ОАО РОСЭК

ОАО «ВНИИПТМАШ»

ФГОУ ВПО СПГУВК

ФГОУ ВПО МГАВТ

Согласовано:
Письмо №12-20/558
от 21.06.2004 г.
Начальник Управления
по надзору на
общепромышленных
опасных производственных
объектах

_____В.С. Котельников
«____» _____2004

Утверждаю:
Генеральный директор
ОАО «ВНИИПТМАШ»

_____Р.А. Лалаянц
«____» _____2004 г.

Руководящий документ по оценке остаточного ресурса портальных кранов.

РД 24-112- 4Р

Москва, Санкт-Петербург
2004

gost.e-ecolog.ru

1. Разработан и утвержден	ОАО «РосЭК», г. Москва, Рязанский пр-т, 13 тел. 350-37-22 ОАО «ВНИИПТМАШ», г. Москва, ул. Люблинская. 42 тел. 351-80-40 ГОУ ВПО «СПГУВК», г. Санкт-Петербург, Двинская ул., 5/7, тел. 259-03-56 ГОУ МГАВТ г. Москва, ул. Судостроительная, д. 46, тел. 116-30-88
2. Разработчики	Андреев А.В., Волков К.А., Ганшкевич А.Ю., Гришкин В.Г., Дувидович Д.И., Жуков В.Г., Леонова О.В., Липатов А.С., Розовский Н.Я., Соколов Ю.Ф.
3. Введен в действие	«21» 06 2004 г. сроком на 5 лет
4. В дополнение к	РД 10-112-4-98

Документ действителен при наличии подлинной подписи и печати.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....5

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. 6

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ 8

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И НАЗНАЧЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ 10

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА.....14

5. УКАЗАНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА.17

6. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСВАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ. 18

7. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЕТНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА. 18

8. УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЛЯ КРАНОВ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП КЛАССИФИКАЦИИ (РЕЖИМА РАБОТЫ). 19

9. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ И ПЕРСОНАЛУ, ВЫПОЛНЯЮЩЕМУ ОЦЕНКУ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА, И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. 22

10.ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.....22

ПРИМЕР 1. ПРИМЕР ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО КАЛЕНДАРНОГО РЕСУРСА ПОРТАЛЬНОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КРАНА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 16 т, КПП 16-30, УСТАНОВЛЕННОГО В РЕЧНОМ ПОРТУ..... 24

ПРИМЕР 2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОРТАЛЬНОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КРАНА

ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 10 т, АЛЬБАТРОС, УСТАНОВЛЕННОГО В РЕЧНОМ ПОРТУ 35

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РЕКОМЕНДУЕМОЕ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ ГРУПП КЛАССИФИКАЦИИ А6 - А8 48

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РЕКОМЕНДУЕМОЕ. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ..... 56

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий Руководящий документ (далее – РД) содержит основные указания по выполнению работ, имеющих своей целью оценку остаточного ресурса и назначению остаточного срока службы портальных кранов по критериям безопасности и работоспособности расчетных стальных конструкций, а также–решения вопроса о возможности и условиях продолжения эксплуатации крана.

Настоящий Руководящий документ разработан в соответствии с Законом "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (Закон принят Государственной Думой 20 июня 1997г. № 116-ФЗ), постановлением Правительства Российской Федерации от 28.03.01 № 241 «О мерах по обеспечению промышленной безопасности производственных объектов» и указанием Госгортехнадзора России от 04.02.2002 № 03-35/23, а также с учетом требований РД 10-112-4-98 «Методические указания по проведению обследования портальных кранов с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации» и РД 03-484-02 «Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах».

РД устанавливает порядок и требования к организации и методам выполнения оценки остаточного ресурса, в том числе при проведении экспертизы промышленной безопасности портальных кранов с истекшим сроком службы.

В зависимости от технического состояния и с учетом требований нормативных документов продление эксплуатации технического устройства, оборудования и сооружения осуществляется на срок до прогнозируемого наступления предельного состояния (остаточный ресурс) или на определенный период (поэтапное продление срока эксплуатации) в пределах остаточного ресурса. При этом, по результатам работ по определению возможности продления срока безопасной эксплуатации принимается одно из решений:

продолжение эксплуатации на установленных параметрах;
продолжение эксплуатации с ограничением параметров;
ремонт;
доработка (реконструкция);
использование по иному назначению;
вывод из эксплуатации.

РД рекомендуется использовать при выполнении работ по страхованию ответственности организаций*, эксплуатирующих портальные краны, в качестве расчетного обоснования отсутствия достижения предельного состояния при назначении остаточного ресурса или срока службы.

РД предназначен для специализированных (экспертных) организаций, занимающихся обследованием (экспертизой) объектов, на которых используются стационарно установленные подъемные сооружения – портальные краны, а также для владельцев (независимо от формы собственности организации и/или предприятия) указанных кранов.

Работы по определению остаточного ресурса технических устройств, оборудования и сооружений проводится экспертами экспертных организаций, аттестованными в установленном порядке на право выполнения расчетов остаточного срока эксплуатации.

Установленные сроки службы эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений обеспечиваются:

эксплуатацией технических устройств, оборудования и сооружений в строгом соответствии с требованиями технической документации, регламентирующей вопросы эксплуатации;

проведением технического обслуживания и ремонтов технических устройств, оборудований и сооружений.

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем РД используются термины и определения, приведенные в РД 10-112-96, РД 10-112-4-98, в «Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00)», а также следующие термины и определения:

Дефекты и повреждения - каждое отдельное несоответствие грузоподъемной машины (портального крана), узла, элемента требованиям, приведенным в рабочей (эксплуатационной, технической) или нормативной документации.

Остаточный срок службы - минимальный дополнительный календарный срок службы, назначаемый комиссией по результатам выполнения оценки остаточного ресурса портального крана.

---

* В соответствии с требованиями ст. 15 Федерального Закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов".

Примечание: Назначаемый остаточный срок службы выполним при условии обеспечения со стороны владельца крана в течение последующего периода эксплуатации исправного и/или работоспособного состояния механизмов, электрооборудования, устройств управления, приборов безопасности и т.д., согласно требованиям ПБ 10-382-00 «Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов».

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

Ресурс – Расчётная наработка грузоподъёмного крана (или его элемента) от начала эксплуатации (или её возобновления после ремонта) до наступления предельного состояния. Наработка может измеряться количеством переработанного груза, моточасами, циклами работы крана и т.п.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

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 допустимых и т.д.

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).

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

2.1. Порядок продления сроков безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений, находящихся в эксплуатации, включает следующие основные этапы:

установление необходимости проведения работ по продлению сроков безопасной эксплуатации ;

подачу и рассмотрение заявки на проведение работ по продлению срока эксплуатации и прилагаемых к ней документов;

разработку, согласование и утверждение программы работ;

проведение работ, предусмотренных программой, анализ полученной информации и результатов, выработку технического решения о возможности продления, разработку частных и итогового заключений по результатам выполненных работ;

подготовку, согласование и утверждение решения о возможности продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений и, при необходимости, плана корректирующих мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на продлеваемый период;

принятием решений о дальнейшей эксплуатации (или прекращение эксплуатации);

проведение заявителем корректирующих мероприятий, предусмотренных решением о возможности продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений;

контроль за выполнением корректирующих мероприятий.

