководящих документов Ростехнадзора и Морского регистра по обследованию портового грузоподъемного оборудования, подробного изучения нормативной базы двух ведомств проведение расчетов остаточного ресурса грузоподъемных машин на основе руководящих документов, а также сравнительные расчеты экономической эффективности применения методик различных методов обследования металлоконструкций.

Работа представлена ведением, пятью основными разделами (главами) и заключением, приведен список публикаций студента, список использованных источников.

В главе 1 «Экспертиза промышленной безопасности грузоподъемного оборудования» рассматриваются методики проведения экспертизы

промышленной безопасности, основные методы НК и методы, которые наиболее эффективны и применимы при экспертизе промышленной безопасности.

В главе 2 «Основные характеристики грузоподъемных машин» рассматриваются типы металлоконструкций кранов и особенности их нагружения и технические характеристики грузоподъемного оборудования.

В главе 3 «Методы расчет остаточного ресурса» рассматриваются основные расчетные случаи А и Б и общие расчетные показатели для всех типов ГПМ.

В главе 4 «Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассматриваются основные экономические расчеты применения двух методов в экспертизе промышленной безопасности, сравнение себестоимостных затрат на проведение одной экспертизы с затратами на приобретение нового оборудования.

В главе 5 «Социальная ответственность» рассматриваются опасные и вредные факторы, влияющие на работу с использованием грузоподъемного оборудования и на проведение экспертиз.

В заключении изложены основные доводы о важности внедрения универсальной методики на производство, приведены описаны значимые факторы, влияющие на экономические показатели в статье расходов и на безопасность и скорость работ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

**Владелец крана:** организация или индивидуальный предприниматель, у которых в собственности или на правах аренды находится плавучий и/или судовой кран.

**Диагностирование техническое:** оценка технического состояния крана (является составной частью экспертного обследования).

**Дефект:** невыполнение требования, связанного с предполагаемым или установленным использованием или каждое отдельное несоответствие крана, его узла или элемента требованиям, предъявляемым в рабочей или нормативной документации.

**Документ нормативный:** документ (стандарт, правила, положения, руководства, руководящие документы, технические условия, методические указания), содержащий требования безопасности, согласованный или утвержденный в установленном порядке.

**Документация эксплуатационная:** техническая документация (часть общей конструкторской или проектная документация), которая поставляется изготовителем вместе с грузоподъемным краном (паспорт, техническое описание и инструкция по эксплуатации, инструкция по монтажу), а также учетные и контрольные документы по надзору и содержанию грузоподъемных машин (журналы, акты, предписания, инструкции для обслуживающего персонала).

**Интервал повторного обследования:** время от момента текущего обследования до повторного проведения экспертизы промышленной безопасности, обеспечивающий безотказность металлоконструкций крана в течение остаточного ресурса (поэтапное продление срока эксплуатации).

**Неразрушающий контроль:** контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта или отдельных его элементов (узлов), не требующий выведения объекта из работы либо его демонтажа.

**Обследование:** комплекс работ по техническому диагностированию крана с целью выдачи заключения о возможности и условиях его дальнейшей эксплуатации на определенный период.

**Остаточный ресурс:** ресурс, исчисляемый от значения наработки втекущий момент времени или суммарная наработка крана от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

**Оценка остаточного ресурса крана:** комплекс экспертных и, при необходимости, -экспериментальных и расчетных работ, результатом которой является назначение (с заранее принятой вероятностью 90 %) остаточного срока службы; по истечению которой кран гарантированно не достигнет одного из своих предельных состояний.

**Работоспособное состояние:** состояние портального крана, при котором значения всех его параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствует требованиям нормативной и (или) конструкторской (проектной) документации.

Примечание: В работоспособном состоянии кран может иметь отдельные дефекты и повреждения, не влияющие на его основные показатели и безопасность транспортировки грузов. Например, нарушение окраски поверхности, следы начала коррозии, деформации отдельных элементов, износ отдельных деталей, не выходящий за пределы допустимые и так далее

**Ремонт капитально-восстановительный:** ремонт, выполняемый для кранов с истекшим сроком службы путем выявления дефектов после разборки крана, их устранения и восстановления ресурса крана до следующего обследования.

**Ресурс остаточный металлоконструкции крана:** наработка крана от момента проведения экспертного обследования до момента достижения несущими элементами металлоконструкции предельного состояния.

**Срок службы нормативный:** календарная продолжительность эксплуатации крана с момента изготовления (достройки) до достижения предельного состояния его базовыми частями (несущими металлоконструкциями), записанная в паспорте, либо, в случае отсутствия такой записи, определенная нормативной документацией.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ГЗУ - грузозахватное устройство;

ГПМ - грузоподъемные машины;

ЗКН – зона концентрации напряжений;

МК– металлоконструкция;

МПМ –магнитная память металла;

НК – неразрушающий контроль;

ПК - порталный кран;

УЗК – ультразвуковой контроль;

ЭПБ - экспертиза промышленной безопасности.



## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997г изменение от 04.03.2013.
2. Федеральный закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002г.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности»
4. Федеральные нормы и правилами в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»
5. РД 10-112-96 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 1. Общие положения»
6. РД 24-112-4Р «Руководящий документ по оценке остаточного ресурса порталных кранов»
7. Руководство по обследованию плавучих и судовых грузоподъемных кранов. –М.: Российский речной регистр, 2013.
8. ГОСТ 34017-2016 Краны грузоподъемные. Классификация режимов работы. – М.: Стандартинформ, 2017. – 18 с.
9. ГОСТ 34022-2016 Краны грузоподъемные. Эксплуатационные документы. – М.: Стандартинформ, 2016. – 82 с.
10. ГОСТ 33166.1-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 1. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 20 с.
11. ГОСТ 33166.2-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 2. Краны стреловые самоходные. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.

12. ГОСТ 33166.4-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 4. Краны стреловые. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
13. ГОСТ 33169-2014 Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности.- М.: Стандартинформ, 2015. – 55 с.
14. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны.- М.: Минздрав России, 1998. – 58 с.
15. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. .- М.: Стандартинформ, 2011. – 28с.
16. ГОСТ Р 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. .- М.: Стандартинформ, 2015. – 24с.
17. ГОСТ ИСО 8041-2006. Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. . .- М.: Стандартинформ, 2007. – 80с.
18. Производственная инструкция № 0-10 Производственная инструкция по охране труда для слесаря, выполняющего техническое обслуживание и ремонт перегрузочных машин. -Усть- Кут: ОАО «Осетровский речной порт», 2010

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение20

1. Экспертиза промышленной безопасности грузоподъемного оборудования 24

1.1.Методики проведения экспертизы промышленной безопасности27

1.2.Методы неразрушающего контроля31

1.3.Методы неразрушающего контроля, применяемые при экспертизе  
промышленной безопасности40

2. Основные характеристики грузоподъемных машин43

2.1.Типы металлоконструкций кранов и особенности их нагружения43

2.2.Технические характеристики кранов55

3. Методы расчет остаточного ресурса58

3.1.Расчетный случай А62

3.2.Расчетный случай Б64

3.3.Общие расчетные показатели для всех типов ГПМ67

4. Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность и ресурсосбережение75

5. Социальная ответственность82

Заключение92

Список публикаций студента93

Список используемых источников94

Приложение А (обязательное)96

Приложение Б (рекомендуемое)106

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время во всем мире до 70 % грузов перевозится водным транспортом. Для РФ особенно актуален вопрос перевозок грузов по водным путям из-за географических и климатических особенностей. В крупнейших портах РФ в основном эксплуатируют ГПМ с истекшим нормативным сроком службы (возраст кранов превышает в среднем 25 лет в зависимости от группы режимов эксплуатации).

Также ряд Российских морских портов территориально расположены в зонах суровых климатических условий (зоны вечной мерзлоты, заполярье). А речной транспорт является основным видом транспортировки в районах Сибири и Дальнего востока и осуществляет перевозки до 90 % грузов от общего количества в регионе.

Из всего вышеперечисленного следует, что ГПМ, а в частности ПК, приходится работать с широким диапазоном грузов: насыпные, контейнеры, различные тарно-штучные. Род груза непосредственно влияет на выбор ГЗУ, что отражается на режиме работы ГПМ, класса использования и класса нагружения оборудования кранов в соответствии с ГОСТ 34017 [8] и современной классификацией ГПМ (Приложение Б).

Все весовые и внешние нагрузки воспринимаются МК в целом, что ведет к возникновению внутренних напряжений в структуре металла. Перегрузочное оборудование нуждается в тщательном обследовании всех узлов и механизмов для прогнозирования безопасной эксплуатации в различных рабочих условиях.

В связи с этим встал вопрос о разработке методики проведения ЭПБ МК, включающие основные рабочие органы машин, для дальнейшего расчета остаточного ресурса рабочих органов кранов и оборудования в целом.

Вопрос продления срока службы кранов, отработавших нормативный срок службы, но находящихся в работоспособном состоянии, является актуальным, так как стоимость нового портового оборудования может превышать 100 млн. рублей за единицу. Порты РФ, а особенно малые, не могут позволить себе такого рода затраты даже для замены одной единицы, не говоря о всем парке эксплуатируемых машин.

Предлагаемая методика позволит объединить в один документ две уже существующие методики, разработанные разными ведомствами для разного типа ГПМ. При использовании данной методики весь процесс будет проходить более эффективнее, с наименьшими затратами временных и человеческих ресурсов, а значит будет более экономически выгодна для организаций, проводящих экспертизы, что в свою очередь снизит затраты заказчиков (портов и судоходных компаний).

В соответствии с нормативной документацией, разработанной Ростехнадзором, а также в соответствии с нормативной документацией, речного и морского регистров, краны, отработавшие нормативный срок службы должны проходить не только экспертизу, но и плановые капитально-восстановительные ремонты для поддержания технического состояния. В актах, подтверждающих результаты экспертизы должен быть подтвержденный заводом - изготовителем назначенный режим работы либо обоснованно снижен по результатам обработки замеров. Для каждой машины прогнозируется остаточный ресурс и назначается дата следующей экспертизы. Общие требования руководящих документов двух разных ведомств и вступление в действие с 2016 г по настоящее время новой системы стандартов [8-13] позволит разработать единую методику для обследования технического состояния подъемного оборудования с целью продлить их фактический срок службы.

Таким образом, **актуальность** работы обусловлена обязательным проведением ЭПБ в соответствии с Федеральным законом 116 [1] для ГПМ с

истекшим нормативным сроком службы, которых на сегодняшний день в портах и судоходных компаниях РФ большинство.

**Предметом исследования** являются методы НК металлоконструкций, которые наиболее часто используются при проведении ЭПБ ГПМ.

**Объектом исследования** являются методики проведения экспертизы промышленной безопасности металлоконструкций грузоподъемных машин, разработанными разными ведомствами.

**Цель работы** заключается в исследовании возможности создания единой методики проведения ЭПБ МК ГПМ для двух разных ведомств на основе уже существующих методик, разработанными этими ведомствами.

**Задачи работы:**

- Провести обзор и сравнение, как существующих методов НК металлоконструкций, так и наиболее применимых относительно ГПМ.
- Провести исследование руководящих документов Росретехнадзора и Морского и речного регистров по обследованию портового грузоподъемного оборудования с использованием методов НК.
- Провести расчеты остаточного ресурса грузоподъемных машин на основе руководящих документов Росретехнадзора и Морского и речного регистров.
- Провести сравнительные расчеты экономической эффективности методики с применением различных методов обследования металлоконструкций с затратами на приобретение нового оборудования.

**Новизна** работы заключается в том, что в свете обновления системы стандартов и приведение их в соответствие с международными требованиями по ГПМ впервые предлагается объединение в универсальную методику двух различных существующих методик.

**Значимость** результатов исследования состоит в том, что предложенная единая методика позволит объединить нормативные базы двух различных ведомств (Ростехнадзора и Морского и речного регистров), тем самым сократятся временные и финансовые затраты как на осуществление надзора и

контроля за своевременным проведением ЭПБ, так на подготовительные и заключительные работы, входящие в обязательный перечень работ при проведении ЭПБ портового оборудования, что приведет к сокращению расходов владельцев ГПМ (портов и судоходных компаний). Также единая методика экономически выгодна экспертным компаниям, так как наличие единого документа подразумевает аккредитацию и получение лицензии на обследование не только берегового оборудования, но и судовых и палубных кранов, что позволит расширить экспертным компаниям номенклатуру услуг по проведению ЭПБ.

# **1 ЭКСПЕРИЗА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

У рассматриваемых ГПМ вся работа от проектирования до списания регламентируется нормативно - технической документацией, к которым относятся стандарты РФ. Начиная с 2012 года по настоящее время, существующие ранее стандарты по ГПМ практически полностью переиздали, а часть из них находится по сегодняшний день в разработке. Вся нормативная база по ГПМ была приведена в соответствии с требованиями международных стандартов.

Обновленную систему стандартов по ГПМ можно теперь подразделить на группы, к которым относятся: стандарты по типам и по режимам работы [8], по узлам и механизмам и по их особенностям расчета[9-12], по оценке несущей способности МК (порядок ввода в эксплуатацию и вывода из нее) [13].

Весь жизненный цикл ГПМ от задания на проектирование до актов на списание регламентированы системой стандартов.

Сегодня предъявляют высокие требования к надежности и безопасной эксплуатации всех технических средств, работающих на производстве (особое внимание уделяется оборудованию на опасных производственных объектах, к которым относятся порты и судоходные компании – они имеют четвертый класс опасности) поэтому отдельные группы стандартов определяют порядок работоспособного состояния, порядок срока службы ГПМ, порядок проведения экспертиз и выдачи разрешающих документов на продолжение безопасной работы в виде актов и заключений ЭПБ.



## Типовые дефекты крановых механизмов

По статистике наиболее распространенными причинами аварий и несчастных случаев при эксплуатации кранов, которые могут повлечь за собой убытки и даже человеческие жертвы, становятся:

- неисправность тормозов, концевых выключателей механизмов подъема груза, передвижения крана и тележки, блокировки двери берегового крана;
- угон берегового крана ветром;
- управление ГПМ неквалифицированным персоналом;
- неисправность электрооборудования ГПМ, травмирование персонала электротоком (особое внимание электрооборудованию уделяют на судовых и палубных кранах);
- отсутствие или неисправность ограждений площадок и вращающихся частей ГПМ;
- несоблюдение мер безопасности, указанных в наряде-допуске, при выполнении работ на крановых путях и проходных галереях вблизи береговых ГПМ;
- неисправность канатов, грузозахватных органов и съемных грузозахватных приспособлений ГПМ;
- подъем груза при наклонном положении канатов;
- неправильная строповка грузов, перегруз или переполнение тары-превышение максимальной допустимой грузоподъемности ГПМ;
- нахождение людей в полувагонах и на других транспортных средствах при их погрузке и разгрузке;
- несоблюдение порядка и габаритов складирования грузов;
- нахождение людей в зоне действия магнитных и грейферных кранов и под перемещаемым грузом;
- разрушение металлоконструкций - опор, пролетных балок, тележек.

Все вышеперечисленные неисправности, приводят к возникновению усталостных напряжений у ГПМ.

Наиболее распространенными дефектами ПК весьма тяжелого и тяжелого режимов работы грузоподъемностью 10 т. являются механизмы передвижения и подъема, 33 % и 42 % соответственно. Также стоит отметить, что МК и электрооборудование приводят к возникновению проблем при работе в тяжелом 27 % и 22 % и среднем 18 % и 17 % режимах работы соответственно.

У судовых кранов весьма тяжелого и тяжелого режимов работы грузоподъемностью более 10 т. наибольшее повреждение появляются на механизме подъема груза (стреловой механизм) и на понтоне (коррозия МК), 29 % и 45 % соответственно.

## **1.1 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Все береговые краны, работающие в портах (ПК, Деррик, козловые, самоходные) поднадзорны Федеральной службе экологического, технического и атомного надзора (Ростехнадзор), а также все краны введенные в эксплуатацию до 1 марта 2013 года находятся под постоянным контролем специалистов Ростехнадзора [2].

Плавучие и судовые палубные краны (работающие на воде) поднадзорны Государственному морскому и речному регистрам (зависит от географического расположения порта)[7]. Эти два государственных комитета являются самостоятельными организациями и издают собственные положения по обследованию ГПМ. Особая сложность заключается в том, что в малых портах РФ имеются представители только морского или речного регистров, а представители Ростехнадзора работают только в крупных портах и судоходных компаниях.

ЭПБ ГПМ, отработавших нормативный срок службы, проводят в среднем через два года в зависимости от типа машины, ее возраста, ее эксплуатационных показателей, включающих остаточный ресурс. В настоящий момент нет универсальной методики обследования ГПМ, а наличие большого количества методов усложняют процедуру экспертизы.

## **Порядок проведения экспертизы промышленной безопасности**

Существует строго установленный порядок проведения экспертизы промышленной безопасности [3]. Порядок проведения ЭПБ включает в себя три этапа: подготовительный, рабочий этап обследования всей ГПМ и заключительный.

### **Подготовительный этап включает в себя следующие пункты:**

- подбор нормативно-технической и справочной документации, требуемой для технической диагностики ГПМ;
- подготовка технических средств и приборов для обследования;
- ознакомление с эксплуатационной, ремонтной, проектно-конструкторской документацией, с сертификатами (на канаты, крюки, металл, электроды), и другой документацией на данную ГПМ;
- подготовка выписки из паспорта ГПМ;
- составление справки о характере работы ГПМ совместно с владельцем;
- проверка условий и организации работ, подготовка места проведения экспертного обследования и испытания ГПМ;
- проведение инструктажа по технике безопасности членов комиссии.

**Рабочий этап включает в себя обследование состояния металлоконструкций, а именно:**

- внешний осмотр несущих элементов МК;
- проверка элементов МК одним из видов НК;
- проверка качества соединений элементов МК (сварных, болтовых, шарнирных);
- измерение остаточных деформаций балок, стрел, ферм и отдельных поврежденных элементов;
- оценка степени коррозии несущих элементов МК;
- проведение геометрических замеров МК;

- взятие контрольных образцов из элементов МК ГПМ для определения химического состава и механических свойств металла (при необходимости);
- проведение приборного контроля МК и сварных соединений методами НК.