2.2. Перед проведением обследования в целях установления необходимой полноты сведений экспертная организация рассматривает заявку на проведение работ по продлению срока безопасной эксплуатации и прилагаемые к ней документы, в которых должна быть приведена достоверная информация состоянии технических устройств, оборудования и сооружений и их соответствии требованиям промышленной безопасности, установленным в нормативных документах. Руководители эксплуатирующей организации обеспечивают достоверность информации, представленной экспертной организации для определения безопасного срока эксплуатации технических устройств, оборудований и сооружений.

2.3. Работы по техническому диагностированию технических устройств, оборудования и сооружений могут предусматривать:

неразрушающий контроль;

определение механических характеристик;

металлографические исследования;

определение химического состава материалов;

оценку коррозии, износа и других дефектов;

испытания на прочность и другие виды испытаний;

расчетно-аналитические процедуры оценки и прогнозирования технического состояния, включающие:

расчет режимов работы;

исследование напряженно-деформированного состояния и выбор критериев предельных состояний;

определение остаточного ресурса (до прогнозируемого наступления предельного состояния).

2.4. В качестве критериев предельного состояния расчётных металлических конструкций крана принимается возникновение и развитие усталостных и других трещин, развитие недопустимых по величине остаточных деформаций, потеря устойчивости, недопустимое уменьшение сечений элементов вследствие их коррозии и/или износа всех видов, а также (могущее наступать со временем) изменение свойств материала.

2.5. Предельные величины допустимых дефектов и повреждений принимают в соответствии с требованиями ПБ 10-382-00, РД-10-112-4–98, «Руководства (Инструкции) по эксплуатации крана», а также приведенными ниже указаниями.

2.6. Основными исходными данными при оценке остаточного ресурса следует считать не только паспортные характеристики крана, но также и данные его фактической эксплуатации (включая фактическую группу режима работы).

Примечание:

Для элементов конструкции крана, подвергшихся замене, срок их службы исчисляется с момента их замены.

2.7. После выполнения оценки остаточного ресурса и продления срока эксплуатации крана, как правило, крана сохраняются порядок и периодичность проведения экспертизы промышленной безопасности (обследования) для кранов данных условий эксплуатации, предусмотренные РД 10-112-4-98.

Уточнение интервалов повторного обследования в пределах расчетного остаточного ресурса выполняется с учетом развития основных повреждений – усталостных и коррозионных.

2.8. Оценку остаточного ресурса выполняют только после устранения выявленных дефектов и повреждений расчетных элементов металлической конструкции, включая также и последующую антикоррозийную окраску поврежденных участков.

2.9. В том случае, если при оценке остаточного ресурса будет принято решение о изменении эксплуатационных параметров крана, это следует выполнять в соответствии с требованиями п. 29 РД 03-484-02.

2.10. При оценке остаточного ресурса кранов, установленных в морских портах или эксплуатирующихся в районах с холодным климатом (исполнение УХЛ1 по ГОСТ 15150) необходимо назначать наиболее консервативные величины расчетных коэффициентов и снижать назначаемый остаточный ресурс или срок службы на 25% по сравнению с расчетным.

3. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

3.1. Экспертный метод оценки остаточного ресурса.

3.1.1. Данный метод предусматривает назначение остаточного срока службы или остаточного ресурса на основе данных о, фактической группе классификаций (режима работы) крана и результатов проведения оценки его технического состояния **при выполнении объема работ и требований, приведенных в РД 10-112-4-98.**

3.1.2. Назначение остаточного срока службы или остаточного ресурса экспертным методом предусматривает использование уточнённых данных оценки фактической группы классификации (режима работы) крана*. Так, например, если монтажный портальный кран используется на погрузо-разгрузочных работах, его фактическая группа классификации будет не А5 (средний режим), а А6 (тяжелый режим) или даже А8 (весьма тяжелый).

3.1.3. При назначении остаточного срока службы или остаточного ресурса экспертным методом следует учитывать данные о конструктивных особенностях данного крана, а также статистические данные заводов – изготовителей и данные из информационных писем Госгортехнадзора России о часто встречающихся дефектах и

* Наиболее объективно это можно сделать с применением данных регистратора параметров, если указанный прибор установлен на кране.

повреждениях, касающихся кранов данной конструкции.

3.1.4. **Экспертный метод** назначения остаточного ресурса и остаточного срока службы рекомендуется для кранов, имеющих фактическую группу классификации А1 – А5. Как правило, это краны, используемые только на выполнении монтажных работ на судостроительных (судоремонтных) предприятиях. **Одним из условий использования этого метода** является отсутствие усталостных повреждений расчётных элементов металлоконструкций крана.

3.2. Расчетный или Экспериментально – расчетный метод оценки остаточного ресурса.

3.2.1. Данный метод предусматривает назначение остаточного срока службы на основе оценки остаточного ресурса по данным о фактической группе классификации крана, результатам проведения оценки его технического состояния при выполнении объема работ и требований, приведенных в РД 10-112-4-98, а также работ и требований, приведенных в настоящем РД.

3.2.2. Расчетный или Экспериментально – расчетный метод предусматривает (в общем случае) выполнение следующих этапов:

- уточненный расчет фактической группы классификации крана;
- уточнение (при необходимости) фактических характеристик механических свойств металла металлических конструкций (выполняется, как правило, для кранов интенсивной эксплуатации, установленных в климатических районах ХЛ, а также в случаях, если на металлоконструкции обнаружены места неоднократно подвергавшиеся ремонту вследствие повторного возникновения усталостных трещин)**;
- выполнение общего расчета металлической конструкции крана для наиболее вероятного (по мнению эксперта) сценария развития одного или нескольких предельных состояний;
  Примечание. В случае, если в качестве наиболее вероятного предельного состояния выбран критерий усталостной прочно-

---

** В остальных случаях принимаются характеристики, приведенные в соответствующем ГОСТе

сти, пример оценки остаточного ресурса приведен в Приложении 1 к настоящему РД.

- написание отчета и выводов по результатам оценки остаточного ресурса с конкретными рекомендациями по срокам продления эксплуатации крана;
- разработка дополнительных рекомендаций и конструкторских решений по усилению отдельных элементов металлической конструкций с целью обеспечения выполнения рекомендаций комиссии, выполнявшей оценку остаточного ресурса.

Примечание. При наличии данного этапа выполнения работ обязательства комиссии, проводившей оценку остаточного ресурса по данному конкретному крану, вступают в силу только после выполнения на кране предписанного объема работ по усилению металлоконструкции, который должен быть выполнен с соблюдением установленной разработчиком технологии и надлежащего контроля качества работ.

3.2.3. Расчеты металлических конструкций кранов для последующего назначения остаточного срока службы на основе оценки остаточного ресурса следует выполнять по методу предельных состояний.

3.2.4. При проведении расчетов металлических конструкций для оценки остаточного ресурса рекомендуется использовать общепринятые в краностроении расчетные случаи сочетания нагрузок, а также рекомендации СТО 24.09–5281–01–93 «Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций».

При расчёте на сопротивление усталости для кранов групп классификации А6 и выше следует использовать данные о фактических уровнях эксплуатационных нагрузок в рассчитываемых элементах конструкции. Эти данные могут быть получены путём проведения специальных испытаний крана, расчетом методом конечных элементов (МКЭ) или приняты в соответствии с рекомендациями Приложений 1 и 2.

3.2.5. Значения расчетных сопротивлений и эффективных коэффициентов концентрации напряжений при проведении расчетов назначают с учетом механических свойств сталей и рекомендаций СТО 24.09–5281–01–93 «Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций». Значения характеристик трещиностойкости назначают в соответст-

вии с данными Приложения 2 настоящего РД или РТМ Минтяжмаш-КОДАС «Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета на трещиностойкость металлоконструкций мостовых кранов при статическом и циклическом нагружении», или по согласованию Госгортехнадзором России.

3.2.6. В местах повторного возникновения трещин или для других обоснованных случаях оценки остаточного ресурса и интервалов технического диагностирования могут быть применены отдельные методики расчета элементов крановых металлоконструкций на трещиностойкость (живучесть), согласованные с Госгортехнадзором России. Пример расчета живучести приведен в настоящем РД (Пример 2).

3.2.7. Оценка величины остаточного ресурса **Расчетным** или **Экспериментально – расчетным методами** может выполняться только в тех случаях, когда на основании документально подтвержденной информации (подробнее см. об этом в разделе 4 данного РД) могут быть определены показатели нагруженности расчетных элементов конструкции (с учетом динамических, технологических, ветровых и др. нагрузок) за период с начала эксплуатации крана до момента проведения определения остаточного ресурса.

При наличии на кране регистратора следует использовать данные о нагруженности крана, записанные указанным прибором, как наиболее объективные.

Достоверность информации, необходимой для оценки остаточного ресурса обеспечивается в соответствии с требованиями РД 03-484-02, руководителем организации эксплуатирующей кран.

Примечания:

1. Расчет должен базироваться не на проектных, а на фактических данных об особенностях расчетных элементов конструкции данного крана, включая учет влияния имеющихся (отремонтированных) дефектов и повреждений.

2. Справка владельца крана, форма которой предусмотрена РД 10-112-4-98, без дополнительных сведений (отчетных данных о наработке крана по годам его эксплуатации, документально подтвержденной информации о величине и характере распределения грузопотоков на объекте, и т.п.) не может рассматриваться в качестве объективных исходных данных для расчета.

3. При наличии статистической информации об изменении состояния расчетных конструкций кранов конкретных типов (например, о темпах развития повреждений) последняя также может быть использована для определения величины остаточного ресурса и интервала повторного обследования.

3.2.8. При выполнении оценки величины остаточного ресурса кранов, имеющих паспортную группу классификации **А6 и выше**, а также обслуживающих технологические процессы, связанные с интенсивной эксплуатацией крана, вне зависимости от фактической загрузки крана (например, простоев, определяемых неритмичностью подачи грузов, длительностью навигации и т.п.) искусственное **снижение** группы классификации крана **не разрешается.**

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Все исходные данные, которые будут необходимы для оценки остаточного ресурса тем или иным методом, в общем случае можно разделить на **данные, принимаемые по представляемой владельцем документации** (или, предоставляемые владельцем крана), и на дополнительные **данные, полученные комиссией в ходе выполнения работ** по оценке остаточного ресурса при непосредственном обследовании крана (данные о фактической группе классификации, техническом состоянии обследуемого крана и т.д.).

4.1. Данные, принимаемые по представляемой владельцем крана документации:

- тип крана, номера крана (заводской, регистрационный, владелец крана.)
- грузоподъемность (для главного и вспомогательного механизмов подъема)
- классификационная группа режима работы крана по паспорту (режимы механизмов подъема), установленный срок службы (при наличии).
- предприятие – изготовитель, год выпуска крана и пуска его в эксплуатацию.
- вылет, высота подъема, колея и база портала крана, скорости рабочих движений, вид регулирования скоростей. Масса крана общая и его основных узлов.

- тип грузозахватного органа (органов) или грузозахватного приспособления.
- тип металлоконструкции (сварная, клепаная, клепано-сварная).
- особенности выполнения монтажных стыков основных расчетных элементов конструкции (клёпаные, сварные, на высокопрочных болтах, болтовые, фланцевые и т.д.).
- марка (марки) материала основных расчетных элементов конструкции (при отсутствии достоверных сведений, подтвержденных сертификатами, выполняют отбор проб для определения химического состава и механических свойств материала).
- сведения о выполненных реконструкциях крана, (с приложением технической документации).
- сведения о выполненных ремонтах металлоконструкции (с приложением ремонтной документации).
- сведения о заменах грузового каната (канатов), редукторов, блоков, грузового крюка, грейфера, крановых путей.
- вид грузов, перемещаемых краном, и характеристику обеспечиваемых краном грузопотоков за срок службы крана.
- температурный, ветровой и сейсмический режимы района установки крана.
- протоколы и акты очередных и внеочередных обследований, проведенных в связи с продлением срока службы крана, в т.ч. сведения о выявленных дефектах, иллюстрированные чертежами и эскизами (при наличии).
- эскиз (чертеж) металлоконструкции крана (по просьбе комиссии в случае необходимости последующего проведения расчетов).

4.2.Данные, полученные комиссией в ходе выполнения работ:

- показатели группы классификации (режима работы) фактические по актам обследований (при наличии – данные, более точно характеризующие нагруженность крана и его расчетных элементов металлоконструкции, в т.ч. полученные с помощью регистратора параметров или полученные из анализа грузопотоков за срок службы крана, спектральному распределению грузов, структуре цикла работы крана);
- периоды простоя крана, их причины;

- показатели режима на срок эксплуатации после назначения остаточного срока службы;
- сведения о выявленных дефектах, повреждениях и отклонениях от требований нормативной документации, включая превосходящие предельно допустимые по РД 10-112-4-98;

  Примечание. Дефекты и повреждения, ранее отмеченные в Актах обследований и не устраненные на момент осмотра, учитываются отдельно.
- повреждения и дефекты расчетных элементов конструкции, включая трещины, разрывы, локальные и общие остаточные деформации, коррозионный и механический износ, состояние лакокрасочных покрытий и т.п. Особое внимание следует уделять усталостным трещинам – фиксировать, где и как они расположены, не стали ли они следствием явных дефектов конструкции или нарушения технологии изготовления. Места расположения дефектов и повреждений, их характер и размеры должны быть отражены на чертежах (эскизах). Основной метод выявления дефектов – визуальный. Физические неразрушающие методы контроля рекомендуется применять преимущественно для проверки состояния металла в зонах выявленных повреждений, а также в местах, характерных для возникновения повреждений. Разрешается использовать все методы неразрушающего контроля (ультразвуковой, радиографический, капиллярный, магнитно-порошковый и т.д.), допущенные Госгортехнадзором России для проверки стальных конструкций грузоподъемных кранов, выявления дефектов и повреждений. Для выявления мест концентрации напряжений и скрытых дефектов в обоснованных случаях допускается применять специальные методы (например, оценку изменения свойств металла по измерению кривой намагничивания – «коэрцитивной силы»).