**Обследование механического оборудования:**

- оценка соответствия установленного оборудования паспортным данным;
- внешний осмотр (наличие и общее состояние всех механизмов, наличие повреждений их отдельных узлов и деталей, правильность регулировки отдельных узлов, наличие смазки, наличие и качество затяжки элементов крепления);
- проведение необходимых измерений с выбраковкой изнашиваемых деталей;
- обследование канатно-блочной системы;
- проверка соответствия грузозахватных органов и канатов паспортным данным;
- выявление дефектов в канатах с определением правильности их запасовки, дефектов крюковой подвески, трещин и сколов реборд блоков, износа по ручью или реборде блоков и барабанов, течи смазочных материалов.

**Обследование гидрооборудования:**

- проверка соответствия узлов гидросистемы паспортным данным;
- внешний осмотр узлов гидросистемы для выявления возможных внешних утечек рабочей жидкости, трещин корпусов, повышенного шума, нагрева, ослабления креплений и вибрации при работе;
- контроль рабочей жидкости на загрязнение и вязкость (при необходимости), и проверка ее уровня в гидробаке;
- оценка работоспособности гидрооборудования под рабочей нагрузкой в период статических и динамических испытаний ГПМ.

**Обследование электрооборудования включает в себя:**

- проверка соответствия установленного электрооборудования паспортным данным;
- внешний осмотр (проверка целостности корпусов, клеммных коробок, зон крепления в местах установки электрооборудования, токоподводящей системы, системы управления и защиты ГПМ и их комплектности);
- проверка исправности электродвигателей, контактных реле, электрогидротолкателей, приборов и аппаратуры управления;
- оценка состояния сопротивления изоляции и заземления ГПМ по данным протоколов измерений, предоставляемых владельцем ГПМ.

**Заключительный этап включает в себя следующие пункты:**

- анализ результатов обследования;
- составление ведомости дефектов;
- оценка и прогнозирование технического состояния объекта экспертизы: проверочные расчеты несущей способности элементов МК и расчет остаточного ресурса ГПМ;
- выработка решения о возможности и целесообразности продления срока эксплуатации ГПМ;
- разработка рекомендаций и корректирующих мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации ГПМ (при необходимости);
- оформление заключения ЭПБ;
- передача заключения ЭПБ владельцу ГПМ.

## 1.2 МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

На сегодняшний день в мире существует девять общепринятых методов НК для обследования цельных конструкций различных форм:

- метод МПМ;
- акустический (к нему относят метод УЗК);
- капиллярный (метод проникающими веществами);
- оптический метод;
- электрический;
- вихретоковый;
- радиационный;
- тепловой;
- радиоволновой.

**Методы НК МК классифицируют по:**

- взаимодействию веществ или физических полей с МК;
- первичным данным об исследуемой МК;
- способам получения первичных данных об исследуемой МК;
- способам представления информации при обследовании МК.

Магнитный метод – это метод НК, основанный на регистрации и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния на поверхности изделий с целью определения зон концентрации напряжений, дефектов, неоднородности структуры металла и сварных соединений.

Собственное магнитное поле рассеяния изделия – это магнитное поле рассеяния, возникающее на поверхности изделия в зонах устойчивых полос скольжения под действием рабочих или остаточных напряжений или в зонах максимальной неоднородности структуры металла на новых изделиях.

Контролируемые свойства (химический состав, структура и несплошности металла), часто связаны с параметрами процесса

намагничивания, измеряя которые можно сделать вывод о наличии каких - либо отклонений от заданных параметров МК.

Метод акустической эмиссии или акустический метод НК представляет собой регистрацию возбужденных в МК параметров упругих колебаний. Наиболее распространенным методом является УЗК, который позволяет обнаруживать неоднородности структуры металла. Ультразвуковыми дефектоскопами решают широкий круг производственных проблем контроля и диагностики. Дефектоскопы определяют механические характеристики и анализируют напряженные состояния металла. Кроме металла акустическим методом можно обследовать хорошо проводящие акустические волны объекты из керамики, пластмасс, бетона.

Для более точного результата обследования методом УЗК поверхность контакта металлоконструкции с дефектоскопом зачищается и наносится специальный водосмываемый высокотемпературный гель, который имеет высокую вязкость, содержит наполнитель и предназначен специально для измерения толщины на горячих деталях. Температурный диапазон геля: от минус 40°C до плюс 270°C.

Капиллярный контроль или контроль проникающими веществами основывается на проникновении жидких индикаторов в поверхность металла и, заполняя полости, выявляет дефекты в виде цветного или люминесцентного рисунка. Применяется капиллярный метод для обнаружения слабовидимых или невидимых глазу поверхностных дефектов, такие как сварные соединения.

Оптический метод НК основан на излучении света на контролируемый объект. Применяются такие инструменты как лупы, микроскопы, которые значительно расширяет возможности оптического метода. Также для контроля внутренних полостей и формы изделий используются эндоскопы и проекционные устройства. Оптический метод широко применяют для контроля прозрачных объектов, в которых можно обнаружить структурные неоднородности, внутренние напряжения, макро- и микродефекты. Для расширения области применения оптических методов и повышения точности



измерений также используются гибкие световоды, лазеры, оптические голографии, телевизионную технику.

Радиационный метод НК основывается на взаимодействии проникающего ионизирующего излучения с объектом контроля. Этот метод НК может использоваться для объектов из любых материалов. Метод прохождения – это основной способ радиационного контроля.

Радиоволновой метод НК основан на регистрации изменений параметров на объекте контроля, взаимодействующих с электромагнитными колебаниями. Чаще всего контролируются изделия из тонкостенных металлов, стекловолокна, пластмасс и керамики.

Вихретоковый метод НК основывается на регистрации изменения взаимодействия электромагнитного поля вихревых токов с собственным электромагнитным полем катушки. Распределение и интенсивность вихревых токов зависят от электрических и магнитных свойств материала, а также учитывается наличие в материале несплошности и взаимное расположение объекта контроля и преобразователя. Вихретоковый метод НК применяют для обнаружения подповерхностных и поверхностных дефектов, а также для контроля геометрических размеров, химического состава материала, его структуры и наличия внутренних напряжений.

Тепловой метод НК - это регистрация тепловых полей, а именно теплового контраста объекта контроля. Этот метод применим к объектам из любых материалов. Сканирующий тепловизор является наиболее эффективным средством бесконтактного контроля. Он регистрирует температурные поля и тепловые потоки.

Электрический метод НК регистрирует электрические поля и электрические параметры объекта контроля, которые возникают в результате внешнего воздействия. Электрическая емкость или потенциал являются первичными информативными параметрами.

Кроме вышеупомянутых применяется емкостной метод для обследования конструкций из полупроводниковых или диэлектрических

материалов. Метод электрического потенциала(или емкостной метод) применим при определении глубины несплошностей вблизи поверхности проводника.

Все традиционные методы НК, к которым относятся метод проникающими веществами, оптический метод, электрический, вихретоковый, радиационный, тепловой и радиоволновой, направлены на поиск уже развитых дефектов и по своему назначению не могут предотвратить внезапные усталостные повреждения оборудования - основные причины аварий и источники травматизма обслуживающего персонала. А сегодня очень важно предотвращать дефекты, определять места их наиболее вероятного развития, точно определять время износа конструкций для их надлежащего ремонта либо замены.

Проблемой измерений механических напряжений в работающих конструкциях с целью оценки их состояния в настоящее время занимаются все ведущие диагностические центры мира. Однако до сих пор эффективность различных методов и средств контроля напряжений остается низкой при их использовании непосредственно на оборудовании.

Одним из методов, позволяющих решить данную задачу, является метод МПМ, который, как и метод акустической эмиссии (УЗК), является «пассивным» методом НК, использующим измерения собственных физических полей конструкций.

Эти два метода получили в настоящее время наибольшее распространение на практике для ранней диагностики повреждений оборудования и конструкций. Кроме того, именно эти два метода позволяют в настоящее время обеспечить 100 % обследование оборудования в режиме экспресс - контроля.

Анализ возможностей известных методов контроля напряжений и деформаций в основном металле, сварных соединениях оборудования и конструкций позволяет назвать следующие их существенные недостатки:

- непригодность для контроля протяженных трубопроводов и конструкций, крупногабаритных изделий, оборудования и сосудов;
- невозможность использования большинства методов в области пластической деформации;
- не учитывается изменение структуры металла;
- невозможность оценки глубинных слоев металла для большинства методов контроля;
- требуется построение градуировочных графиков на основе испытаний предварительно изготовленных образцов, которые, как правило, не отражают фактическое энергетическое состояние оборудования;
- требуется подготовка контролируемой поверхности и объектов контроля (зачистка, активное намагничивание, клейка датчиков и прочее);
- сложность определения положения датчиков контроля по отношению к направлению действия максимальных напряжений и деформаций, определяющих надежность оборудования.

Кроме того, традиционные методы и средства НК напряжений, которые основаны на активном взаимодействии сигнала прибора с металлом конструкции, получают косвенную информацию о напряженном состоянии объекта контроля, то есть имеют недостаточную информативность физических полей, используемых при контроле. Действительно, вводимое в исследуемый материал поле, взаимодействуя с собственными полями материала, меняет его свойства и характеристики напряженно-деформированного состояния объекта контроля. При этом, характер, величина и время жизни изменений определяются динамическим соотношением энергий взаимодействующих полей. На практике, при проведении диагностики, такие изменения просто не учитывают.

При оценке ресурса оборудования, как известно, непременным условием является определение фактического напряженно - деформированного состояния с выявлением ЗКН - основных источников развития повреждений - на основе 100 % обследования всего объема металла. Именно ЗКН определяют

работоспособность любой конструкции, а не расчетные, средние значения рабочих напряжений.

Известно, что под действием эксплуатационных нагрузок работа металла оборудования в основном определяется скольжением дислокаций и сдвиговой деформацией. При этом накопление усталостной повреждаемости металла во многих случаях происходит в условиях мало и многоциклового рабочей нагрузки. Очевидно, что традиционные методы контроля напряжений не могут оценить фактическое напряженно-деформированное состояние конструкции, так как в общем случае неизвестны ЗКН, обусловленные сдвиговой деформацией. В ходе промышленных исследований установлено, что только «пассивные» методы диагностики напряженно-деформированного состояния могут ответить на поставленные вопросы, и являются наиболее пригодными для практики.

Как показала практика, метод МПМ по сравнению с методом УЗК дополнительно дает информацию о фактическом напряженно-деформированном состоянии объекта контроля, что позволяет более объективно определить не только ЗКН, но и причину образования этой зоны. При этом никаких подготовительных работ для применения метода МПМ на объекте контроля не требуется.

На основе анализа существующих подходов к оценке остаточного ресурса стареющего оборудования, сложившихся в различных отраслях промышленности, можно выделить следующие общие тенденции:

- многие специалисты в области надежности оборудования переходят от вероятностных методов оценки ресурса, основанных на статистике отказов, к оценке индивидуального ресурса стареющего оборудования на основе комплексного подхода, сочетающего результаты разрушающего и НК с поверочными расчетами на прочность;
- при оценке ресурса заметна тенденция перехода от дефектоскопии к методам технической диагностики, основанным на сочетании механики разрушений, металловедения и НК. На первый план выходят методы НК

напряженно-деформированного состояния оборудования и конструкций, к которым относятся УЗК и метод МПМ;

- осознана необходимость 100 % обследования стареющего оборудования с целью определения потенциально опасных зон.

Вместе с тем, следует отметить следующие недостатки и недоработки, существующие при реализации этих подходов. При комплексном применении различных методов и средств НК и разрушающего контроля нет строго определенного порядка и последовательности в их применении для конкретного объекта контроля.

**Предлагаемые методики поверочного расчета на прочность можно условно разделить на четыре группы:**

- методики расчета по скорости коррозии металла;
- методики расчета трещиностойкости металла;
- методики расчета на усталость металла;
- методики расчета узлов оборудования, работающего в условиях ползучести.

При этом главная недоработка известных методик заключается в том, что они предлагают низкий уровень допустимых напряжений. Эти требования, как известно, обусловлены работой металла оборудования в условиях скольжения и сдвиговой деформации. Как показывает практика, эти условия работы металла являются определяющими для надежности конструкции. Однако расчетными методами невозможно заранее прогнозировать на оборудовании зону возникновения площадок скольжения металла.

Кроме того, имеющиеся методики расчета на прочность, как правило, предполагают независимое протекание процессов коррозии, усталости и ползучести, хотя на практике эти процессы протекают одновременно в различном сочетании.

Тенденция перехода от традиционной дефектоскопии к технической диагностике с применением комплексного подхода, включающего: определение параметров дефектов, оценку распределения внутренних (остаточных)

напряжений, определение фактических структурно-механических характеристик металла сдерживается, в первую очередь, низкой эффективностью существующих методов и средств контроля напряженно-деформированного состояния оборудования.

Необходимость 100 % обследования оборудования при оценке ресурса хотя и осознана, однако для реализации этой задачи на практике требуются большие затраты времени и материально-финансовые средства. С использованием традиционных методов эта задача на практике не реализуется.

Все большее количество специалистов начинают понимать, что более опасным во многих случаях (особенно на стареющем оборудовании) является «преддефектное» состояние металла, когда на уровне структуры произошли необратимые изменения, и повреждение из-за усталости может произойти внезапно и, как правило, в тех зонах, где оно не ожидается. При оценке ресурса оборудования в настоящее время широко используются методы и средства НК структурно-механических свойств металла (измерение твердости и других магнитных характеристик металла с целью определения структурных изменений и другие методы).

Ранее было отмечено, что основными источниками повреждений оборудования являются ЗКН, возникающие в зонах устойчивых полос скольжения дислокаций и обусловленные действием рабочих нагрузок. Как показывает опыт контроля, эти зоны на поверхности металла оборудования проявляются в виде линий с размером по ширине и глубине в начале своего развития не более нескольких микрон. Вероятность попасть в эти зоны при отборе проб металла очень низкая. Очевидно, что такую задачу можно решить только при 100 % обследовании металла всей поверхности объекта контроля высокочувствительными методами.

В этой связи следует отметить, что если нет возможности определить ЗКН и сделать отбор представительных проб металла, то, соответственно, теряется смысл выполнять поверочный расчет на прочность с целью оценки остаточного ресурса. Только в исключительных случаях, когда, например,

металл подвержен коррозией с утончением поверхностной стенки на большой площади, имеет смысл делать расчет на прочность с учетом уменьшения толщины стенки и скорости коррозии.

Таким образом, приведенный краткий анализ существующих методов НК повреждений и деградации металла показывает их низкую эффективность при оценке ресурса промышленного оборудования. Становится понятной и закономерной тенденция перехода от традиционной дефектоскопии к технической диагностике с использованием принципиально других методов контроля и подходов. Более сложные задачи, возникающие при оценке ресурса оборудования (по сравнению с обычной дефектоскопией при нормальной эксплуатации), требуют применения средств и методов более сложных в освоении, но более эффективных при контроле изменяющихся свойств металла.

К таким методам следует отнести, прежде всего, методы и средства, позволяющие контролировать на практике напряженно-деформированное состояние оборудования.

Имея полную информацию о выявленных дефектах и о возможном влиянии каждого из них на остаточный ресурс оборудования, можно без особых затруднений решить задачу определения объема восстановительных работ, необходимого для доведения ресурса работоспособности узлов до требуемого уровня.

Способ определения остаточного ресурса металла и с использованием параметров метода МПМ и УЗК представлен в работе. Практическое применение метода МПМ и УЗК распространено на территории РФ, экспериментальное подтверждение проводится в Польше, Китае и других странах. Данные методы получили признание не так давно, являются новыми, и физические принципы, лежащие в их основе, недостаточно изучены. Как следствие, методы требуют более тщательного исследования, более подробного анализа физики, подтверждения эффективности их использования в как можно большем количестве испытаний.

### **1.3 МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Наиболее распространенные методы НК, применяемые в портах и судоходных компаниях для оборудования, работающего на открытом воздухе.

- метод красок (капиллярный);
- метод МПМ;
- метод акустической эмиссии (УЗК).

Для сравнения по основным характеристикам был проведен анализ двух методов: метода МПМ и УЗК. Практическими преимуществами метода магнитной памяти металла являются:

- применение метода не требует специальных намагничивающих устройств, так как используется явление намагничивания узлов оборудования и конструкций в процессе их работы;
- зачистки металла и другой какой-либо подготовки контролируемой поверхности не требуется;
- специальные сканирующие устройства позволяют контролировать оборудование в режиме экспресс - контроля со скоростью 100 м/час и более.

К применяемому оборудованию в методе МПМ относятся все магнитопорошковые дефектоскопы, имеющие несколько режимов работы. У этих приборов есть регулировка и измерение силы тока, при этом наибольший регулируемый импульсный ток достигает 5000А (на стандартном кабеле). Есть функция автоматической установки тока. Магнитное поле дефектоскопов может быть: переменным, постоянным, импульсным. Приборы позволяют установить длительность размагничивания от 30 до 120 секунд. У данного вида дефектоскопов есть функция «память», которая предоставляет возможность



сохранить до десяти настроек, что намного упрощает настройку прибора перед работой. Работают магнитопорошковые дефектоскопы от сети 220В или 24В, отсутствие встроенного аккумулятора делают эти приборы не мобильными. Средняя цена на магнитопорошковые дефектоскопы составляет, порядка, 540 000 рублей.

Практические преимущества ультразвукового метода являются:

- используются приборы, имеющие малые габариты, автономное питание и регистрирующие устройства, а также это оборудование дешевле и компактнее, чем магнитные дефектоскопы;
- является обязательным для контроля сварных швов при обследовании МК кранов[6];

К применяемому оборудованию в УЗК относят все ультразвуковые дефектоскопы, у которых диапазон установки скорости ультразвука варьируется от 500 до 14999 м/с. Работают данные приборы на частотах от 0,5 до 15 МГц. При этом расхождения номинальных и рабочих частот составляет диапазон в 20%. Дефектоскопы могут работать с различными преобразователями, и у каждого преобразователя, при измерении, свои погрешности, которые зависят от глубины измерения. Дефектоскопы имеют габариты цветные TFT дисплеи с разрешением не менее 640x480. Масса электронного блока ультразвуковых дефектоскопов не превышает двухкилограммов. Работают приборы на встроенных аккумуляторах, заряда которого хватает от восьми до двенадцати часов непрерывной работы. Производитель заявляет наработку на отказ не менее 35000 часов работы. Срок службы восемь лет. Средняя стоимость дефектоскопов составляет, порядка, 250 000 рублей.