  Примечание: Перечень повреждений, которые следует учитывать при определении остаточного ресурса, приведен в разделах 6,7 и 9 настоящего РД.
- оценка качества ранее выполненных ремонтов (обоснованность примененной технологии, отсутствие дефектов ремонтных сварных швов по РД 24.090.97 – 98 и т.п.);
- оценка состояния крановых путей, включая наличие отклонений от установленных требований (величины износа рельсов,

состояния стыков, креплений рельсов и т.д., данные о выполненных заменах рельсов; последнее - желательно за срок службы крана);
- оценка плавности движения механизмов крана (экспертным путем, по результатам наблюдений за процессом движения);
- оценка уровня текущего технического обслуживания и наблюдения за эксплуатацией крана (отсутствие загрязненности крана, общее состояние механизмов и электрооборудования, регистрация возникающих в ходе эксплуатации повреждений, принятый порядок устранения дефектов и повреждений и т.п.).

5. УКАЗАНИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

5.1. При оценке ресурса расчетных элементов металлоконструкций кранов в качестве исходных данных следует использовать срок службы или ресурс, указанный в паспорте крана. При этом расчетное число циклов работы крана принимается, исходя из установленной паспортом классификационной группы (режима работы) крана, и спектра распределения величины транспортируемых грузов.

При отсутствии в паспорте крана сведений о назначенном ресурсе (или сроке службы крана), величину этого параметра принимают, исходя из указанного в ГОСТ 25546-82 календарного срока службы, соответствующего паспортной группе классификации (режима работы крана).

5.2. Спектральное распределение нагрузок на элементы металлоконструкции следует принимать по данным расчета с учетом фактических особенностей нагружения данного элемента.

5.3. Величину ресурса* (числа нагружений) для данного спектра распределения нагрузок допускается рассчитывать, исходя из постоянного для каждой группы режима по ИСО 4301 значения показателя **c = C x Kp**, где **C** – число циклов нагружения, **Kp** – коэффициент нагружения, определяемый в соответствии с действующей нагрузкой.

5.4. Для проверки элементов конструкции по критерию сопротивления статическим нагрузкам и для ориентировочной оценки ре-

---

* Справедливо только для случаев, когда проверяемый элемент металлоконструкции не подвергался замене или усилению в процессе предшествующей эксплуатации.

сурса по критерию сопротивления усталости рекомендуется использовать общие указания ГОСТ 28609 – 90 и нормативную методику усталостного расчета, регламентированную СТО 24.09-5281-01-93.

5.5. Учет влияния коррозии на несущую способность элементов конструкции следует выполнять с использованием рекомендаций РД 10-112-4-98 или с использованием зависимостей, характеризующих скорости развития коррозии (Пример 2 и Приложение 2 настоящего РД).

5.6. Уточнение интервалов повторного обследования в период выработки остаточного срока службы рекомендуется выполнять с учетом развития ведущих повреждений металлоконструкций – усталостных и коррозионных – согласно рекомендациям Приложения 2. Значения интервалов не должны превышать указанных в РД 10-112-4-98.

5.7. Элементы металлических конструкций, подвергшиеся ремонту, следует рассчитывать с учетом изменения геометрии сечений и механических характеристик вновь установленного металла, а также возможных изменений эффективных коэффициентов концентрации напряжений в расчетных сечениях.

6. ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСВАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ

6.1. Оценку состояния конструкций с заклепочными и болтовыми соединениями рекомендуется выполнять в соответствии с указаниями, приведенными в РД 10-112-4-98.

6.2. При контроле состояния заклепочных и болтовых соединений, особенно после выполненных ремонтов, следует руководствоваться браковочными признаками и требованиями РД 24–090–97–98.

6.3. Оценку состояния шарнирных соединений элементов расчетных конструкций рекомендуется выполнять по указаниям РД 10-112-4-98.

7. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЕТНЫХ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

7.1. Величины предельно допустимых остаточных деформаций (в т.ч. и местных) следует принимать по указаниям РД 10-112-4-98. При превышении этих величин элементы подлежат замене или ремонту,

если расчетом (для групп классификации А6 и выше - дополнительно на сопротивление усталости) не будет доказана возможность продолжения их эксплуатации.

7.2. Для элементов, эксплуатирующихся в условиях групп классификации (режима работы) А1 – А5, при уменьшении площади поперечного сечения вследствие поверхностной коррозии (коррозионного «износа») более чем на 15% необходимо проведение расчётной проверки, пример которой приведен в Приложении 2 к настоящему РД. Для элементов металлоконструкций классификационных групп (режима работы) А6 и выше помимо уменьшения сечения следует учитывать и возможное увеличение степени концентрации напряжений.

7.3. Поверхностная коррозия свыше 30% первоначальной площади сечения для элементов металлоконструкций кранов любых классификационных групп не допускается; такие подвергнутые коррозии элементы металлоконструкции подлежат замене или усилению.

7.4. Трещины в расчётных элементах металлических конструкций не допускаются. Поврежденный элемент в этом случае подлежат замене или ремонту.

В случае обнаружения трещин для подтверждения расчетного значения величины интервала повторного обследования рекомендуется выполнять расчет живучести узла (Пример 2 и Приложение 2 настоящего РД).

Выполнение ремонта допускается по решению комиссии после дополнительного обоснования и подтверждения ответственности по технологии, исключающей повторное появление трещин в месте ремонта в течение назначаемого срока службы крана.

8. УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЛИ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ДЛЯ КРАНОВ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП КЛАСИФИКАЦИИ (РЕЖИМА РАБОТЫ)

8.1. Краны, используемые только на монтажных работах (группы классификации А1 – А3 и отдельные краны группы классификации А4 и А5).

Для этих кранов оценка остаточного ресурса производится экспертным методом. При этом, с учетом изложенного в разделе 4 настоящего РД, рассчитывают фактическую группу классификации

крана* (она не должна превышать паспортную), оценивают периодичность замены основных узлов механизмов, элементов канатно-блочной системы, наличие ранее возникших и отремонтированных трещин, их особенности, а также наличие других дефектов элементов расчетной металлической конструкции, качество технического обслуживания при эксплуатации крана.

При назначении остаточного срока службы следует руководствоваться следующим:

8.1.1. В случае:
- наличия достоверных сведений об использовании крана только на монтажных работах за весь период его эксплуатации,
- удовлетворительного качества технического обслуживания крана и кранового пути,
- отсутствия усталостных повреждений расчётных металлических конструкций

остаточный срок службы может быть назначен без проведения дополнительных расчётов, **исходя из общей продолжительности эксплуатации крана с момента ввода его в эксплуатацию (Т):**
- **(50 – Т) лет - для кранов групп классификации А1 – А3,**
- **(45 – Т) лет - для кранов групп классификации А4 и А5,**
- **периодичность повторного обследования 3 года.**

8.1.2. При отсутствии достоверных сведений о каком-либо периоде эксплуатации крана, но выполнении остальных условий п. 8.1.1., **остаточный срок службы,** назначаемый по п. 8.1.1., **должен быть уменьшен на величину этого периода.**

8.1.3. При наличии усталостных и коррозионных повреждений расчётных металлоконструкций величина назначаемого экспертом **остаточного срока службы** должна подтверждаться **выполнением расчёта на сопротивление усталости** в соответствии с указаниями п. 3.2. настоящего РД и оценкой времени развития усталостных и коррозионных повреждений (Приложение 2 настоящего РД)

8.2. Краны, используемые на погрузо-разгрузочных работах со штучными грузами (группы классификации А4 – А7).

---

* при отсутствии более достоверных данных – на основании типовой справки по форме РД 10-112-4-98

8.2.1. Для этих кранов в случае:

- наличия достоверных сведений об использовании крана только на перегрузке штучных грузов за весь период его эксплуатации,
- удовлетворительного качества технического обслуживания крана и кранового пути,
- отсутствия усталостных повреждений расчётных металлических конструкций,
- расчётного подтверждения группы классификации (фактическая группа классификации не должна превышать паспортную)

остаточный срок службы может быть назначен **экспертным методом** без проведения дополнительных расчётов, **исходя из общей продолжительности (Т) эксплуатации крана с момента ввода его в эксплуатацию до (40 – Т) лет; периодичность повторного обследования устанавливается в соответствии с пунктом 5.6 настоящего РД, но не может превышать 2 года.**

8.2.2. При невыполнении условий п. 8.2.1. оценка **остаточного ресурса** должна выполняться **расчётным (экспериментально-расчётным) методом** с учётом указаний п. 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6.и 8.1.3 настоящего РД.

8.3. Краны, используемые на погрузо-разгрузочных работах с навалочными грузами (группы классификации А6 – А8).

8.3.1. При условиях:

- кран не выполняет работ по перегрузки металлолома и непакетированных лесных грузов,
- удовлетворительного качества технического обслуживания крана и кр ового пути,
- отсутствия усталостных повреждений расчётных металлических конструкций.
- расчётного подтверждения группы классификации (фактическая группа классификации не должна превышать паспортную)

остаточный срок службы может быть назначен **экспертным методом** без проведения дополнительных расчётов, **исходя из общей продолжительности эксплуатации крана (Т) с момента ввода его в эксплуатацию до (40 – Т) лет, периодичность повторного обследования устанавливается в соответствии с пунктом 5.6 настоящего РД, но не может превышать для кранов с наработкой:**

до 30 лет – 2 года;

после 30 лет – 1 год.

8.3.2. При невыполнении условий п. 9.3.1. оценка **остаточного срока службы** должна выполняться **расчётным (экспериментально-расчётным) методом** с учётом указаний п. 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6 и 8.1.3 настоящего РД.

9. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ И ПЕРСОНАЛУ, ВЫПОЛНЯЮЩЕМУ ОЦЕНКУ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Организация, выполняющая работы по оценке остаточного ресурса, должна иметь лицензию Госгортехнадзора России на право выполнения работ по экспертизе промышленной безопасности и иметь в своем составе специалистов III уровня, и экспертов по промышленным сооружениям обученных и аттестованных в установленном порядке на право выполнения работ, как по проектированию, так и по экспертизе промышленной безопасности грузоподъемных кранов.

10. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

10.1. Организация (предприятие), выполнившая оценку остаточного ресурса, составляет отчет с указанием состояния крана до начала работ, перечнем выполненных работ, обоснованием назначенного календарного остаточного ресурса крана, условиями эксплуатации крана и т.д.

10.2. Отчет по оценке остаточного ресурса крана является дополнением к Отчету по экспертизе промышленной безопасности и документам, представляемым комиссией согласно требованиям РД 10 — 112 – 4 – 98. По окончанию работ в Паспорте крана делается запись с указанием возможной измененной грузоподъемности крана, соответствующей назначенному остаточному ресурсу, и величины этого ресурса.

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, НА КОТОРУЮ ДАНЫ ССЫЛКИ В НАСТОЯЩЕМ РД

1. РД 03-484-02. Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах.
2. ПБ 10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.
3. РД-10-112-96. Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Ч. 1 Основные положения.
4. РД 10-112-4-98. Методические указания по проведению обследования портальных кранов с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации.
5. РД 24.090.97-98. Оборудование подъёмно-транспортное. Требования к изготовлению, ремонту и реконструкции металлоконструкций грузоподъёмных кранов.
6. СТО 24.09-5281-01-93 Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций.
7. ГОСТ 25546-82 Краны грузоподъемные. Режимы работы.
8. ИСО 4301/1-86 Краны грузоподъемные. Классификация.
9. ГОСТ 28609-90 Краны грузоподъемные. Основные положения расчета.
10. ГОССТРОЙ СССР. УКРНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ. Указания по проектированию усиления стальных конструкций (к разделу 20 главы СНиП II-23-81) Киев, 1988.
11. ГОССТРОЙ СССР ЦНИИПРОЕКТСТАЛЬКОНСТРУКЦИЯ Рекомендации по учету влияния дефектов и повреждений на эксплуатационную пригодность стальных конструкций производственных зданий. М., 1987.
12. ГОСТ 25.101-83. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов.
13. РД 50-345-82. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при циклическом нагружении.
14. РТМ Минтяжмаш-КОДАС. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета на трещиностойкость металлоконструкций мостовых кранов при статическом и циклическом нагружении», Красноярск, 1990.

ПРИМЕР 1.
ПРИМЕР ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО КАЛЕНДАРНОГО РЕСУРСА ПОРТАЛЬНОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КРАНА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 16 т, КПП 16-30, УСТАНОВЛЕННОГО В РЕЧНОМ ПОРТУ

1. Техническая характеристика крана.

Портальный кран для работ на навалочных грузах грузоподъемностью 16 т и вылетом стрелы 30,0 м

Режим работы (по паспорту) – весьма тяжелый (соответствует группе классификации – А8)

Металлоконструкция крана – сварная, коробчатая.

Материал металлоконструкции 09Г2С по ГОСТ 19281

Кран изготовлен в 1970 г. заводом ПТО им. С.М. Кирова. Установлен и введен в эксплуатацию в речном порту в 1970 г., где используется на перегрузке навалочных грузов.

2. Сведения о ремонтах металлоконструкции, о состоянии механизмов крана.

В соответствии с записями в паспорте крана, ремонт расчетных элементов за время эксплуатации не проводился.

По данным пяти обследований на предмет продления срока службы, каких-либо недопустимых дефектов металлоконструкции ранее не выявлено.

Состояние механизмов – удовлетворительное, сведения о ремонте или замене их узлов и элементов механизмов в Паспорте крана отсутствуют.

Уровень технического обслуживания при эксплуатации крана – удовлетворительный.

3. Данные о фактических условиях эксплуатации крана.

По данным владельца крана, за время эксплуатации кран находился в работе в среднем 180 дней в году, выполняя в день по 600 циклов. Кран используется на перегрузке навалочных грузов.

В дальнейшем, по информации владельца, условия эксплуатации в данном технологическом процессе сохранятся.

Так как кран используется на погрузочно-разгрузочных работах с навалочными грузами (группа классификации А8), то в соответствии с п.9.3.2. настоящего РД должна выполняться оценка календарного остаточного ресурса расчётным (экспериментально-расчётным) методом.

4. Контрольная проверка по критерию сопротивления усталости.

На перегрузочных кранах завода ПТО им. С.М. Кирова 1964-83 годов выпуска регистрировались усталостные трещины на верхнем поясе стрелы на 0,5 м выше выреза для тяги противовеса, обусловленные некачественной стыковкой внутренних продольных рёбер жесткости. Поэтому представляется целесообразным провести контрольную проверку по критерию сопротивления усталости этого сечения металлоконструкции стрелы. Расположение проверяемого сечения стрелы и расчетной точки в этом сечении показаны на рис.

Проверка выполняется в соответствии с методикой СТО 24.09 – 5281- 01 -93 [5] и рекомендациями, приведенных в Приложении 1 к настоящему РД. Группа концентрации – шестая (см. [5], табл. 11.2.).