Общим в рассматриваемых методах НК является то, что в них можно вовремя засечь начало образования усталостных напряжений в структуре металла, которые в последствии ведут к образованию микротрещин и трещин. А также благодаря этим двум методам можно спрогнозировать дальнейшее развитие напряженностей на отдельных участках с точностью до

одногомиллиметра и их направление. Места концентрации напряжений от рабочих нагрузок, заранее не известные, определяются в процессе контроля. Ранняя диагностика усталостных повреждений может прогнозировать надёжность оборудования и осуществляет экспресс-сортировку новых и старых деталей по их предрасположенности к повреждениям.

## 2 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

### 2.1 ТИПЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ НАГРУЖЕНИЯ

Металлические конструкции подъемно-транспортных машин работают в условиях переменных статических (весовых), динамических (от крановых механизмов) и внешних (ветровые, температурные и другие) нагрузок. Это приводит к появлению в элементах конструкции напряжений, которые приводят к усталостным разрушениям. По характеру переменные напряжения бывают стационарные и нестационарные.

#### Стационарный режим нагружения

Циклы напряжения в конструкциях при стационарном режиме показаны на рисунке 1.

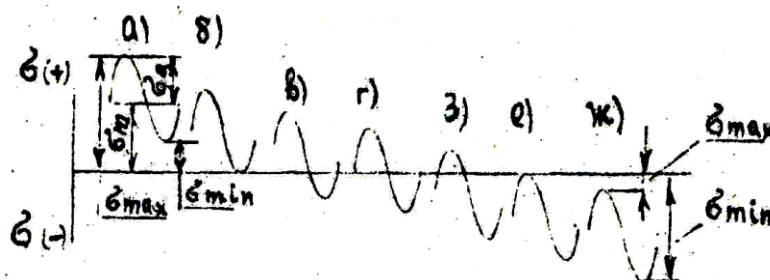


Рисунок 1 – Циклы нагружения конструкций

Характер циклических напряжений оценивается значениями максимальных и минимальных напряжений, соответственно  $\sigma_{max}$  и  $\sigma_{min}$ . При знакопеременных нагрузках характеристикой усталостной прочности материала является предел выносливости при цикле с коэффициентом асимметрии и эффективным коэффициентом концентрации напряжений.

При заданных коэффициенте асимметрии и эффективном коэффициенте концентрации напряжений уравнение кривой усталости МК показана на рисунке 2. Уравнение справедливо на участке  $0 - N_0$ .

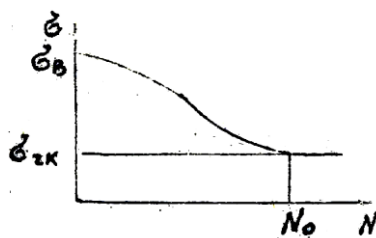


Рисунок 2 – Кривая усталости металла

Горизонтальный участок соответствует пределу выносливости при цикле, а участок ниже этой линии называется зоной неограниченной выносливости.

### Нестационарный режим нагружения

Элементы металлоконструкций ГПМ чаще всего работают при нестационарном режиме нагружения, так как меняется груз, вылет стрелы и угол ее поворота и положение грузовой тележки. В этом случае нестационарный режим нагружения заменяется стандартным приведенными напряжениями симметричного цикла за два приема:

- все расчетные напряжения, различающиеся по асимметрии цикла, заменяются эквивалентными симметричного цикла, отличающимися только по амплитуде;
- полученные эквивалентные напряжения заменяются приведенными симметричного цикла с постоянными амплитудами.

### Нагрузки на металлоконструкции

Нагрузки, которые воспринимают металлоконструкции, классифицируются по признакам:

#### По происхождению:

Весовые

- от собственного веса – на первой стадии проектирования принимаются ориентировочно по существующим аналогам, в последствие собственный вес конструкции уточняется по рабочему проекту;
- от веса груза – вызываются собственно весом и вертикальными силами инерции при разгоне – торможении механизма подъема и расчетах принимается эквивалентная нагрузка, наибольшая в момент отрыва груза от земли.

Эксплуатационная грузоподъемность ГПМ определяется по формуле 1:

$$Q_{\text{Э}} = \varphi_{\text{Э}} Q_{\text{Н}}, \quad (1)$$

где  $\varphi_{\text{Э}}$  - коэффициент приведения;

$Q_{\text{Н}}$  – номинальная грузоподъемность.

#### Атмосферные

- ветровые – в прочностных расчетах и на выносливость учитываются ветровые нагрузки рабочего состояния, а на устойчивость – нерабочего;
- снеговые – рассчитываются по специальным методикам и учитываются, если оговорено техническим заданием на проектирование;
- особые – сейсмические, монтажные, температурные, рассчитываются по специальным методикам и учитываются, когда указано в техническом задании;

#### **по длительности действия:**

- постоянные по величине и месту приложения, к ним относятся весовые и ветровые;
- временные по величине и месту приложения – все остальные;

#### **по эксплуатационным условиям:**

- нагрузки рабочего состояния, возникающие при использовании конструкции по назначению;
- нагрузки не рабочего состояния, возникающие, когда необходимо прекратить работу.

Величины нагрузок и порядок их действия имеют случайный характер и могут определяться эксплуатационными испытаниями машины или расчетом. Суммирование одновременно действующих нагрузок проводится по нормативным сочетаниям.

### **Методы расчета металлоконструкций**

Металлоконструкции ГПМ рассчитываются по максимальным и эквивалентным нагрузкам или по предельным состояниям.

#### **Расчет по максимальным и эквивалентным нагрузкам**

При совместном включении крановых механизмов и внешних сил металлоконструкции подвергается сложному воздействию сил. Расчеты ведутся для трех основных случаев сочетания нагрузок.

##### **Первый расчетный случай:**

Расчет ведется по эквивалентным нагрузкам рабочего состояния – средний груз, плавный разгон – торможения механизмов, нормальное состояние подкрановых путей, средняя ветровая нагрузка рабочего состояния.

##### **Второй расчетный случай:**

Расчет по максимальным нагрузкам рабочего состояния – номинальный груз, резкие разгоны – торможения механизмов, плохое состояние подкрановых путей, максимальное ветровое давление рабочего состояния.

##### **Третий расчетный случай:**

Расчет по максимальным нагрузкам нерабочего состояния – кран без груза и ветровая нагрузка нерабочего состояния.

Расчет металлоконструкций ведется по допускаемым напряжениям. Проектные расчеты на прочность ведется по второму расчетному случаю. По первому выполняется проверка на выносливость, а по третьему – на статическую прочность с минимальными запасами.

## **Расчет по предельным состояниям**

Под предельным состоянием понимается такое состояние, при котором конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям.

Для ГПМ метод предельного состояния применяется в расчетах башенных кранов и подкрановых балок. Расчеты базируются на статическом материале.

### **При расчетах рассматриваются два предельных состояния:**

- по несущей способности, то есть прочности, устойчивости или выносливости. При достижении этого состояния конструкция теряет способность сопротивляться внешним воздействиям или в ней появляются недопустимые остаточные деформации;
- по развитию недопустимых перемещений в статических или динамических условиях.

Металлоконструкции современных ГПМ образуются элементами коробчатого сечения, реже плоские листовые и ферменные. Основными узлами металлоконструкций являются стреловые устройства, порталы у ПК, колонны (каркасы).

### **Стреловые устройства**

В зависимости от конструкции стреловые устройства бывают с прямой стрелой и шарнирно сочлененные с гибкой или жесткой оттяжкой. Виды стреловых устройств представлены на рисунках 3 и 4.

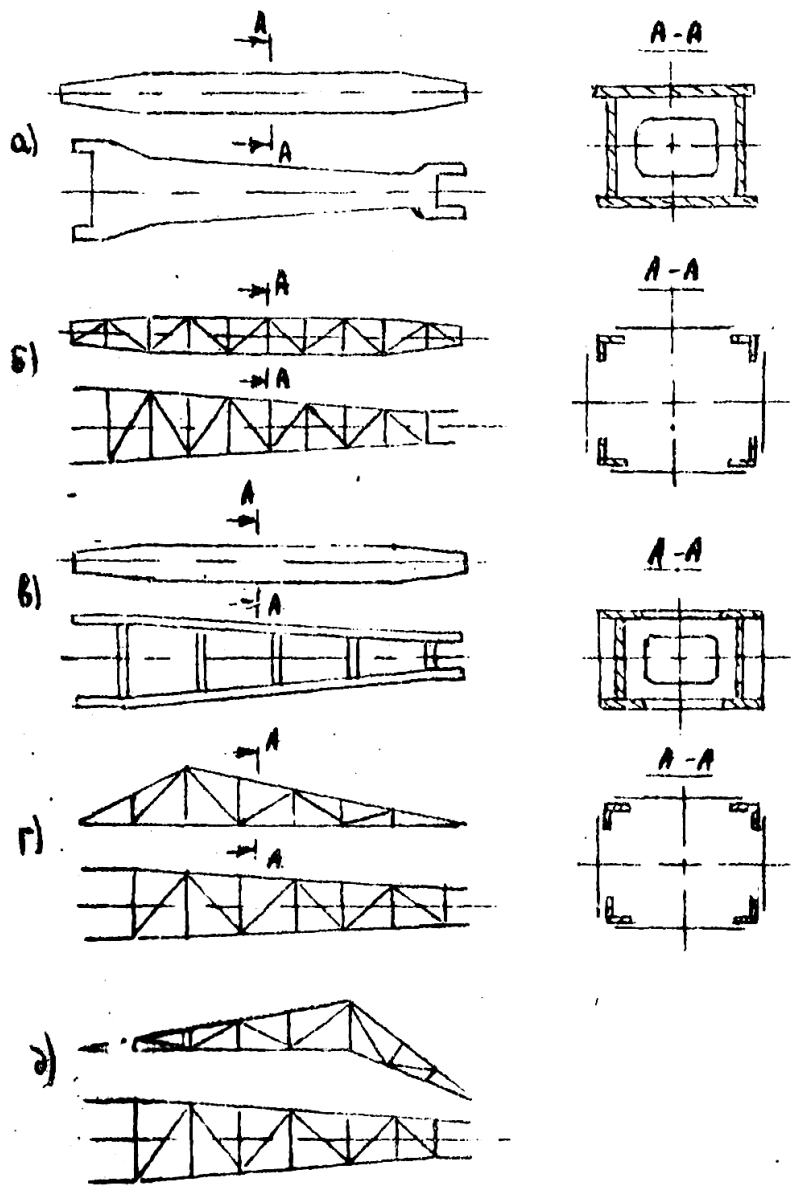


Рисунок 3 – Схемы конструкций прямых стрел

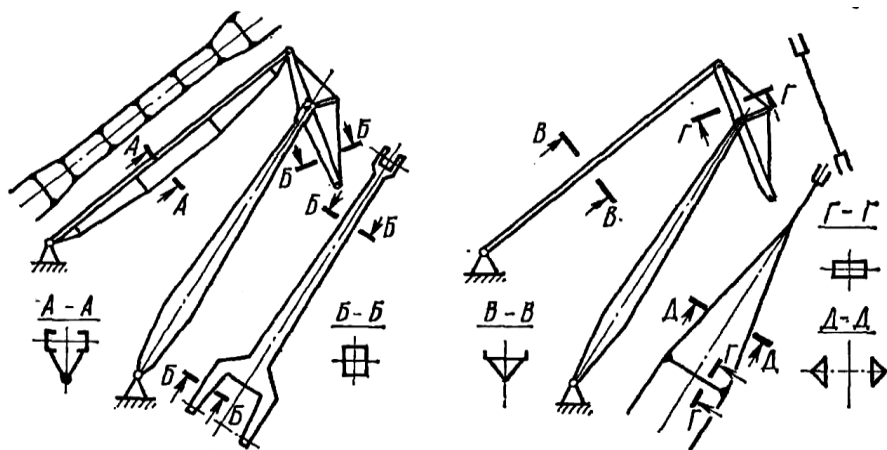


Рисунок 4 – Схемы шарнирно сочлененных стреловых устройств



Прямые стрелы легче шарнирно сочлененных и получили наибольшее распространение на кранах малой грузоподъемности до 6,3 т. и большой – свыше 200 т.. Как правило, стрелы выполняют уравновешенными по всем известным схемам.

Прямые стрелы изготавливаются сплошностенными коробчатого (рисунок 3 а) и балочного (рисунок 3 в) с поперечными связями сечений. Первые применяются в порталных кранах, вторые – плавучих.

Прямые решетчатые стрелы (рисунок 3 б) применимы на всех типах кранов, с ломаным верхним поясом (рисунок 3 з) – в порталных кранах, с изогнутой осью (рисунок 3 д) – в самоходных кранах.

У шарнирно сочлененных стреловых устройств стрелы и хоботы имеют, как правило листовую конструкцию с переменным по длине сечением. Оттяжка может быть жесткой (рисунок 4) или канатной.

Основной размер стрел – это их длина  $L$ , принимаемая в зависимости от вылета крана (рисунок 5).

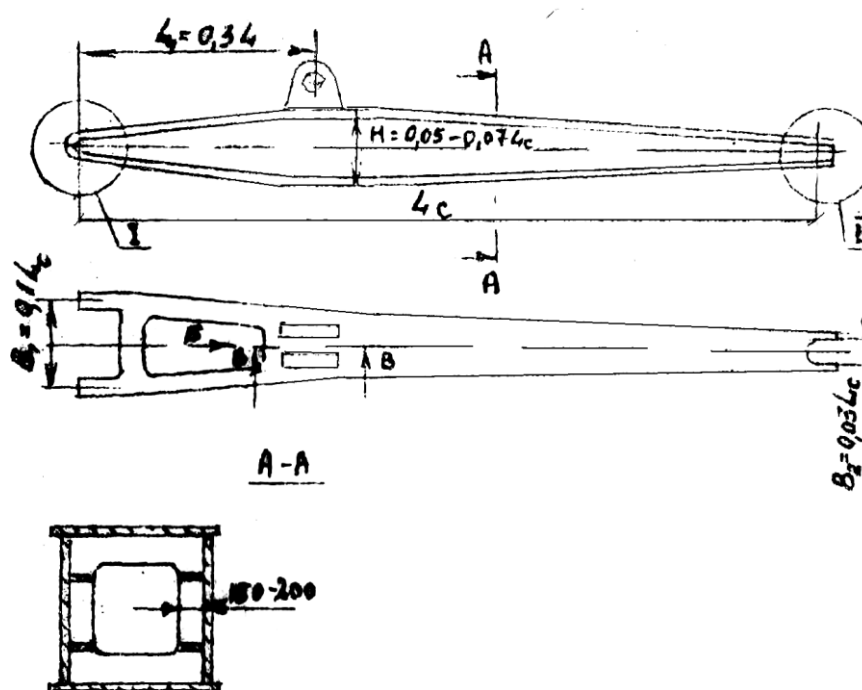


Рисунок 5 – Конструктивная схема стрелы

Стрелы коробчатого сечения изготавливаются с диафрагмами и ребрами жесткости и хорошо сопротивляются скручиванию.

Наибольшая высота сечения  $H = (0,05...0,07)L$  и снижается к концевым шарнирам примерно на половину. Ширина стрелы в месте крепления к платформе  $B \cong 0,1L$ , у головного шарнира -  $b \cong 0,03L$ . Для снижения веса в боковых стенках делают люки.

Для снижения собственного веса стрелы изготавливают из низколегированных сталей, а при больших (вылетах) – из алюминиевых сплавов.

### Нагрузки на стрелы

При работе стрелы подвержены сжатию и изгибу в вертикальной плоскости и кручению в горизонтальной, а также проверяются на устойчивость. Прочностной расчет выполняется в вертикальной плоскости, а проверка – в горизонтальной.

#### При работе на стрелу действуют следующие силы:

- собственная сила тяжести стрелового устройства, сосредоточенная нагрузка, приложения в центре тяжести элемента ( $G_c, G_x$ );
- сила тяжести груза, приложена к концу стрелы (хобота) с учетом динамичности ( $Q_p = 1,3Q$ );
- силы давления ветра на груз и элементы стрелового устройства ( $F_{bi}$ ), приложенные в центрах тяжести;
- горизонтальная составляющая от отклонения груза от вертикали при качании стрелы, с учетом коэффициента динамичности ( $Q_\alpha = Q_p \cdot \operatorname{tg} \alpha$ );
- натяжение в грузовом канате ( $S_{max}$ ).

Схема приложения сил к прямой стреле, включающая расчетную схему – показана на рисунке 6. Для кранов постоянной грузоподъемности прочностной расчет производится при максимальном вылете стрелы, с переменной грузоподъемности - на среднем вылете. Стрела рассчитывается на изгиб и сжатие как двухопорная балка с длинной консолью.