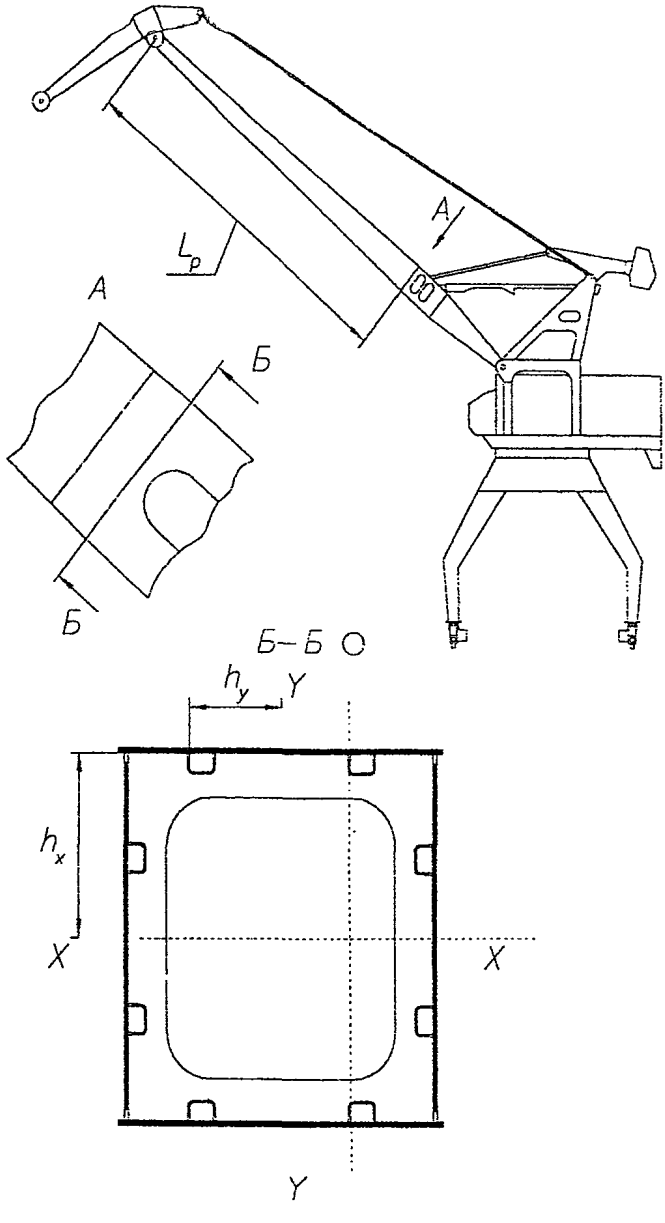

Рис. 1.

4.1. *Исходные данные для расчета*

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1. Ссылки на формулы и обозначения соответствуют принятым в Приложении к настоящему РД.

Таблица 1.

Исходные данные к расчету

№ п/п	Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
1	2	3	4	5
1	Грузоподъёмность крана	$Q_н$	*кН*	157
2	Вес хобота	G_x	*кН*	65,7
3	Вес оттяжки	$G_{от}$	*кН*	7,85
4	Длина стрелы	l	*м*	26,9
5	Длина хобота	L_x	*м*	7,51
6	Длина заднего плеча хобота	$L_з$	*м*	2,96
7	Расстояние по горизонтали от корня стрелы до оси вращения поворотной части;	r_0	*м*	2,4
8	Отношение длины хобота к длине его заднего плеча;	ζ	---	2,54
9	Масса стрелового устройства, приведенная к концу стрелы;	$m_п$	*т*	11,56
10	Средняя угловая скорость стрелы при изменении вылета	$\omega_в$	c^{-1}	$1,94 \times 10^{-2}$
11	Средняя угловая скорость стрелы при повороте крана	$\omega_п$	c^{-1}	0,147
12	Время неустановившегося движения механизма изменения вылета	$t_в$	*с*	1,5
13	Время неустановившегося движения механизма поворота	$t_п$	*с*	4,0
14	Напряжения в рассчитываемой точке, вызываемые собственным весом конструкции, при положении стрелового устройства на	σ_q^{max}	*МПа*	16.6

	максимальном вылете			
15	Напряжения в рассчитываемой точке, вызываемые собственным весом конструкции, при положении стрелового устройства на минимальном вылете	σ_q^{min}	*МПа*	5,0
16	Максимальное значение приведенных амплитуд напряжений	σ_{max}	*МПа*	70
17	Расчетное сопротивление усталости для 6-ой группы элементов по концентрации напряжений	R_v	*МПа*	45
18	Базовое число циклов	N_0	---	5×10^6
19	Показатель степени кривой усталости	m	---	3
20	Коэффициент приведения напряжений среднего уровня	k_v	---	0,075
21	Расстояние от оголовка стрелы до расчетного сечения	l_p	*мм*	$19,25 \times 10^3$

Продолжение табл. 1.

1	2	3	4	5
22	Площадь расчетного сечения	F_c	$мм^2$	6,54 $\times 10^4$
23	Момент инерции расчетного сечения в плоскости качания стрелы	J_{x-x}	$мм^4$	2,79 $\times 10^{10}$
24	Расстояние от нейтральной оси сечения "X-X" до расчетной точки	h_x	$мм$	788
25	Момент инерции расчетного сечения в плоскости, перпендикулярной плоскости качания стрелы	J_{y-y}	$мм^4$	2,23 $\times 10^{10}$
26	Расстояние от нейтральной оси сечения "Y-Y" до расчетной точки	h_y	$мм$	430
27	Средняя продолжительность цикла работы крана	$t_ц$	$с$	50
28	Период изменения высокочастотной составляющей процесса нагружения	$\tau_в$	$с$	0,8
29	Средняя длина гибкой подвески груза	l_K	$м$	16,0
30	Коэффициент влияния оттяжки	μ_T	---	1,0

4.2. Расчет статистических характеристик приведенных сил.

Математические ожидания приведенных сил от статических нагрузок (см. табл. П 2):

- для силы, сжимающей стрелу

$$N=(0,45\zeta+1,15)\cdot Q_н+0,9G_x+0,45G_{от}=$$
$$(0,45\cdot 2,54+1,15)\cdot 157+0,9\cdot 65,7+0,45\cdot 7,85=422кН;$$

- для силы, изгибающей стрелу в плоскости её качания

$$P=(0,1\zeta-0,25)\cdot Q_н+0,4G_x+0,2G_{от}=$$
$$(0,1\cdot 2,54-0,25)\cdot 157+0,4\cdot 65,7+0,2\cdot 7,85=28,4кН.$$

4.3. Расчет статистических характеристик амплитудных значений приведенных сил.