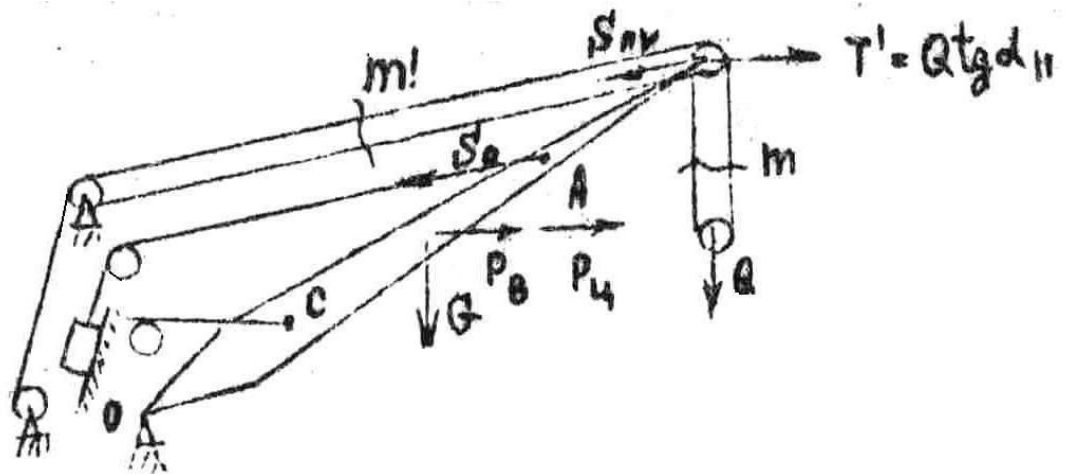


Рисунок 6 – Схема сил на прямую стрелу

Силы, действующие на стрелу, приводятся к равнодействующим, приложенным в центре тяжести стропы ( $0,3L$  от корневого шарнира) и к головному шарниру, направленным перпендикулярно оси стрелы  $F_{\Sigma_i}^b$  и по оси  $F_{\Sigma_i}^2$ . Силы  $F_{\Sigma_i}^b$  изгибают стрелу, а  $F_{\Sigma_i}^2$  вызывают напряжения растяжения-сжатия. Стрела рассчитывается как 2-х опорная изогнуто-сжатая балка. Подвижной опорной считается рейка механизма изменения вылета стрелы. Напряжения в опасном сечении  $\sigma_{\Sigma} = \sigma_u + \sigma_p \leq [\sigma_u]$ . Консоль проверяется на устойчивость как центрально сжатый стержень переменного сечения.

Схема сил, действующих на шарнирно сочлененную стрелу, показана на рисунке 7. Решетчатые стрелы рассчитываются как составные стержни переменного сечения.

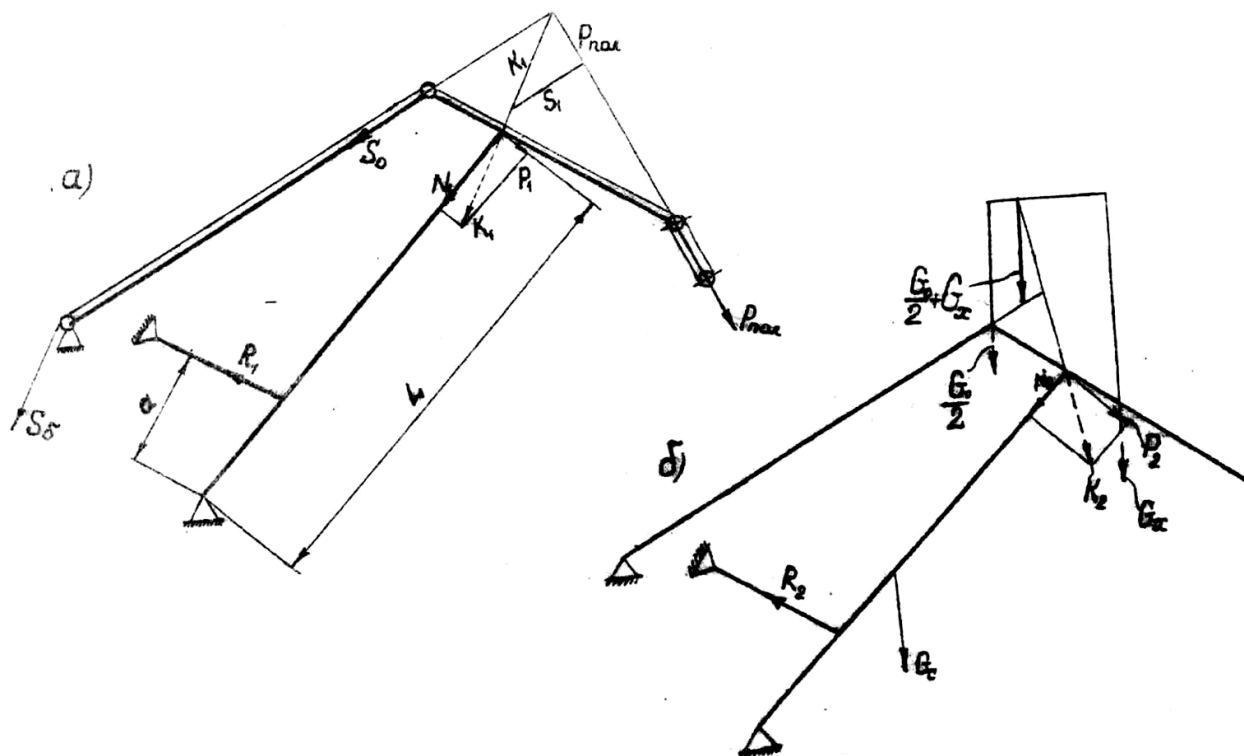


Рисунок 7 – Схема сил на шарнирно сочлененную стрелу

Силы, приложенные к концу хобота, приводятся к реакциям в шарнире стрела-хобот. В дальнейшем расчет ведется как для прямой стрелы.

### Порталы поворотных кранов

Конструктивно порталы у современных кранов выполняются листовыми плоского или коробчатого сечения с диафрагмами и ребрами жесткости.

#### Порталы бывают:

- с параллельными рамами (рисунок 8), соединенные вдоль подкранового пути плоскими решетками, обеспечивающими требуемую жесткость конструкции. Они предназначены для кранов с опорно-поворотным устройством на круговом рельсе.

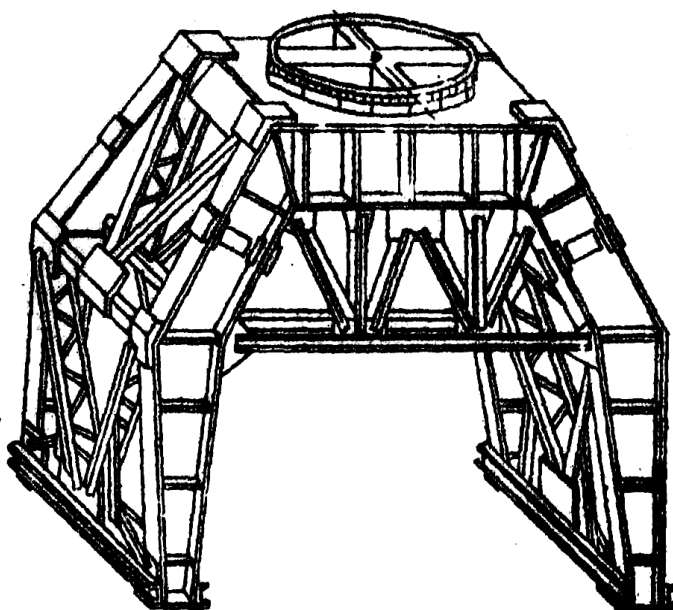


Рисунок 8 – Портал с параллельными рамами

- портал из пересекающимися рамами, соединенных между собой верхним кольцом и нижней крестовой затяжкой (рисунок 9). Такая конструкция обладает пространственной жесткостью и из вспомогательных элементов только легкие стяжки вдоль подкранового пути. В основном порталы рассчитаны на краны с поворотной колонной.

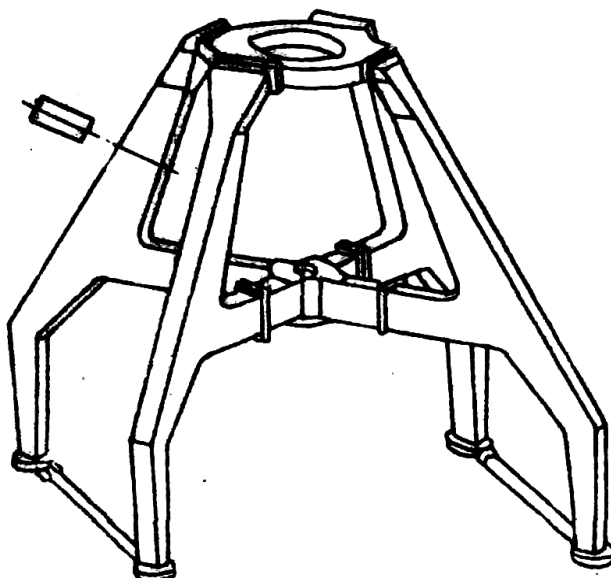


Рисунок 9– Портал с пересекающимися рамами

При работе крана портал воспринимает нагрузки (рисунок 10 а):

- сила тяжести поворотной части крана с грузом,  $G$ ;

- вертикальная  $P_v$  и горизонтальная составляющие  $P_n$  натяжения в грузовых канатах;
- центробежная сила инерции при вращении  $P_{ц.к}$ ;
- сила ветрового давления  $P_{вн}$ ;
- приведенная сила инерции  $P_{и.с.}$  стрелового устройства при изменении вылета и другое.

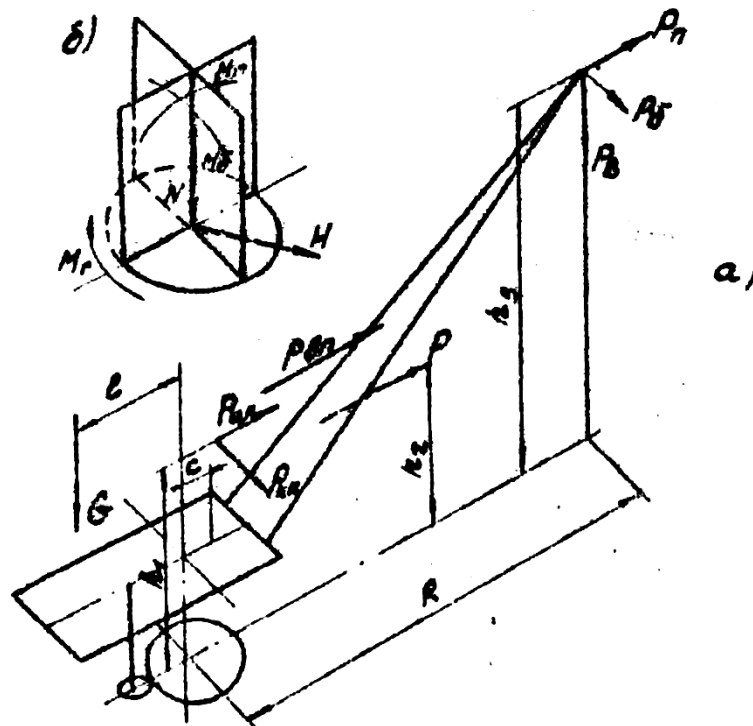


Рисунок 10– Схема нагрузок на портал

Все эти нагрузки сводятся к моментами в продольной  $M_n$ , боковой  $M_б$  плоскостях, моменту  $M_2$  в горизонтальной плоскости и силами – вертикальной  $N$  и горизонтальной  $H$  (рисунок 10 б).

**Порталы рассчитываются по случаям:**

- при неподвижной поворотной части и отрыве груза от земли;
- при повороте крана с неподвижным грузом.

Для обоих случаев подбирают такие положения стрелы крана, при которых в рассчитываемом элементе появляются наибольшие напряжения.

## 2.2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРАНОВ

Технические характеристики портального крана «Альбатрос 10-32-10,5»

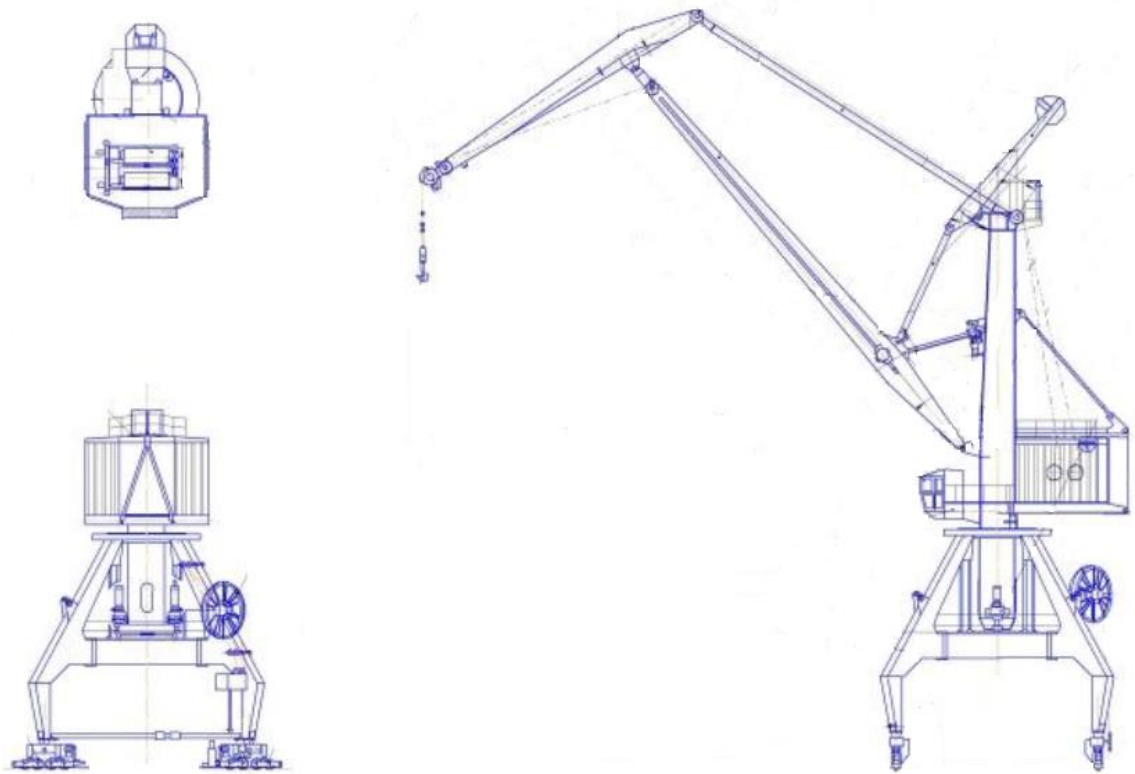


Рисунок 11 – Портальный кран «Альбатрос 10-32-10,5»

Портальный кран «Альбатрос» используется в портах и судоходных компаниях при работе с грейфером на перегрузке навалочных грузов, а также на перегрузке тарно-штучных грузов.

- Грузоподъемность - 10 т;
- Максимальный вылет стрелы – 32 м;
- Ширина портала 10,5 м;
- Паспортный режим работы крана - весьма тяжелый (ВТ), что соответствует группе классификации А8.

- Технические характеристики самоходного крана «кпл 16-30»

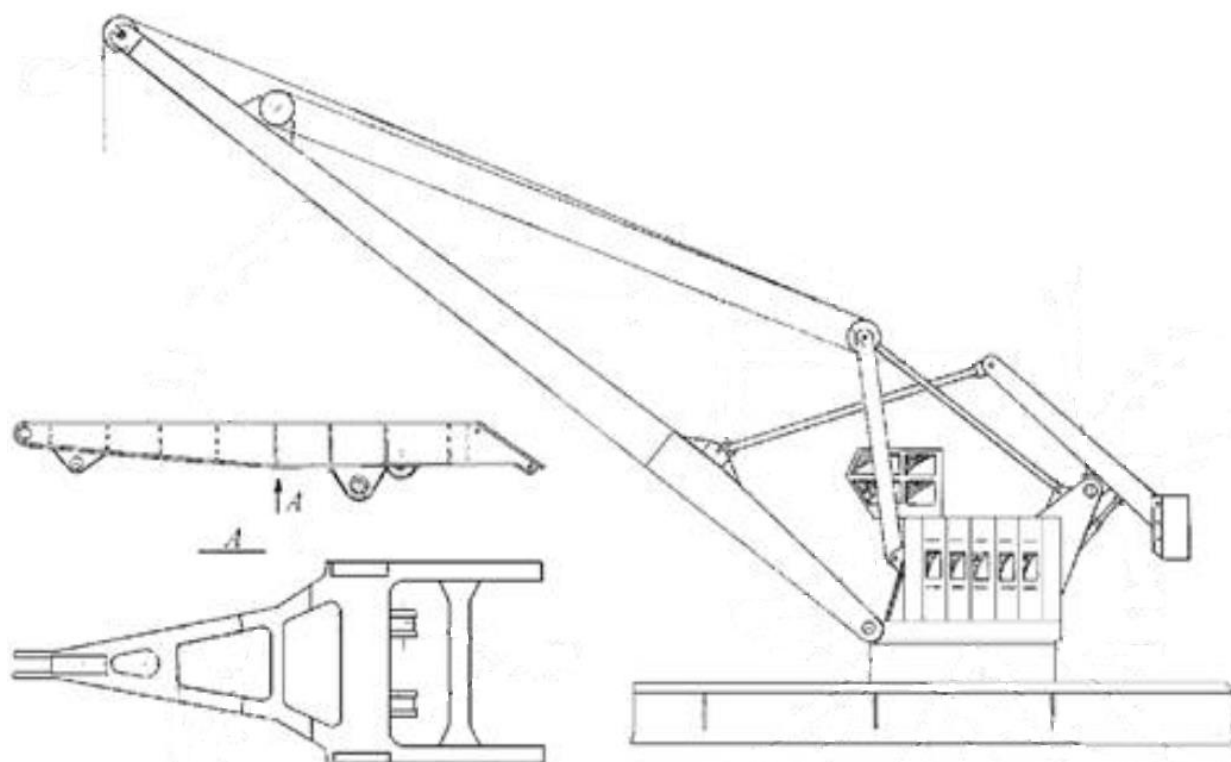


Рисунок 12 – Несамohодный кран «КПЛ 16-30»

- Грузоподъемность - 16 т;
- Тип судна - полноповоротный грузоподъемный дизель-электрический несамohодный плавучий кран;
- Тип крана - полноповоротный грейферный электрический.
- Длина габаритная (стрела в походном положении) - 51,8 м;
- Длина расчётная - 32,5 м;
- Ширина - 16 м;
- Высота борта - 2,6 м;
- Высота габаритная (стрела в походном положении) - 10 м;
- Осадка средняя в грузу - 1,16 м;
- Водоизмещение в грузу - 537 т.

Металлоконструкция обоих кранов - сварная коробчатая. Материал металлоконструкции низкоуглеродистая низколигированная качественная сталь. По химическому составу и физико - механическим характеристикам она соответствует отечественной стали 15ХСНД.



Краны находятся в эксплуатации более сорока лет, что превышает нормативный срок службы.

В соответствии с записями в паспортах кранов, ремонт расчетных элементов за время эксплуатации не проводился. По данным трех обследований на предмет продления срока службы, каких-либо недопустимых дефектов металлоконструкции ранее не выявлено ни у одного из ГПМ.

Состояние механизмов - удовлетворительное, сведения о ремонте или замене их узлов и элементов механизмов в техническом паспорте обоих кранов отсутствуют. Уровень технического обслуживания при эксплуатации кранов - удовлетворительный.

### **3 МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА**

Остаточный ресурс стреловых кранов (элементом МК является стрела) определяется возможностью продолжения эксплуатации ГПМ стреловым механизмом, так как при сложном ремонте именно в стреле возникают дополнительные напряжения. При работе эти напряжения вызывают нежелательные деформации, такие как скручивание МК. Поэтому в качестве объектов расчета были взяты порталный кран и плавкран с грузоподъемностью 10 т. и 16 т., соответственно, и схожими техническими характеристиками. Краны с такой грузоподъемностью наиболее широко распространены и представлены во всех портах РФ.

#### **Характеристика усредненных показателей состояния металлоконструкции**

Средняя продолжительность работы кранов в портах РФ составляет двести дней в году при односменной работе. По данным экспертиз, наиболее нагруженными узлами металлоконструкции являются стрелы и опоры порталов. Концентраторами напряжений в этих конструкциях являются места резкого изменения форм сечений. Для стрелы - это 1/3 часть от основания (зона расположения центра тяжести) в месте крепления продольных ребер жесткости к верхнему поясу. Коррозийные поражения этого участка встречаются редко.

Основной дефект - усталостные трещины в месте крепления узлов шарниров. Слабое место опор порталов – это места изменения формы главных рам. Коррозионные повреждения на этом участке может превышать 10% площади горизонтальной затяжки.

## Характеристики стойкости металла

Расчетная величина остаточного ресурса позволяет определить временной интервал до проведения следующей экспертизы с учетом стойкости металла к образованию трещин. Этот период назначается таким, чтобы исключить возможность развития длины усталостной трещины до критической даже если она была длиной менее пяти мм в период проведения ЭПБ.

Если выбор расчетного случая затруднителен, то расчет производится по обоим критериям. Схема алгоритма расчета интервала повторного обследования металлоконструкции приведена на рисунке 13[5],[6].

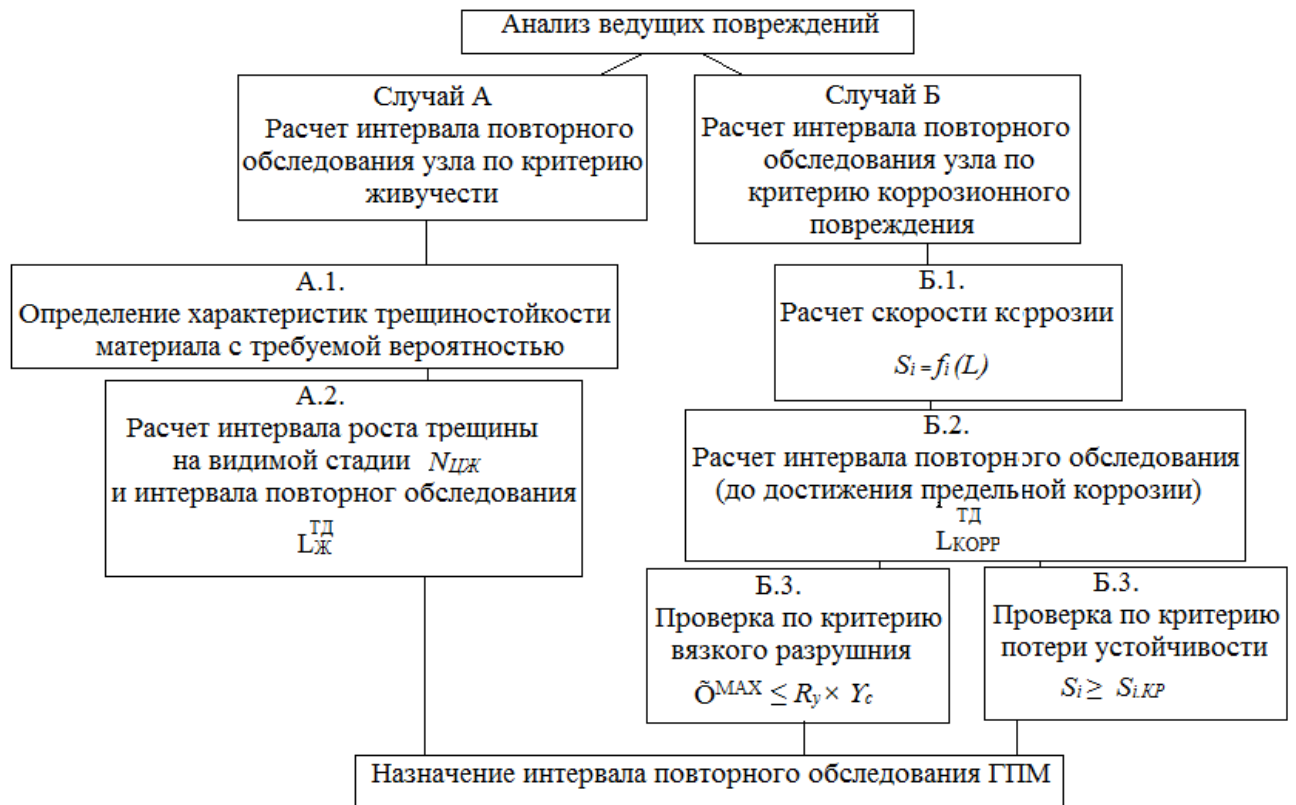


Рисунок 13- Схема алгоритма расчета интервала повторной экспертизы металлоконструкции.

На рисунке 13 приведены следующие характеристики:

- расчетный интервал роста трещины на видимой стадии [циклов работы крана] –  $N_{ЦЖ}$ ;
- расчетный интервал по критерию живучести [лет] –  $L_{Ж}^{ТД}$ ;

- расчетный интервал повторного обследования по критерию коррозии [лет] –  $L_{КОРР}^{ТД}$ ;
- срок службы крана с начала эксплуатации [лет] -  $L$ ;
- значения геометрических характеристик поперечного сечения несущего элемента (площадь, моменты инерции и моменты сопротивления)–  $S_i$ ;
- критические значения геометрических характеристик поперечного сечения несущего элемента -  $S_{i,КР}$ ;
- максимальное значение действующих напряжений [МПа]–  $\tilde{\sigma}_{ПР}^{МАХ}$  -;
- расчетное сопротивление материала [МПа] -  $R_y$ ;
- коэффициент условий работы -  $Y_c$ .

Примеры дефектов представлены на рисунках 14-17.



Рисунок 14 -Узел крепления гнутого листа буксовой зоны к внутренней стенке балки в зоне приводного ходового колеса. Трещина в сварном шве.



Рисунок 15 -Верхний пояс стрелы. Трещина в ремонтном сварном шве в зоне ремонтной накладки в средней части стрелы (видимая длина трещины 50мм).



Рисунок 16 – Нижняя фасонка соединения шарнира и стрелы. Трещина длиной 100мм в ремонтном сварном шве фасонки.

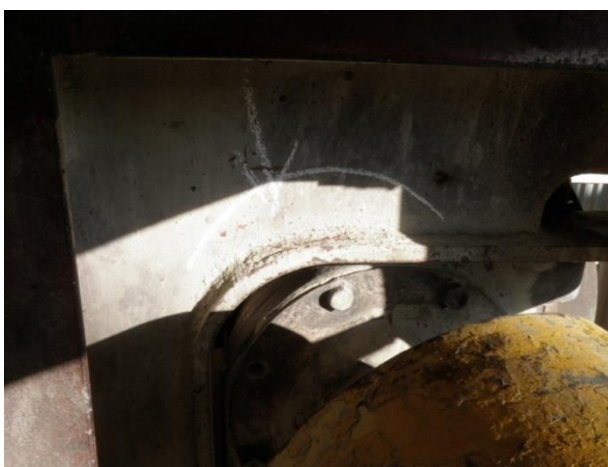


Рисунок 17 -Внутренняя стенка в буксовой зоне приводного ходового колеса. Трещина длиной 70мм в сварном шве крепления гнутого листа к стенке балки.

### 3.1 РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ А

Характеристиками трещиностойкости являются показатели количества циклов нагружения за рабочий период и количества циклов изменений напряжений.

Интервал наработки до следующей экспертизы определяется как расчетный интервал роста трещин до визуально видимой величины. Обработкой результатов обследования МК определены значения характеристик трещиностойкости для различных вероятностей достоверности результатов, представленные в таблице 1.

Таблица 1 - Значения характеристик трещиностойкости

Маркировка стали	Доверительная вероятность, $P$	Количество циклов нагружения, $C$	Количество циклов изменений напряжений, $n$
15ХСНД	0,9	$1,75 \times 10^{-14}$	4,785
	0,75	$1,54 \times 10^{-14}$	4,75

Остаточный ресурс до следующего обследования как количество лет безотказной работы определяется по формуле 2:

$$L_{Ж}^{ТД} = \frac{N_{ЦЖ}}{C_c \times C_p}, \quad (2)$$

где  $C_c$  - количество циклов работы крана в сутки:

Количество циклов работы крана в сутки работы определяется по формуле 3:

$$C_c = \frac{3600 \times t_{СУТ}}{t_{Ц}}, \quad (3)$$

где  $C_p$  – количество дней работы крана в год;

$t_{\text{СУТ}}$  - время работы крана в сутки [часов];

$t_{\text{Ц}}$  - время работы цикла [секунд], которое может быть установлено по нормативам времени [6].

Расчетный интервал роста трещины на видимой стадии определяется по формуле 4:

$$N_{\text{ЦЖ}} = \frac{n_{\Sigma}}{n_a}, \quad (4)$$

где  $n_{\Sigma}$  – расчетное количество циклов изменения напряжений, необходимое для роста трещины от начальной до критической длины;

$n_a$  - количество циклов изменения напряжений за один цикл работы крана;

Количество циклов изменения напряжений за один цикл работы крана определяется по формуле 5:

$$n_a = t_{\text{Ц}} \times \nu, \quad (5)$$

где  $\nu$ - эффективная частота нагружений, Гц.

Для несущих элементов МК ПК составляет от 0,5 до 5 Герц. При получении величины остаточного ресурса менее года его определяют в количестве смен работы до следующего обследования.

## 3.2 РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ Б

Обязательный расчет остаточного ресурса по случаю Б производится если коррозионное повреждение МК составляет более 10 % от общей фактической площади сечения и он является основным из двух расчетов.

**Снижение несущей способности, вызванное коррозией выполняется:**

- по критерию вязкого разрушения для элементов, работающих на растяжение;
- по критерию потери устойчивости для сжатых элементов.

Если кран работает в агрессивной среде, то остаточный ресурс принимается не более одного года. При вероятности 90 % скорость развития коррозии может приниматься 0,05 мм в год для кранов старше двадцати лет.

Опыт проведения экспертиз состояния МК ПК, отработавших нормативный срок службы и определение их остаточного ресурса по случаям А и Б, показывают, что он не превышает двух лет. Экспертиза назначается каждые два года и заканчивается предписанием на проведение КВР с указанием всех усталостных напряжений в структуре МК. При обнаружении коррозии на различных элементах МК повторная экспертиза назначается через год и сопровождается замерахми толщины элементов для уточнения фактической скорости разрушения МК.

На рисунке 18 приведена структурная схема определения остаточного ресурса потенциально опасных объектов на основе 100 % обследования методом НК.



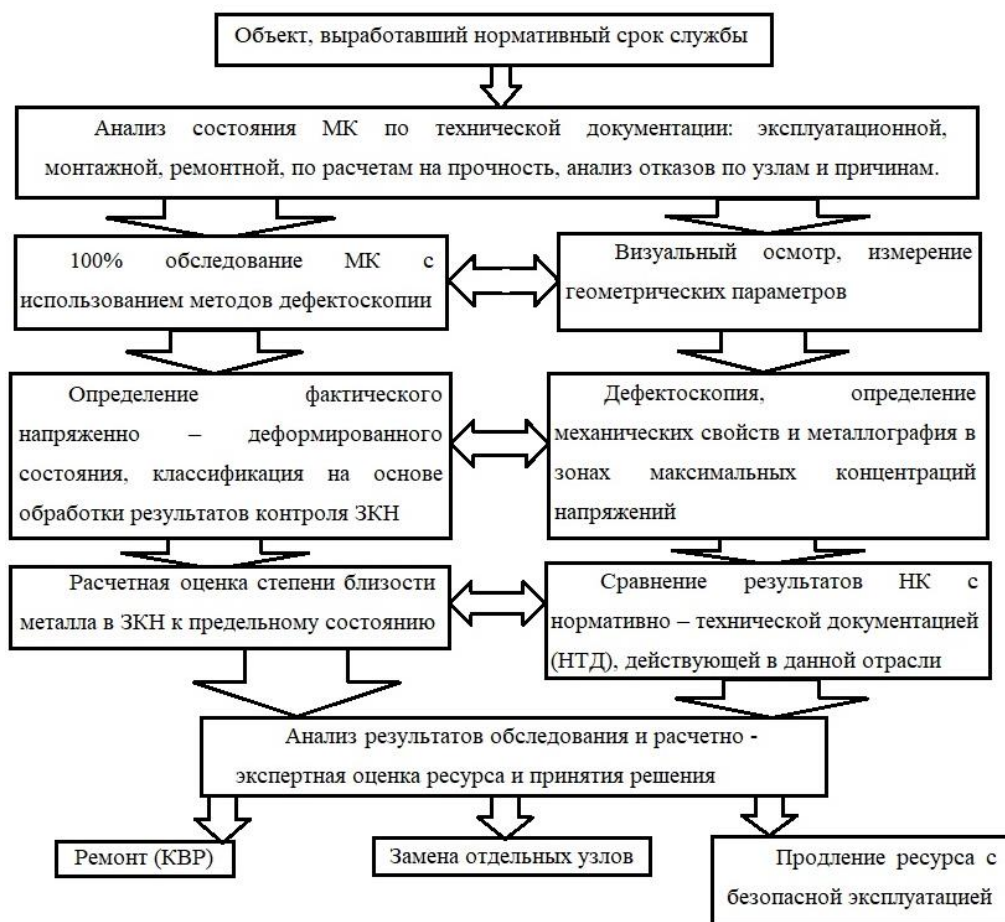


Рисунок 18 - Структурная схема определения остаточного ресурса

Из структурной схемы следует, что при использовании методов НК, задача оценки ресурса оборудования значительно упрощается. Отпадает необходимость выполнять поверочные расчеты на прочность, так как НК выполняется только в ЗКН. Гарантией надежности такого подхода к оценке ресурса является выполнение 100 % контроля методами НК наиболее нагруженных узлов крана. Эталон для сравнения является металл этого же узла при необходимости.

При обнаружении в ЗКН развивающегося дефекта или недопустимо высокой твердости, в большинстве случаев достаточно выполнить обычную шлифовку поверхности металла в ЗКН с целью удаления поврежденного слоя металла (как правило, этот слой составляет не более 300 мкм).

Поврежденный слой металла удаляется до тех пор, пока по результатам повторного контроля методами НК состояние металла в ЗКН приблизится по своим свойствам к состоянию металла вне этой зоны.

В отдельных случаях, когда невозможно удалить поврежденную зону металла обычной шлифовкой, принимается решение о ремонте или полной замене узла ГПМ. После того, как были выполнены все ремонтные работы, по результатам диагностического обследования, принимается решение о продлении ресурса ГПМ и отдельных его узлов с назначенным сроком безопасной эксплуатации. При этом учитываются результаты расчетной оценки металла по степени его близости к предельному состоянию по вышеописанной методике для ЗКН, остающихся в эксплуатации без ремонта. Если таких ЗКН нет, то никаких поверочных расчетов можно не производить.

Назначенный срок безопасной эксплуатации устанавливается также и с учетом требований руководящей документации, действующей для любой ГПМ на дату обследования.

Этот же назначенный срок, как правило, совпадает со сроком до очередного диагностического обследования и технического освидетельствования.

Пример практической реализации оценки остаточного ресурса и прогнозирования технического состояния несущей металлоконструкции portalного крана (ПК) в сочетании с типовым обследованием приведен ниже. Объектом оценки и прогнозирования технического состояния является металлоконструкция portalного крана.

Характер распределения работы крана с грузами различной массы в процентном выражении по циклограмме режима работы ВТ от общего объема приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Распределение работы крана с грузами различной массы

Номинальная грузоподъемность, $Q_n$	Распределение работы крана с грузом от общего объема работы, %
до $0,25Q_n$	50
от $0,25Q_n$ до $0,5Q_n$	35
от $0,5Q_n$ до $0,75Q_n$	10
от $0,75Q_n$ до $Q_n$	5

### 3.3 ОБЩИЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ВСЕХ ТИПОВ ГПМ

#### Расчет фактического режима работы

Общее число циклов работы крана за срок службы определяется по формуле 6:

$$C_T = n * N * T, \quad (6)$$

где  $n$ - число циклов работы крана в сутки, 45 циклов ;

$N$ - число рабочих дней в году, 200 дней;

$T$  - срок службы крана, 24 года.

Общее число циклов работы крана за срок службы составляет 216 000 циклов.

#### Определение класса использования крана

В зависимости от числа циклов работы крана за срок его службы по ГОСТ 34017 находится класс использования крана.

Расчетному числу циклов работы крана за срок его службы соответствует класс использования крана А6.

Расчет коэффициента нагружения крана определяется по формуле 7:

$$K_p = \sum \left( \frac{Q_i}{Q_{ном}} \right)^3 \frac{C_i}{C_T}, \quad (7)$$

где  $Q_i$ - масса груза, перемещаемого краном с числом циклов, т;

$Q_{ном}$ - номинальная грузоподъемность крана, равная 10 т;

$C_i$ - число циклов работы крана с грузом массой  $Q_i$ .

Принимаем табличное значение коэффициента нагружения крана  $K_p$ , равное 0,144.