Математические ожидания амплитудных значений приведенных сил (см. табл. П 3):

- для силы, сжимающей стрелу при отклонении грузовых канатов от вертикали в плоскости изменения вылета (низкочастотная составляющая)

$$N_1=(0{,}045\cdot\zeta+0{,}02)\cdot Q_н=(0{,}045\cdot 2{,}54+0{,}02)\cdot 157=21{,}1кН;$$

- для силы, изгибающей стрелу при отклонении грузовых канатов от вертикали в плоскости изменения вылета (низкочастотная составляющая):

$$P_1=(0{,}01\cdot\zeta+0{,}045)\cdot Q_н=(0{,}01\cdot 2{,}54+0{,}045)\cdot 157=11кН;$$

- для силы, изгибающей стрелу в периоды неустановившегося движения механизма изменения вылета (высокочастотная составляющая):

$$P_j=m_п\cdot\frac{\omega_в\cdot l}{t_в}=11{,}56\cdot\frac{1{,}94\cdot 10^{-2}\cdot 26{,}9}{1{,}0}=4кН;$$

- для силы, изгибающей стрелу при отклонении грузовых канатов от вертикали в плоскости, перпендикулярной плоскости изменения вылета (низкочастотная составляющая):

$$T_1=\mu_T\cdot 0{,}035\cdot Q_н=1\cdot 0{,}035\cdot 157=5{,}5кН;$$

- для силы, изгибающей стрелу в периоды неустановившегося движения механизма поворота (высокочастотная составляющая):

$$T_j=\frac{m_п\cdot\omega_п}{t_п}\cdot(0{,}6\cdot l+1{,}5\cdot r_0)=\frac{11{,}56\cdot 0{,}147}{4}\cdot(0{,}6\cdot 26{,}9+1{,}5\cdot 2{,}4)=8{,}4кН.$$

4.4. Расчет статистических характеристик напряжений в расчетном сечении от собственного веса стрелы.

Математическое ожидание напряжений в расчетном сечении от собственного веса стрелы (см. Приложение 1, формула 23):

$$\sigma_q=0{,}57\cdot\sigma_{q\max}+0{,}43\cdot\sigma_{q\min}=0{,}57\cdot 16{,}6+0{,}43\cdot 5=11{,}6МПа.$$

4.5. Определение статистических характеристик циклов изменений напряжений в расчетной точке сечения стрелы.

Статистические характеристики для двухчастотного процесса нагружения рассчитываются по формулам (12), (13) и (18) Приложения 1:

- математическое ожидание среднего уровня низкочастотной составляющей (12):

$$\sigma_m^n = \sigma_q + a_N \cdot N + a_P \cdot P =$$

$$11{,}6 + 0{,}153 \cdot 10^{-4} \cdot 422 \cdot 10^3 + 0{,}544 \cdot 10^{-3} \cdot 28{,}4 \cdot 10^3 = 33{,}5 МПа;$$

- математическое ожидание амплитуд низкочастотной составляющей (13):

$$\sigma_a^n = a_N \cdot N_1 + a_P \cdot (P_1 + P_j) + a_T \cdot (T_1 + T_j) =$$

$$= 0{,}153 \cdot 10^{-4} \cdot 21{,}1 \cdot 10^3 + 0{,}544 \cdot 10^{-3} \cdot (11+4) \cdot 10^3 + 0{,}371 \cdot 10^{-3} \cdot (5{,}5 + 8{,}4) \cdot 10^3 = 13{,}7 МПа$$

- математическое ожидание амплитуд высокочастотной составляющей (18):

$$\sigma_a^e = a_P \cdot P_j + a_T \cdot T_j =$$

$$0{,}544 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^3 + 0{,}371 \cdot 10^{-3} \cdot 8{,}4 \cdot 10^3 = 5{,}3 МПа,$$

где a_N a_P, и a_T - напряжения в рассчитываемой точке сечения от единичных приведенных сил N_i, P_i и T_i:

$$a_N = \frac{1}{F_c} = \frac{1}{6{,}54 \cdot 10^4} = 0{,}153 \cdot 10^{-4} мм^{-2};$$

$$a_P = \frac{l_p \cdot h_x}{J_{x-x}} = \frac{19{,}25 \cdot 10^3 \cdot 798}{2{,}79 \cdot 10^{10}} = 0{,}544 \cdot 10^{-3} мм^{-2}$$

$$a_T = \frac{l_p \cdot h_y}{J_{y-y}} = \frac{19{,}25 \cdot 10^3 \cdot 280}{2{,}23 \cdot 10^{10}} = 0{,}371 \cdot 10^{-3} мм^{-2},$$

здесь F_c, l_p, h_x, J_{x-x}, h_y и J_{y-y} - см. табл. 1.

4.6. Расчет математического ожидания плотности распределения вероятностей амплитуд симметричных циклов.

Период изменения низкочастотной составляющей процесса нагружения (см. Приложение 1, формула 6):

$$\tau_н = 2 \cdot \sqrt{l_K} = 2 \cdot \sqrt{16} = 8c.$$

Математическое ожидание амплитуд двухчастотного процесса нагружения (см. Приложение 1, формула 11):

$$\sigma_a = \sigma_a^в + \frac{\tau_в}{\tau_н} \cdot \sigma_a^н = 5{,}3 + \frac{0{,}8}{8} \cdot 13{,}7 = 6{,}67\,МПа,$$

а математическое ожидание амплитуд, приведенных к симметричному циклу нагружения – по формуле (10)

$$m(\sigma) = \sigma_a + k_\eta \cdot \sigma_m = 6{,}67 + 0{,}075 \cdot 33{,}5 = 9{,}2МПа,$$

где k_η = 0,075 (табл. П 1 для шестой группы концентрации напряжений).

4.7. Определение общего количества циклов изменения напряжений за полный срок службы крана.

Общее количество циклов изменения напряжений за срок службы в рассматриваемой точке сечения стрелы при известном законе плотности распределения вероятностей амплитуд симметричных циклов находится по выражению (2) Приложения 1:

$$n_\Sigma = \frac{a \cdot N_0 \cdot R_y^m}{\int\limits_{\sigma=0{,}7\cdot R_y}^{\sigma=\sigma_{max}} \sigma^m \cdot f(\sigma) \cdot d\sigma} = \frac{0{,}2 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 45^3}{285} = 3{,}2 \cdot 10^8$$

где a – коэффициент влияния недогрузок

$$a = \frac{\sigma_{ср} - 0{,}4 \cdot R_y}{\sigma_{max} - 0{,}4 \cdot R_y} = \frac{23 - 0{,}4 \cdot 45}{70 - 0{,}4 \cdot 45} = 0{,}1$$

здесь $\sigma_{ср}$ – средние напряжения при их суммировании в пределах от $\sigma = 0{,}4 \cdot R_y$ до $\sigma = \sigma_{max}$.

$$\sigma_{ср} = \frac{\int\limits_{\sigma=0{,}4\cdot R_y}^{\sigma=\sigma_{max}} \sigma \cdot f(\sigma) \cdot d\sigma}{\int\limits_{\sigma=0{,}4\cdot R_y}^{\sigma=\sigma_{max}} f(\sigma) \cdot d\sigma} = \frac{2{,}71}{0{,}118} = 23МПа$$

С учетом ограничения $(a \geq 0{,}2)$ коэффициент влияния недогрузок принимается $a = 0{,}2$.

4.8. Оценка ресурса и назначение остаточного срока службы.