### **Определение класса нагружения крана**

В зависимости от коэффициента нагружения крана по ГОСТ 34017 находится класс нагружения крана[8].

Расчетному коэффициенту нагружения крана соответствует класс нагружения крана Q6 или Q7. В зависимости от класса использования и класса нагружения крана по определяем фактическую группу режима (режим работы) крана. Фактическая группа режима работы крана: 6К. Фактический режим работы крана весьма тяжелый, что соответствует паспортному режиму при работе с грейфером.

### **Определение остаточного ресурса (срока службы)**

Для регулярного использования с перерывами принимается максимальное число рабочих циклов крана, равное 500 000 циклов. Исходя из вышеизложенного, фактический остаточный ресурс может быть определен как разница между максимальным количеством рабочих циклов, который составляет 500 000 циклов и числом циклов работы крана за срок службы, равный 216 000 тысячам циклам. Их разность составит 284 000 циклов.

При фактическом режиме работы остаточный ресурс крана на момент расчета (срок службы) составит двадцать один год. Расчет фактического режима (группы режима) работы и определение остаточного ресурса (срока службы) выполнены на основании анализа использования кранов данного типа в портах РФ.

### **Проверка усталостной прочности элементов несущих металлоконструкций**

Наиболее опасными для МК являются поперечные трещины (перпендикулярные волокнам металла) в верхнем поясе стрелы крана. Поэтому, в настоящей работе рассматриваются только верхний пояс, как узел, определяющий остаточный ресурс крана в целом.

Данное положение дополнительно подтверждено результатами многолетней эксплуатации кранов данного типа.

### Выбор проверяемых элементов

Выбор проверяемых элементов определяется уровнем действующих напряжений и характеристикой их переменности, а также величиной коэффициента концентрации.

Напряжения, возникающие в элементах конструкции, определяются от воздействий собственного веса и оборудования, а также усилий, возникающих от передвижения тележки.

В настоящей работе для проверки принимается стрела крана. Расчетная схема стрелы – двухопорная балка с длинной консолью, нагруженная на конце. Схема поперечного сечения пролетной балки (разрез на консоли) приведена на рисунке 19.

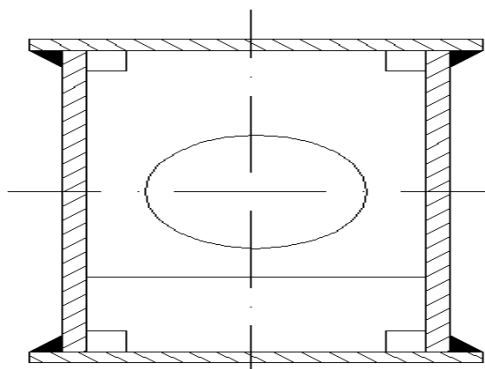


Рисунок 19 - Схема поперечного сечения пролетной балки).

Проверка усталостной прочности элементов несущих металлоконструкций крана определяется по формуле 8:

$$\sigma_{np} = R \times m_k, \quad (8)$$

где  $\sigma_{np}$  – приведенное напряжение, определяемое для рассматриваемого сечения и зависящее от уровня возникающих напряжений, коэффициента концентрации, характеристики их знакопеременности, вероятности воздействия технологических типов и механических свойств металла;

$m_k$  – коэффициент условий работы;

$R$  – расчетное сопротивление, определяемое для рассматриваемого сечения и зависящее от коэффициента концентрации и механических свойств металла;

Расчетное сопротивление крана определяется по формуле 9:

$$R = \frac{K_0}{K_m} * \sigma_{pк}, \quad (9)$$

где  $K_0$  - коэффициент однородности по усталостным испытаниям, учитывающий разброс результатов усталостных испытаний, равный 0,9;

$K_m$  – коэффициент безопасности по материалу, равный 1,1.

В соответствии с разбивкой стрелы крана по трем отсекам возникновения ЗКН принимаются соответствующие коэффициенты условий работы  $m_k$  и эффективный коэффициент концентрации  $K$ . Результаты расчетов коэффициентов  $m_{k2}$  и  $m_{k3}$  и эффективных коэффициентов концентрации  $K$  представлены в таблице 3 и таблице 4 соответственно.

Коэффициент условий работы определяется по формуле 10:

$$m_k = m_{k1} * m_{k2} * m_{k3}, \quad (10)$$

где  $m_{k1}$  - коэффициент условий работы отдельных элементов конструкции, принятое значение коэффициента равно 0,75 для стрелы в зоне крепления оттяжки;

$m_{k2}$  - коэффициент условий работы стальных конструкции;

$m_{k3}$  - коэффициент условий работы, учитывающий возможные отклонения толщин профилей металла, коррозионный износ и повреждения металла.

Таблица 3- Коэффициенты условия работы  $m_{k2}$  для стрелы крана

Схема	Особенности конструкции и используемого метода расчета	Коэффициент $m_{k2}$
Балочная конструкция, к которой относятся стрелы	Консольные балки:	0,85
	- в центре тяжести;	0,75
	- в головной части;	0,85
	- в хвостовой части (место крепления к платформе).	1,0

Таблица 4 - Коэффициенты условия работы  $m_{k3}$ , учитывающий возможные отклонения толщин профилей металла, коррозионный износ и транспортные повреждения металла.

Профиль элемента	Коэффициент $m_{k3}$
1 Открытые профили при толщине полки (стенки) менее 5 мм и замкнутых коробчатых профилей при толщине менее 4 мм	0,90
2 Все виды профилей и листов, кроме указанных в п. 1 - в случае отсутствия данных о фактических значениях технологических допусков на изготовление профилей и листов; - при наличии данных о фактических значениях технологических допусков на изготовление профилей и листов.	0,95 1,0

Результаты расчетов приведенного напряжения по отсекам возникновения ЗКН представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение расчетных  $\sigma_{np}$  по отсекам крана

Номер участка стрелы	Наименование участка стрелы	Прочностное напряжение металла, $\sigma_{np}$ , МПа
1	Консольная балка в центре тяжести, $m_{k2} = 0,85$ . Стыковой сварной шов, расположенный перпендикулярно к действующему усилию, $k = 1,4, r = -1, \sigma_{pk} = 95 \text{ МПа}$	66,1
2	Консольная балка в хвостовой зоне (в зоне шарнирного крепления), $m_{k2} = 0,85$ . Поперечный сварной шов при передаче усилия через основной металл, $k = 2,0, r = -1, \sigma_{pk} = 54,5 \text{ МПа}$	37,9
3	Консольная балка в зоне хобота стрелы (головная часть), $m_{k2} = 0,85$ . Трещина у непрерывного сварного шва, $k = 1,2, r = -0,8, \sigma_{pk} = 111 \text{ МПа}$	77,2

Наибольшее значение прочностного напряжения МК достигается в 1 отсеке крана. Отсек отдельно проверяется по методике Б.

Стальные конструкции и их элементы (подкрановые балки, балки рабочих площадок, элементы конструкций бункерных и разгрузочных эстакад, конструкции под двигатели), непосредственно воспринимающие многократно действующие подвижные, вибрационные или другого вида нагрузки с количеством циклов нагружений  $10^6$  (для лигированной качественной стали) и более, которые могут привести к явлению усталости, следует проектировать с применением таких конструктивных решений, которые не вызывают значительной концентрации напряжений, и проверять расчетом на выносливость.

Количество циклов нагружений следует принимать по технологическим требованиям эксплуатации.

Расчет конструкций на выносливость следует производить на действие нагрузок, устанавливаемых согласно требованиям нормативов по нагрузкам и воздействиям.

Расчет на выносливость определяется по формуле 11:

$$\sigma_{max} \leq a * R_n * g_n, МПа, \quad (10)$$

где  $R_n$  – расчетное сопротивление усталости, в зависимости от временного сопротивления стали и групп элементов конструкций, приведенных в таблице 6;

$a$  – коэффициент, учитывающий количество циклов нагружений  $n$ ;

При количестве циклов нагружений больше трех ( $n > 3,9 * 10^6$ ), коэффициент  $a$  принимается равным 0,77;

$g_n$  - коэффициент, определяемый по таблице 7 в зависимости от вида напряженного состояния и коэффициента асимметрии напряжений  $r = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ ;

Здесь  $\sigma_{min}$  и  $\sigma_{max}$  – соответственно наибольшее и наименьшее по абсолютному значению напряжения в рассчитываемом элементе, вычисленные по сечению нетто без учета коэффициента динамичности. При разнозначных напряжениях коэффициент асимметрии напряжений следует принимать со знаком «минус».



Выполняется расчет для второго отсека где группа элементов – 4,  $R_n = 90$  МПа,  $r = -1$ ,  $g_n = 1$ :

$$\sigma_{max} \leq \left( 0,07 * \left( \frac{270000}{10^6} \right)^2 - 0,64 * \left( \frac{270000}{10^6} \right) + 2,2 \right) * 90;$$

$$\sigma_{max} \leq 183 \text{ МПа.}$$

Таблица 6 – Значения временного сопротивления стали

Группы элементов	Значения $R_n$ при временном сопротивлении стали разрыву $R_{un}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )				
	до 420 (4300)	св. 420 (4300) до 440 (4500)	св. 440 (4500) до 520 (5300)	св. 520 (5300) до 580 (5900)	св. 580 (5900) до 635 (6500)
1	120 (1220)	128 (1300)	132 (1350)	136 (1390)	145 (1480)
2	100 (1020)	106 (1080)	108 (1100)	110 (1120)	116 (1180)

Таблица 7- Формулы для вычисления коэффициента  $g_n$

$\sigma_{max}$	Коэффициент асимметрии напряжений $r$	Формулы для вычисления коэффициента $g_n$
Растяжение	$-1 < r < 0$	$g_n = \frac{2,5}{1,5 - r}$
	$0 < r < 0,8$	$g_n = \frac{2,0}{1,2 - r}$
	$0,8 < r < 1$	$g_n = \frac{1,0}{1,0 - r}$
Сжатие	$-1 < r < 1$	$g_n = \frac{2,0}{1,0 - r}$

В обоих методах расчета на сопротивления усталости максимальное эквивалентное напряжение, вычисленное для расчетной зоны необходимо сравнить с предельной величиной напряжений. Остаточный ресурс определяется по условию сопротивления усталости расчетных зон первого типа. На основании результатов обследования конструкции по каждой из зон

производится расчет остаточного ресурса и делается предписание на дальнейшую эксплуатацию ГПМ.

При расчете на выносливость значение  $\sigma_{max}$  не должно превышать  $R_n$ , принятое 420 МПа.

## **4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

При работе ГПМ появляются разные нагрузки МК, которые приводят к различным деформациям в структуре металла. В связи с этим применяются разные методы определения усталостных напряжений в МК, что в последствии влияет на затраты проведения экспертизы.

Оборудование, требующее проведения ЭПБ поднадзорно и подконтрольно Ростехнадзору. Это оборудование включает в себя все грузоподъемные краны различных типов (портальные, козловые, башенные, несамоходные, плавучие краны). А также манипуляторы, подъемники, краны-экскаваторы. Все подъемное оборудование, ограниченное работой с крюком, подвешенным на канате или электромагнитах, как и сменные ГЗУ и приспособления (грейферы, траверсы, захваты, стропы).

В экономической части представлены наиболее ресурсоэффективные методы проведения ЭПБ для класса ГПМ, которые впоследствии включены в предлагаемую методику. За базу сравнения принимается покупка крана и затраты на ЭПБ.

### **Потенциальный потребитель проекта**

Потенциальным потребителем предлагаемой единой методики являются порты и судоходные компании, для которых вопрос проведения обязательной ЭПБ ГПМ несет финансовые затраты. Так как эти затраты не регламентированы государственными ведомствами и проведение ЭПБ осуществляется частными экспертными компаниями, они (затраты) на одну экспертизу могут варьироваться от десятков тысяч до сотен тысяч рублей. Наряду со всем идет простой объекта контроля, а значит, возможны

финансовые потери из-за долгого обследования и составления результатов в виде заключения.

Также в единой методике нуждаются экспертные компании, так как новый разработанный документ не только позволит расширить область проведения экспертиз по ГПМ и будет включать в себя метод МПМ как возможную альтернативу УЗК МК, но также позволит сократить время на изучение существующей нормативной базы РФ по требуемому классу портового оборудования, что в свою очередь сократит временные затраты на проведение одной ЭПБ.

### **SWOT- анализ объединения двух методик в одну**

#### **Сильными сторонами являются:**

- Объединение двух методик в единую позволит находиться только одному из представителей двух разных ведомств для осуществления контроля и надзора по проведению ЭПБ ГПМ в портах и судоходных компаниях РФ.
- Экспертные компании будут проводить обследование ГПМ в более короткие сроки, так как будет разработан единый документ, который согласован с новой измененной системой стандартов.
- У экспертных компаний появится возможность проводить обследования как береговых, так и судовых и палубных ГПМ, что означает увеличение общего объема ЭПБ.
- Порты и судоходные компании смогут значительно сократить простой оборудования, с которым связана ЭПБ и объединить подготовительный и заключительный этапы для нескольких ГПМ, которые участвуют в ЭПБ.

#### **Слабые стороны:**

Перед утверждением и последующим внедрением единой методики для двух разных ведомств и ее использованием на предприятиях четвертого класса опасности, к которым отнесены порты и судоходные компании, будет проведен ряд испытаний и апробации, что займет большое количество времени.

#### **Возможностью является:**

Внедрение единой методики, которая объединит надзор и контроль за двух ведомств сделает обязательной аккредитацию и лицензирование экспертных компаний на проведение ЭПБ по всем типам ГПМ, работающим в портах и судоходных компаниях.

**Наиболее вероятные угрозы:**

- Результаты экспертизы могут дать отрицательное заключение, что не позволит дальше эксплуатировать ГПМ, что ведет к простоям оборудования и невыполнение плана по перегрузочным работам.
- Результаты экспертизы могут снизить режим работы ГПМ на более легкий, что приведет к удлинению рабочего процесса по перегрузке и удорожанию погрузо– разгрузочных работ.

**Смета на проведение экспертизы промышленной безопасности**

В среднем подержанные краны стоят от 10 млн. руб. за единицу в зависимости от года выпуска и технических характеристик. На 2018 стоимость портального крана 1990 года выпуска, срок службы которого подходит к предельному, составляет не менее 30 млн. руб. за единицу с демонтажем.

Стоимость нового крана определяется по формуле:

$$K = K_{\text{нов}} + K_{\text{монт}}, \text{ руб.},$$

$$K = 30\,000\,000 \text{ руб.}$$

где  $K_{\text{нов}}$  – стоимость новой машины, 18750000 руб.;

$K_{\text{монт}}$  – затраты на монтаж крана, 11250000 руб.

$$K_{\text{монт}} = 0,6 \cdot K_{\text{нов}}, \text{ руб}$$

Порты и судоходные компании могут самостоятельно проводить обследование МК для оценки технического состояния, если имеют в штате специалиста по НК и аккредитованную по всем правилам лабораторию с наличием в ней необходимого оборудования.

По достоверному результату критерия Фишера, сходимость которого не ниже 70 %, что в свою очередь составляет метод маркетинговых исследований из трех экспертных компаний, который основывается на опросе, можно

составить примерную смету по расходам на проведение обследования МК внутри порта или судоходной компании.

Так как ЭПБ проводится раз в два года, то в пересчете на год эксплуатации крана все расходы уменьшаются в два раза.

### **Расчетные данные**

- площадь сварных швов обследуемой металлоконструкции – около  $3\text{м}^2$ ;
- металлоконструкция порталного крана, включающая в себя противовес, оттяжку, хобот и ГЗУ – около  $100\text{м}^2$ ;
- металлоконструкция плавкрана, не включающая в себя понтон – около  $100\text{м}^2$  (понтон обследуется на предмет возникновения внутренних напряжений и деформаций отдельно речным или морским регистром);
- тарифная ставка слесаря 3го разряда – 250 руб./час;
- кол-во слесарей, задействованных в работе – 1 человек;
- время зачистки наиболее опасных сварных швов – 2 часа;
- объем работ по зачистке швов – от 30 до 40  $\text{см}^2$  в час;
- длина обследуемых участков сварных швов – не более 2м (по максимальной нагрузке работ);
- тарифная ставка эксперта – 350 руб./час;
- кол-во экспертов, задействованных в работе – 1 человек;
- время проведения ЭПБ (среднее) - 4 часа;
- время на проведения расчетов и составление заключения – 8 часов;
- минимальное количество экспертиз – 100 обследований в год.

### **Расчет себестоимости одной экспертизы металлоконструкции методом магнитной памяти металла**

- средняя цена магнитного дефектоскопа( экспертный комплект) - 540 тыс. руб.;

- амортизационные отчисления (10 %) от стоимости оборудования - 54 тыс. руб. в год;
- расходные материалы:
- магнитный порошок (200 руб. за кг, 2 кг) - 400 руб.;
- затраты на канцелярию - 200 руб..

Исходя из цены магнитного дефектоскопа с учетом амортизационных отчислений, затраты на расходные материалы (1000 руб.), затраты на заработную плату эксперта (4 200 руб.), себестоимость одного экспертного обследования МК составляет:

$$((540\ 000 + 54\ 000) / 100) + 600 + 4200 = 10740 \text{ рублей}$$

### **Расчет себестоимости одной экспертизы металлоконструкции ультразвуковым контролем**

УЗК в обязательном порядке проводится при обследовании сварных соединений ГПМ [6]. Обследуются наиболее опасные участки сварных швов, в которых возникает наибольшая концентрация напряжений. К таким швам относятся вертикальные, так как горизонтальные швы работают на кручение металлоконструкции (такие виды напряжений минимизированы) [13].

- Средняя цена ультразвукового дефектоскопа - 250 тыс. руб.;
- Амортизационные отчисления (10 %) от стоимости оборудования - 26 тыс. руб. в год;
- Расходные материалы:
- Наждачная бумага с мелким абразивом (50 руб. за метр, количество- 1 м) – 50 руб.;
- Щетка для очистки поверхности от пыли (200 руб. за шт., количество- 1 шт.) – 200 руб.;
- Кисть для нанесения геля (350 руб. за шт., количество- 1 шт.) – 350 руб.;
- Высокотемпературный гель, наносимый на металл после зачистки для проведения процедуры обследования металлоконструкции (450 руб. за кг, количество- 2 кг.) – 900 руб.;

– Затраты на канцелярию - 200 руб..

Исходя из цены ультразвукового дефектоскопа и учитывая амортизационные отчисления, все затраты на расходные материалы, затраты на заработную плату эксперта, затраты на заработную плату слесаря, себестоимость одного экспертного обследования МК составляет:

$$((260\ 000 + 26\ 000) / 100) + 1700 + 4200 + 500 = 9260 \text{ руб.}$$

### **Оценка эффективности предложенной методики**

Порты и судоходные компании имеют право проводить обследования МК на договорной основе на других предприятиях, имеющих ГПМ, что в свою очередь принесет прибыль и затраты на дефектоскопы окупятся быстрее.

В таком случае при проведении обязательной ЭПБ привлеченной экспертной компанией будут учитываться полученные действующие заключения о продлении срока службы оборудования, выданные экспертами портов и судоходных компаний после внутренних проверок по обследованию МК на выносливость.

Портам и судоходным компаниям для проведения такого рода внутренних работ наиболее выгодно приобретать дефектоскопы для обследования МК по ММПМ или УЗК на выбор. Проводить такого рода обследования можно два раза в год: перед началом и после окончания навигационного периода (перед ремонтным периодом). Оба метода требуют одинаковых условий организации лабораторий и одинаково ресурсозатратны и эффективны по предоставлению результатов обследований.

Проведение экспертизы промышленной безопасности сторонними экспертными организациями на 2018 год в среднем разнятся от 10 до 150 тыс. руб. Ценовой разброс зависит от марки крана, года выпуска, технического состояния и основных характеристик.

Оборудование для НК является бюджетным, доступным для любой экспертной компании или порта (нет ограничений). Такого рода дефектоскопы крупносерийно выпускаются как зарубежом, так есть и отечественные аналоги,



не уступающие по своим свойствам и метрологическим характеристикам (МХ). Дефектоскопы бывают как со стандартным, так и расширенным функционалом, а также бывают разных размеров, стационарные и переносные.

Затраты на проведение одной экспертизы показывают, что любая экспертная компания так же как и любая судоходная компания быстро окупит расходы на покупку оборудования НК, что позволяет сделать ЭПБ недорогой.

Экономический анализ показывает, что для портов РФ наиболее выгодным вариантом является проведение ЭПБ, в котором рассчитывается остаточный ресурс оборудования, позволяющий продлевать срок эксплуатации ГПМ на 2 года.

## 5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

При работе с ГПМ существуют некоторые особенности, влияющие на организм человека, которые могут нанести непоправимый вред здоровью. К таким особенностям относятся вредность и опасность. Для безопасной работы на погрузо-разгрузочных площадках с участием ГПМ разработаны специальные нормы и правила [4]. Контроль за соблюдением этих правил осуществляют Санэпидемнадзор.

### **Вредные факторы**

К вредностям, полученным в ходе работы на ГПМ в обязательном порядке относятся:

- климатические условия работы;
- запыленность рабочего места;
- вибрационные нагрузки;
- шумы;
- микроклимат рабочего места, влияющий на видимость.

**Климатические условия** обусловлены работой в портах и судоходных компаниях, расположенных в зоне заполярья и в зонах вечной мерзлоты обусловлена температурными ограничениями. Также строгое соблюдение климатических условий при перегрузочных работах (температурный режим работы, условия тумана, дождя и заснеженности) обусловлена работой на высоте [18].

Климатические условия работы строго регламентированы инструкцией по охране труда при работе при низких температурах на открытом воздухе и в не отапливаемых помещениях и должны соблюдаться строго в обязательном порядке для предотвращения возникновения аварийных ситуаций.

**Запыленность** является наиболее сложноустраняемым фактором, влияющим на здоровье человека. Основной зоной запыления является зона погрузо-разгрузочных работ, в которой постоянно находятся стропальщики, сигнальщики и тальманы. В этой зоне как правило осуществляется перегрузка сыпучих грузов различных фракций (песок, щебень, уголь). Также в расчет берется зона открытого склада по хранению сыпучих грузов в пакетах вблизи зоны работы ГПМ.

**Вибрационные нагрузки** возникают под воздействием длительного нахождения в зоне непосредственной работы крановщика (в кабине). Вибрационные нагрузки крановщик получает от работающей ГПМ. Наибольшую вибрацию передают береговые краны, нагрузки на судовых кранах частично гасятся из-за нахождения кранового понтона в водной среде [17].

**Шумы**, в отличии от вибраций, на плавкранах передаются больше, так как источником возникновения шумов у судовых кранов является дизель-генераторная установка. На всех судовых и палубных кранах в связи с этим не разрешена работа женщин (исключение составляет вспомогательный персонал). Шумы при работе береговых ГПМ не учитываются, так как являются незначительными [16].

**Микроклимат и видимость** в кабине крановщика влияет не только на безопасность погрузо-разгрузочных работ, но и оказывает влияние на точное срабатывание рычагов управления крановыми механизмами. Более подробное описание правил по эксплуатации ГПМ описаны ниже.

### **Опасные факторы**

К опасностям, которые возникают в зоне работы ГПМ в обязательном порядке относятся:

- работа на высоте;
- вредные вещества;
- электробезопасность;

– работа вблизи подкрановых путей.

**Работа на высоте** производится строго по наряду- допуску на соответствующие работы. Любые виды работ на высоте не могут проводиться без специальных индивидуальных средств защиты и в условиях несоблюдения климатических условий. Все виды работ, проводимые на высоте, являются работой в зоне повышенной опасности, как и зона работы вблизи подкрановых путей [18].

**Вредные вещества**, как и запыленность являются наиболее вредным фактором. К вредным перегружаемым веществам относятся нефтепродукты. Утечка этих веществ возможна только при повреждении целостности упаковки груза и происходит крайне редко. Чаще возникает вопрос об использовании, хранении и утилизации отходов горюче-смазочных материалов. Эти вещества относятся к токсичному и легковоспламеняющемуся типу вредных веществ, именно поэтому горюче-смазочные материалы подлежат обязательному сбору, хранению в закрытых тарах и утилизации согласно нормам противопожарной безопасности.

На судовых и палубных кранах ведется осмотр и контроль целостности гидросистемы и в обязательном порядке идет контроль охраны водного бассейна от утечек горюче- смазочных материалов [14].

**Электробезопасность** и ее соблюдение является необходимым условием работы без рисков возникновения ЧС. В обязательном порядке перед началом работ крановщик обязан проверить целостности проводов заземления, кабеля предохранителей и силового кабеля по току и температуре. Контроль уровня электрического тока или проверка повышения напряжения к обмоткам двигателя происходит постоянно во время работы ГПМ. После завершения смены крановщик обязан отключить подачу тока на машину посредством главного рубильника [15].

При проведении ЭПБ в обязательном порядке идет отключение подачи тока посредством главного рубильника на входе в машинное отделение крана, главный щиток, находящийся на берегу должен быть выключен и закрыт на

ключ, на кране в обязательном порядке должна присутствовать табличка с надписью: «Не включать! Работают люди».

**Работа вблизи подкрановых путей** является зоной повышенной опасности. При работе крана на участке перегрузки запрещено хождение по подкрановым путям в зоне непосредственного передвижения стрелового устройства с подвешенным грузом.

Зона передвижения берегового крана обязательно должна быть свободной (запрещено складирование всех видов грузов на подкрановых путях, исключение составляют вагонные передвижные составы). В зимний период подкрановый путь должен чиститься от снега для того, чтобы передвижение ГПМ осуществлялось без затруднений [18].

### **Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды при эксплуатации крановых машин и механизмов заключается в правильности утилизации вредных веществ, к которым относят горюче - смазочные материалы. Также контроль выбросов в атмосферу и гидросферу осуществляется Санэпидемнадзором, который в свою руководствуется системой стандартов [14].

### **Защита в чрезвычайных ситуациях**

**Подготовка крана к работе** осуществляется перед каждой сменой работ. Перед тем как приступить к работе, крановщик должен ознакомиться с записями в вахтенном журнале машины, тщательно проверить техническое состояние Крана, крановых путей и устранить обнаруженные неисправности, препятствующие нормальной его эксплуатации [18].

**Перед началом работы на стреловом кране машинист дополнительно должен:**

- проверить состояние площадки для движения крана и убедиться, что нет скрытых ям, воронок, участков со слабым грунтом. убедиться в свободном проезде крана по территории порта и складской площадке. установить, что исключена возможность соприкосновения крана с токоведущими проводами, со стрелами и канатами других кранов;

- вахтенный журнал машины заводится на каждый кран на одну навигацию (календарный год), он хранится на кране и после заполнения передается в технический отдел порта. в этом журнале отражается приемка-сдача смены крановщиками, отмечаются род и количество переработанного за смену груза, причины простоя крана, все обнаруженные неисправности машины, а также дается перечень выполненных за смену работ по техническому обслуживанию и устранению обнаруженных неисправностей;
- крановщик обязан предварительно осмотреть в доступных местах состояние металлоконструкций крана, затем последовательно проверить все механизмы, канаты, обратив особое внимание на крепление грузовых канатов на барабанах лебедок. при проверке механизмов необходимо убедиться в исправности тормозов, муфт, открытых зубчатых передач, надежности крепления редукторов, грузовых барабанов и электродвигателей к фундаментам, в отсутствии утечки масла из редукторов и тормозной жидкости из тормозной системы, установить наличие на кране, а также исправность приборов безопасности. затем следует осмотреть крюк, рейфер или грузоподъемный магнит, цепи и кольца его подвески. при осмотре крюка особое внимание должно быть обращено на то, чтобы на нем не было трещин, обеспечивалась легкость вращения и надежность его крепления к траверсе крюковой подвески;
- при проверке электрооборудования нужно произвести внешний осмотр (без снятия кожухов и разборки) пусковых резисторов, рубильников, контроллеров, тормозных электромагнитов и электрогидравлических толкателей;
- убедившись в исправном состоянии крана, крановщик должен сделать соответствующие записи в вахтенном журнале машины и после получения инструктажа и задания на производство работ от лица, ответственного за безопасное производство работ по перемещению грузов кранами, может приступить к выполнению перегрузочных работ.

- при обнаружении во время осмотра или опробования крана неисправностей, препятствующих безопасной работе, и при невозможности устранения их собственными силами крановщик, не приступая к работе, докладывает об этом сменному инженеру (механику) и в дальнейшем выполняет его указания по устранению обнаруженных дефектов.

**Управлять краном** нужно в строгом соответствии с инструкциями. Крановщик порталного и машинист стрелового кранов должны помнить, что от правильного включения механизмов крана и их надежности в эксплуатации зависит безопасность работы и производительность крана. Для обеспечения нормальной высокопроизводительной работы крановщик (машинист) должен хорошо знать систему управления краном, взаимодействие отдельных элементов и устройств, возможные причины неисправности механизмов и способы их устранения.

**При управлении краном крановщик обязан:**

- внимательно следить за сигналами стропальщика (зацепщика) и точно их выполнять, если они не противоречат инструкции (крановщик должен помнить, что выполнение неправильного сигнала стропальщика может привести к несчастному случаю, за что он несет ответственность);
- команда «стоп» (остановка всех движений) должна пополняться немедленно, независимо от того, как и кем она подана;
- прежде чем произвести какое-либо движение краном, подать сигнал и убедиться, что на пути перемещения груза нет людей;
- на перегрузке штучных грузов, по массе близких к установленной грузоподъемности крана, первый из этих грузов предварительно поднять на высоту от 200 до 300 мм, проверить устойчивость крана и надежность действия тормозов, быстро «сравить» (опустить) груз, если вследствие каких-либо причин кран с поднятым грузом начнет опрокидываться;
- прекратить работу на кране при недостаточном освещении места работы, сильном снегопаде или тумане, когда плохо различаются сигналы

стропальщика и перегружаемые грузы поставив об этом в известность руководителя погрузочных работ. каждый крановщик должен хорошо знать запрещенные приемы работы и не допускать их при эксплуатации крана.

**При работе на кранах запрещается:**

- поднимать груз, находящийся в неустойчивом положении или в таре, заполненной выше ее бортов, а также подвешенный за один рог двурогого крюка. поднимать груз, засыпанный грунтом, закрепленный или примерзший к основанию, заложенный или зажатый другими грузами;
- поднимать груз, если грузовые канаты на участке от стрелы до поднимаемого груза не сохраняют вертикального положения, а также раскачивать груз для его укладки вне радиуса действия крана. оттягивать груз во время его перемещения и выравнивать его положение силой тяжести людей;
- оставлять груз на весу после окончания грузовых работ или во время перерыва в работе. отключать или блокировать приборы безопасности и тормоза крановых механизмов. выдергивать крюком крана зажатые грузами стропы;
- поднимать краном людей, кроме случаев, когда необходимо оказать помощь пострадавшим, при этом должны быть приняты все возможные меры предосторожности, исключающие падение поднимаемых людей. в отдельных случаях (для производства окрасочных и ремонтных работ) допускается подъем краном людей в специальном приспособлении с надежным ограждением и только с разрешения инженера по технике безопасности. грузить и разгружать автомашины, в кабинах которых находятся люди;
- чтобы избежать перегрузки крана по причине случайного применения не соответствующих данному крану или грузу грейферов, на последние



наносят соответствующие надписи с указанием характеристики грейфера и его назначения (вместимость, собственная масса, род груза).

### **Правила эксплуатации специальных перегрузочных машин**

Правила эксплуатации специальных (трюмных, вагонных, складских) машин разделяются на общие и специальные.

Общие правила, относящиеся к проведению аттестации портовых рабочих на право управления той или иной трюмной, загонной или складской машиной, организации технического надзора за машинами, технического, обслуживания и ремонта, аналогичны общим правилам эксплуатации грузоподъемных кранов. Разница заключается лишь в том, что трюмные, вагонные и ряд складских машин не подлежат государственному надзору и регистрации.

Специальные правила эксплуатации машин типа автопогрузчиков, тягачей, тележек, контейнеровозов заключаются в том, что их работа разрешается только на дорогах и площадках с твердым грунтовым покрытием. При работе в вагонах и трюмах следует учитывать удельные нагрузки от колес на пол вагона и днище трюма, последние должны быть исправными и не иметь выступающих частей.

Стационарные специализированные и конвейерные установки (стакеры, реклаймеры, вагоноопрокидыватели) эксплуатируются в портах постоянным персоналом.

Передвижные и переносные машины непрерывного транспорта устанавливаются на рабочих местах (в трюмах, вагонах, складах) по указанию и под наблюдением непосредственного руководителя грузовых работ. Пуск машин производят без груза, после предварительной проверки исправности машины и подачи сигнала о пуске. Подавать груз на рабочий \_ орган машины нужно равномерно, без рывков и ударов. Остановку машины производят после

того, как рабочий орган будет полностью освобожден от груза (последующий пуск машины, остановленной с грузом, затруднен). Только в экстренных случаях допускается немедленная остановка. В комплексе с кранами можно использовать лишь машины, имеющие дистанционное управление.

О всех обнаруженных неисправностях машин портовые рабочие должны немедленно сообщить сменному инженеру (механику). Портовый рабочий не имеет права отлучаться от обслуживаемой им машины без разрешения руководителя грузовых работ.

## **Общие правила эксплуатации кранов**

### **Обслуживающий персонал**

Для управления и обслуживания порталных и стреловых кранов с машинным приводом администрация порта обязана назначить крановщиков и слесарей, а для обслуживания кранов с электрическим приводом, кроме того, электромонтеров. Указанные лица должны пройти надлежащее обучение и аттестацию в соответствии с положениями ведомственных правил и правил Ростехнадзора.

Для подвешивания груза на крюк крана выделяется стропальщик. Стропальщиков назначают в тех случаях, когда груз перед подвешиванием на крюк надо обвязать канатами (цепями), а также если груз подвешивают на кран без предварительной обвязки (груз с петлями, рымами, в ковшах, контейнерах). Или когда он захватывается полуавтоматическими захватными устройствами.

Если зона, обслуживаемая краном, полностью необозрима из кабины машины и между крановщиками и стропальщиком нет радиосвязи или связи посредством телефона, то для передачи сигналов стропальщика назначают сигнальщика.

К управлению и обслуживанию кранов, к работам по обвязке грузов и подвешиванию их на крюк крана допускаются лица не моложе 18 лет, пригодные к данной работе по состоянию здоровья, прошедшие курс теоретического и практического обучения, успешно сдавшие экзамены

квалификационной комиссии и получившие свидетельство на право выполнять соответствующие работы.

Крановщиков, слесарей, электромонтеров и стропальщиков обучают по специальной программе, утвержденной органами профессионально-технического образования. Аттестует их квалифицированная комиссия.

Лица, выдержавшие экзамены, получают удостоверение. В удостоверении указывают тип крана, к управлению которым допускается крановщик. Допуск к работе крановщиков, слесарей, электромонтеров и стропальщиков оформляют приказом по порту после выдачи им на руки удостоверения об обучении.

Крановщики допускаются к обслуживанию и ремонту электрооборудования крана лишь с разрешения главного энергетика порта в порядке, предусмотренном «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Повторную проверку знаний обслуживающего персонала квалификационная комиссия порта проводит периодически не реже одного раза в 12 месяцев, а также по требованию инспектора Госгортехнадзора или лица, ответственного по надзору в порту.

Крановщики в случае перевода с крана одного типа на другой, а также после перерыва в работе по специальности больше года перед назначением на должность должны быть обучены и аттестованы в установленном порядке.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выпускная работа посвящена анализу возможности создания общей методики проведения экспертиз для ГПМ с истекшим нормативным сроком службы. В ходе выполнения ВКР были рассмотрены основные конструкции крановых механизмов, наиболее встречающихся в портах и судоходных компаниях РФ. Воздействие различных видов нагрузок на основные рабочие органы МК, такие как стреловое устройство и основание в виде понтона или ног портала и возникающие при эксплуатации скрытые и явные дефекты в структуре металла.

Был выполнен анализ наиболее распространенных и применимых методов НК при проведении экспертиз. На основе анализа были выбраны наиболее рациональные методы диагностирования напряженно-деформированного состояния в структуре металла, которые показывают не только существующие дефекты, но и могут прогнозировать скорость развития усталостных трещин и их направление.

Эти методы получили свое распространение еще и потому, что для проведения ЭБП важным фактором является возможность работы на высоте, а для этого нужны портативные дефектоскопы. Были рассмотрены методики двух ведомств по расчету остаточного ресурса и даны рекомендации по их применению с учетом методов НК в зависимости от структуры дефекта.

Выполнен экономический расчет эффективности применения методов НК в портах и судоходных компаниях. Расчет показал, что покупка дефектоскопов для проведения дополнительного контроля МК быстрокупаема, эффективна и позволяет портам самим проводить экспертизы в сторонних организациях, если у них есть и лицензия на данный вид экспертных работ и обученный эксперт в области НК, тем самым получать дополнительную прибыль с проведения экспертиз.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Белан А. М. Эффективность капитально-восстановительного ремонта подъемного оборудования на примере перегрузочного оборудования. Конференция «Наука. Технологии. Инновации». Сборник научных трудов в 9 частях- Новосибирский Государственный Технический Университет, 2016, с. 420-422.
2. Natalinova N.M., Galtseva O.V., Xiu N., Belan A.M.. Qualitative and quantitative methods for estimating the library and information services. Сборник: The european proceedings of social & behavioural sciences iii international scientific symposium. - National Research Tomsk Polytechnic University. 2017. с. 476-484.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дубов А.А. Способ определения предельного состояния металла и ресурса оборудования с использованием параметров магнитной памяти металла. Материалы XVI российской научно-технической конференции "Неразрушающий контроль и диагностика". Санкт-Петербург, сентябрь, 2002
2. Яськов, А. А. Устройство и эксплуатация портовых кранов: Учебн. Пособие для учащихся ПТУ. – М.: Транспорт, 1980.-320 с.
3. Власов, В. Т. Физические основы метода магнитной памяти металла / В. Т. Власов, А. А. Дубов. – М.: ЗАО “ТИССО”
4. ГОСТ 33166.3-2014 Краны грузоподъемные. Требования к механизмам. Часть 3. Краны башенные. – М.: Стандартиформ, 2015. – 11 с.
5. ГОСТ 33713-2015 Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования.– М.: Стандартиформ, 2016. – 24 с.
6. ГОСТ 33710-2015 Краны грузоподъемные. Выбор канатов, барабанов и блоков.– М.: Стандартиформ, 2016. – 19 с.
7. ГОСТ 34020-2016 Краны грузоподъемные. Допуски для колес, рельсовых путей кранов и их грузовых тележек.– М.: Стандартиформ, 2017. – 30 с.
8. ГОСТ 25346-2013 Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. – М.: Росстандарт от 18.02.2014 № 28-ст.
9. Li-hong, Dong. The Application of metal magnetic memory testing to the field of the life estimation of remanufacturing blanks [Text] / Li-hong Dong, Bin-shiXu, Shi-yun Dong, Dan Wang. – Beijing
10. Roskosz, M. The metal magnetic memory method in the diagnostics of power machinery component [Text] / M. Roskosz, A. Rusin, J. Kotowicz. – Journal of

achievements in materials and manufacturing engineering. – 2010. – Issue 1. –  
vol. 43

11. Roskosz, M. Metal magnetic memory testing of welded joints of ferritic and  
austenitic steels [Text] / M. Roskosz. – NDE for safety: Defectoskopie. – 2010

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## (ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ)

### Раздел 1

#### Methods of non-destruction testing in metalwork

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ГМ61	Иванова Ангелина Михайловна		

**Консультант школы отделения (НОЦ) ОАР ИШИТР:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОАР	Заревич А. И.	к.т.н.		

**Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ОИЯ ИШИТР:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Кузнецова И. Н.	-		



## **METHODS OF NON-DESTRUCTION TESTING IN METALWORK**

### **The main methods of non-destruction testing are:**

- magnetic memory of metal;
- acoustic method ;
- method of colors( capillary method) ;
- optic method;
- electric method;
- eddy current method;
- method of radiation;
- thermal method;
- method of radio wave;

### **Methods of non-destruction testing classified by:**

- interaction of substances or physical fields with metalware;
- the primary data on the metalware under study;
- methods of obtaining primary data on the metalware under study;
- methods of presenting information in the survey of the metalware.

The method of magnetic memory of metal, is a method of non-destructive testing. This method is based on recording and analyzing the distribution of own magnetic scattering fields on the surface of products, in order to determine zones of stress concentration, defects, heterogeneity of metal and welds.

The own magnetic scattering field of the product, is the magnetic field of scattering, which appears on the surface of the product in zones of constant slip bands under the influence of working or residual stresses, or in zones of maximum heterogeneity of the metal structure on new products.

Control properties (the properties of chemical composition, structure and discontinuity of the metal) are associated with the parameters of the magnetization process. This process we can measure, and then we can conclude that there are any deviations from the specified parameters.

The acoustic method of non-destruction testing, is the recording of the parameters of elastic vibrations excited in the magnetostriction Ultrasonic flaw detectors solve a wide range of production problems of control and diagnostics. Defectoscopes are determined the mechanical characteristics and analyzed the state of stressed of the metal. In addition to metal, acoustic object Defectoscopes determine the mechanical characteristics and analyze the stressed state of the metal. In addition to the metal, acoustic method can be used to objects, which examine well-conducting acoustic waves from ceramics, plastics, and concrete.

Capillary control or control of penetrating substances is based on the penetration of liquid indicators into the surface of the metal and, filling the cavities. This method reveals defects in the form of any color or luminescent pattern. A capillary method is used to detect visually invisible or invisible surface defects, such as welded joints.

The optical method of non-destruction testing is based on the emission of light onto a controlled object. Instruments such as magnifiers, microscopes are used, which greatly expands the possibilities of the optical method. Endoscopes and projection devices are also used to monitor internal cavities and shape products. The optical method is widely used to control transparent objects in which structural inhomogeneities, internal stresses, macro- and microdefects can be observed. To expand the field of application of optical methods and to increase the accuracy of measurements, flexible fibers, lasers, optical holography, and television technology are also used.

The radiation method of non-destruction testing is based on the interaction of penetrating ionizing radiation with the object of control. This non-destruction testing method can be used for objects from any materials. The method of passage is the main method of radiation control.

The radio wave method of non-destruction testing is based on recording changes in parameters at the monitoring object that interact with electromagnetic oscillations. The most often controlled items from thin-walled metals, fiberglass, plastics and ceramics.

The eddy current method of non-destruction testing is based on recording the change in the interaction of the electromagnetic field of eddy currents with the electromagnetic field of the coil. The distribution and intensity of eddy currents depend on the electrical and magnetic properties of the material, as well as the presence of discontinuity in the material and the mutual location of the monitoring object and the transducer. The eddy current non-destructive testing method is used to detect subsurface and surface defects, as well as to control the geometric dimensions, the chemical composition of the material, its structure and the presence of internal stresses.

Thermal method of non-destruction testing is the registration of thermal fields (the thermal contrast of the object of control). This method is applicable to objects from any materials. The scanning thermal imager is the most effective means of non-contact control. It registers temperature fields and heat fluxes.

The electric method of non-destruction testing registers electric fields and electrical parameters of the object of control, which arise as a result of external influence. Electric capacity or potential are primary informative parameters.

In addition to the above, a capacitive method is used to examine structures made of semiconductor or dielectric materials. The electric potential method (or capacitive method) is applicable when determining the depth of discontinuities near the surface of a conductor.

All traditional methods of nondestructive testing, including the method of penetrating substances, the optical method, electric, eddy current, radiation, thermal and radio wave, are aimed at finding already developed defects and, in their function, cannot prevent sudden fatigue damage to equipment - the main causes of accidents and sources of injuries staff. And today it is very important to prevent defects,

determine the places of their most probable development, accurately determine the time of wear of the structures for their proper repair or replacement.

The problem of measuring mechanical stresses in operating structures for the purpose of assessing their condition is currently being handled by all the leading diagnostic centers in the world. However, till now efficiency of various methods and means of the control of pressure remains low at their use directly on the equipment. One of the methods solving this problem is the method of magnetic memory of metal, which, like the acoustic emission method, is a "passive" of nondestructive testing method, using measurements of its own physical design fields.

Those two methods have been now most widely used in practice for the early diagnosis of damage to equipment and structures. In addition, it is these two methods that currently allow 100 % survey of equipment in the express control mode.

Analysis of the possibilities of known methods for controlling stresses and deformations in the base metal, welded joints of equipment and structures allows us to name the following significant drawbacks:

- unfitness for the control of extended pipelines and structures, large-sized products, equipment and vessels;
- impossibility of using the majority of methods in the field of plastic deformation;
- the change in the structure of the metal is not taken into account;
- impossibility of evaluating deep layers of metal for most control methods;
- Construction of calibration charts is required on the basis of tests of pre-manufactured samples, which, as a rule, do not reflect the actual energy state of the equipment;
- preparation of a controlled surface and objects of control (cleaning, active magnetization, sensor adhesion, etc.) is required;
- the difficulty in determining the position of the sensors in relation to the direction of the action of the maximum stresses and deformations that determine the reliability of the equipment.

In addition, traditional methods and means of non-destruction control stresses, which are based on the active interaction of the instrument signal with the structural metal, receive indirect information about the stressed state of the monitoring object, that is, they have insufficient information content of the physical fields used in the control.

Indeed, the field introduced into the material under investigation, interacting with the intrinsic fields of the material, changes its properties and characteristics of the stress-strain state of the control object. In this case, the nature, magnitude and lifetime of the changes are determined by the dynamic ratio of the energies of the interacting fields. In practice, during the diagnosis, such changes simply do not take into account.

When assessing the resource of equipment, as is known, an indispensable condition is the determination of the actual stress-strain state with the identification of zones of concentration - the main sources of damage development - based on 100 % inspection of the total volume of the metal. It is the zone of stress concentrations that determines the operability of any design, and not the calculated, average values of operating voltages.

It is known that under the influence of operational loads, the operation of the metal of the equipment is mainly determined by the slip of dislocations and shear deformation. At the same time, accumulation of metal fatigue damage in many cases occurs under conditions of low and multi-cycle workload. It is obvious that the traditional methods of stress control cannot estimate the actual stress-strain state of the structure, since in the general case the zone of stress concentrations caused by shear deformation is not known. In the course of industrial research, it has been established that only "passive" methods for diagnosing an intense - deformed state can answer the questions posed, and are the most suitable for practice.

As practice has shown, the method of magnetic memory of metal in addition to the AE method additionally provides information on the actual stress-strain state of the monitoring object, which allows more objective determination of not only the stress concentration zone but also the reason for the formation of this zone. At the

same time, no preparatory work is required to apply the method of magnetic memory of metal to the monitoring facility.

On the basis of the analysis of existing approaches to the estimation of the residual resource of aging equipment that have developed in various industries, the following general trends can be singled out:

- many experts in the field of equipment reliability move from probabilistic methods of resource estimation based on failure statistics to the estimation of the individual resource of aging equipment on the basis of an integrated approach combining the results of destructive and non-destructive testing with verification calculations for strength;
- when assessing the resource, there is a noticeable tendency of a transition from flaw detection to methods of technical diagnostics, based on a combination of fracture mechanics, metallurgy and non-destruction testing. the methods of the stress-strain state of equipment and structures refer to the foreground, including the ultrasonic and the method of magnetic memory of metal;
- the need for a 100 % inspection of aging equipment to identify potentially hazardous areas is recognized.

At the same time, it is necessary to note the following shortcomings and shortcomings in the implementation of these approaches. With the integrated application of various methods and means of nondestructive and destructive testing, there is no strictly defined order and sequence in their application for a particular control object.

**The proposed methods of verification of the strength calculation can be divided into four groups:**

- methods for calculating the corrosion rate of metal;
- methods for calculating the fracture toughness of a metal;
- methods for calculating metal fatigue;
- methods for calculating units of equipment operating under creep conditions.

The main drawback of the known methods is that they offer a low level of allowable stresses. These requirements, as is known, are due to the operation of the

metal of the equipment under conditions of slip and shear deformation. As practice shows, these metal working conditions are crucial for the reliability of the structure. However, it is impossible to predict in advance on the equipment the zone of occurrence of metal sliding areas

In addition, the available strength calculation methods usually presuppose an independent flow of corrosion, fatigue and creep processes, although in practice these processes occur simultaneously in a different combination.

The tendency of the transition from traditional flaw detection to technical diagnostics with the use of a complex approach, including: the determination of the parameters of defects, the evaluation of the distribution of internal (residual) stresses, the determination of the actual structural and mechanical characteristics of the metal is constrained, first of all, by the low efficiency of existing methods and means of controlling the stress-strain equipment status

The need for a 100 % survey of equipment in the assessment of the resource, although realized, however, in order to realize this task, in practice, a great deal of time and material and financial resources is required. With the use of traditional methods, this task is not implemented in practice.

An increasing number of specialists are beginning to understand that in many cases (especially on aging equipment) it is more dangerous to "pre -defect" the state of metal when irreversible changes occurred at the structural level, and damage due to fatigue can occur suddenly and, as a rule, in those zones where it is not expected. In estimating the resource of equipment, methods and means of non-destruction testing of structural and mechanical properties of metal are currently widely used (measurement of hardness, coercive force and other magnetic characteristics of a metal in order to determine structural changes and other methods).

Earlier it was noted that the main sources of equipment damage are stress concentration zone arising in zones of stable slip bands of dislocations and caused by the action of workloads. As experience of control shows, these zones on the surface of the metal of equipment appear as lines with a width and depth dimension at the beginning of their development not more than a few microns. The probability of

getting into these zones when sampling metal is very low. Obviously, such a problem can be solved only with 100 % inspection of the metal of the entire surface of the object of control by highly sensitive methods.

In this regard, it should be noted that if it is not possible to determine the stress concentration zone and to select representative samples of metal, then, accordingly, it makes no sense to perform a verification calculation for strength in order to estimate the residual resource. Only in exceptional cases, when, for example, the metal is prone to corrosion with thinning of the surface wall over a large area, it makes sense to calculate the strength taking into account the reduction in wall thickness and corrosion rate.

Thus, this brief analysis of the existing methods of non-destruction testing damage and metal degradation shows their low efficiency in assessing the resource of industrial equipment. The tendency of the transition from traditional flaw detection to technical diagnostics with the use of fundamentally different control methods and approaches becomes clear and logical. More complex tasks that arise when assessing the resource of equipment (in comparison with conventional flaw detection in normal operation) require the use of tools and methods that are more difficult to master but more effective in controlling the changing properties of the metal.

To such methods it is necessary to attribute, first of all, methods and means, allowing to control in practice the strained-deformed condition of the equipment.

Having full information about the detected defects and the possible influence of each of them on the residual resource of the equipment, it is possible to solve without difficulty the task of determining the amount of restoration work necessary to bring the resource of the nodes up to the required level.

The method for determining the residual metal resource and using the parameters of the method of magnetic memory of metal and ultrasonic testing is presented in the paper.

Practical application of the method of magnetic memory of metal and ultrasonic testing method are spread out on the territory of Russia, experimental confirmation is carried out in Poland, China and other countries. These methods have



been recognized not so long ago, they are new, and the physical principles underlying them are not sufficiently studied. As a consequence, methods require more thorough research, more detailed analysis of physics, and confirmation of the effectiveness of their use in as many tests as possible.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(РЕКОМЕНДУЕМОЕ)

Выдержка из ГОСТ 34017-2016

Таблица 8 – Группы классификации режима работы кранов стреловых и их механизмов

Назначение, тип крана	Режим эксплуатации	Группа классификации режима работы крана в целом	Механизм подъема	Механизм изм. вылета стрелы	Механизм передвижения тележки	Механизм поворота	Механизм передвижения
Кран с ручным приводом	Легкий режим	A1	M1	M1	M1	M1	M1
Монтажный кран в цеху	Эксплуатация со значительными перерывами в работе	A2	M2	M1	M1	M2	M2

Продолжение таблицы 8

Назначение, тип крана	Режим эксплуатации	Группа классификации режима работы крана в целом	Механизм подъема	Механизм изм. вылета стрелы	Механизм передвижения тележки	Механизм поворота	Механизм передвижения
Судовой кран в крюковом режиме	Эксплуатация с перерывами в работе	A4	M3	M3	-	M3	-
Судовой кран с грейфером или магнитом	Интенсивная эксплуатация	A6	M5	M3	-	M3	-
Кран, используемый при постройке судов	Эксплуатация с перерывами в работе	A4	M5	M4	M4	M4	M5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Продолжение таблицы 8

Назначение, тип крана	Режим эксплуатации	Группа классификации режима работы крана в целом	Механизм подъема	Механизм изм. вылета стрелы	Механизм передвижения тележки	Механизм поворота	Механизм передвижения
Кран, используемый на складе в крюковом режиме	Регулярное пользование с перерывами в работе	A4	M4	M3	M4	M4	M4
Кран, используемый на складе с грейфером или магнитом	Регулярное использование	A6	M6	M6	M6	M6	M5
Кран, используемый на складе с грейфером или магнитом	Интенсивная эксплуатация	A8	M8	M7	M7	M7	M6

Продолжение таблицы 8

Назначение, тип крана	Режим эксплуатации	Группа классификации режима работы крана в целом	Механизм подъема	Механизм изм. вылета стрелы	Механизм передвижения тележки	Механизм поворота	Механизм передвижения
Портальный кран при работе в крюковом режиме	Регулярное пользование с перерывами в работе	A6	M5	M4	-	M5	M3
Портальный кран при работе в крюковом режиме	Интенсивная эксплуатация	A7	M7	M5	-	M6	M4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Продолжение таблицы 8

Назначение, тип крана	Режим эксплуатации	Группа классификации режима работы крана в целом	Механизм подъема	Механизм изм. вылета стрелы	Механизм передвижения тележки	Механизм поворота	Механизм передвижения
Портальный кран при работе с грейфером или магнитом	Регулярное пользование с перерывами в работе	A7	M7	M6	-	M6	M4
Портальный кран при работе с грейфером или магнитом	Интенсивная эксплуатация	A8	M8	M7	-	M7	M4

ПРИЛОЖЕНИЕ Б