Количество циклов изменения напряжений за один цикл работы крана согласно формуле (5) Приложения 1:

$$n_a = t_ц \cdot \left(\frac{1}{\tau_в} + \frac{1}{\tau_н}\right) = 50 \cdot \left(\frac{1}{0{,}8} + \frac{1}{8}\right) = 68{,}8 .$$

Полное число циклов $N_ц$ работы крана за весь срок службы (ресурс):

$$N_ц = \frac{n_\Sigma}{n_a} = \frac{3{,}2 \cdot 10^8}{68{,}8} = 4{,}65 \cdot 10^6 .$$

4.9 Оценка календарного остаточного ресурса крана

Полный расчетный срок службы крана с начала эксплуатации:

$$L_P = \frac{N_ц}{C_C \cdot C_P} = \frac{4{,}65 \cdot 10^6}{600 \cdot 180} = 43(года)$$

где: C_C - количество циклов работы крана в сутки;

C_P – количество дней работы крана в год.

Остаточный календарный ресурс крана составляет:

$$L_{ОСТ} = L_P - L_Ф = 43 - 33 = 10(лет) .$$

где $L_Ф$ – фактический срок службы крана (с 1970 г. по 2003 г.)

Примечания. 1. Пример приведен в сокращенном изложении.

2. Остаточный календарный ресурс определён в предположении, что точка металлоконструкции, для которой выполнен расчёт, является наиболее опасной.

ПРИМЕР 2.
ПРИМЕР РАСЧЕТА ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОРТАЛЬНОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КРАНА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 10 т, АЛЬБАТРОС, УСТАНОВЛЕННОГО В РЕЧНОМ ПОРТУ

1. Техническая характеристика крана

Портальный кран «Альбатрос» грузоподъемностью 10т и вылетом стрелы 32м. Паспортный режим работы крана – весьма тяжелый ВТ (соответствует группе классификации А8).

Металлоконструкция крана – сварная коробчатая.

Материал металлоконструкции St-38-b2, St-37 по TGL 7960 (ГДР).

Кран изготовлен в 1977г. заводом Kranbau Eberswalde (ГДР). Установлен и введен в эксплуатацию в речном порту в 1978г., где использовался на перегрузке штучных и навалочных грузов.

2. Сведения о ремонтах металлоконструкции и состоянии механизмов крана

В соответствии с записями в паспорте крана, 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.

Состояние механизмов – удовлетворительное, сведения о ремонте или замене их узлов и элементов механизмов в Паспорте крана отсутствуют.

Уровень технического обслуживания при эксплуатации крана – удовлетворительный.

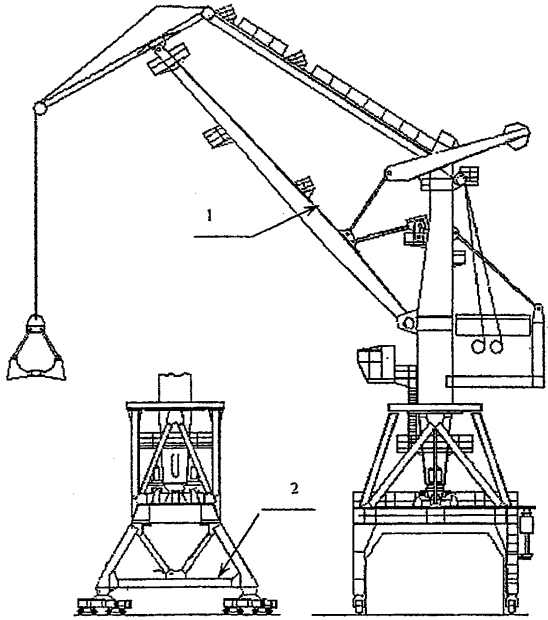

Рис. 2. Портальный кран «Альбатрос»; объекты расчета

3. Данные о фактических условиях эксплуатации крана

По данным владельца крана, за время эксплуатации кран находился в работе в среднем 200 дней в году при односменной работе. Кран используется на перегрузке навалочных грузов.

В дальнейшем, по информации владельца, условия эксплуатации в данном технологическом процессе сохранятся.

4. Назначение интервалов повторного обследования

Расчет выполняется в соответствии с методикой, приведенной в Приложении 2 к настоящему РД.

Экспертным путем определены наиболее ответственные узлы – объекты расчета:

1) Расчет выполняется для участка окончания продольных ребер жесткости верхнего пояса стрелы (поз. 1 на рис. 2; см. также поз. 8/VI по табл. 8 Приложения Е4 к РД 10-112-4-98). Поверхностная коррозия рассматриваемого участка отсутствует. Из опыта эксплуатации известен типовой механизм разрушения объекта – развитие усталостных трещин и достижение ими недопустимых размеров, завершающееся разрушением стрелы. Для данного объекта должен быть выполнен расчет по Случаю А (см. рис. 7).

2) Имеется значительное коррозионное повреждение горизонтальной затяжки ног портала (поз. 2 на рис. 2). Коррозионное повреждение составляет 7,75% площади поперечного сечения. Для данного объекта должен быть выполнен расчет по Случаю Б (см. рис. 7).

4.1. Расчет интервала повторного обследования участка верхнего пояса стрелы по критерию живучести (расчетный Случай А)

Определение характеристик трещиностойкости материала

Настоящий расчет выполняется для трех значений вероятности: 0,90; 0,75 и 0,50. Соответствующие значения характеристик трещиностойкости согласно рекомендациям Приложения 2 настоящего РД приведены таблице 2.

Таблица 2

Значения характеристик трещиностойкости стали St-38-B2 при различной вероятности p

p	C	n
0,90	$1{,}75 \cdot 10^{-14}$	4,785
0,75	$1{,}54 \cdot 10^{-14}$	4,75
0,50	$1{,}30 \cdot 10^{-14}$	4,71

Расчет интервала повторного обследования узла по критерию живучести

Расчет выполняется согласно методике, изложенной в Приложении 2 к настоящему РД.

Гистограмма статистического распределения размахов напряжений, приведенных к отнулевому циклу нагружения, показана на рис. 3.

Гистограмма (рис. 3) получена по данным натурных тензометрических испытаний, схематизированных методом «дождя» с учетом условий (30) и (31), а также коэффициента концентрации напряжений, известного из расчета пластинчатой МКЭ-модели (рис. 4), напряжений от собственного веса и остаточных напряжений от сварки.

Эквивалентное (29) значение спектра (рис. 3) составляет $\Delta\sigma_{экв} = 93 МПа$.

Критический размер трещины по критерию циклической трещиностойкости (28) на этом участке составляет $a_{кр} = 0{,}017 м$.

Подставив все исходные данные в зависимости (26), затем (25), получаем количество циклов изменения напряжений n_{Σ} и количество лет работы крана $L_{ж}^{тд}$, в течение которых может произойти рост трещины от полной длины 5мм до критической, то есть расчетный интервал повторного обследования.

Результаты расчетов приведены в таблице 3 для ряда значений вероятности.

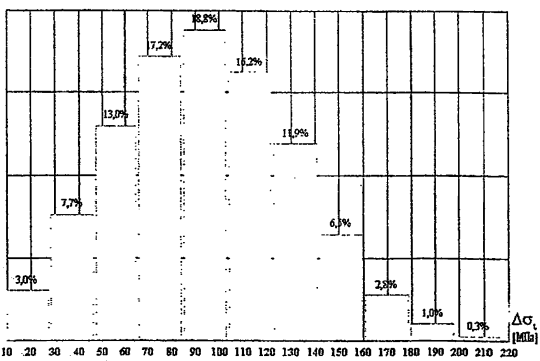

Рис. 3. Гистограмма распределения приведенных повреждающих размахов

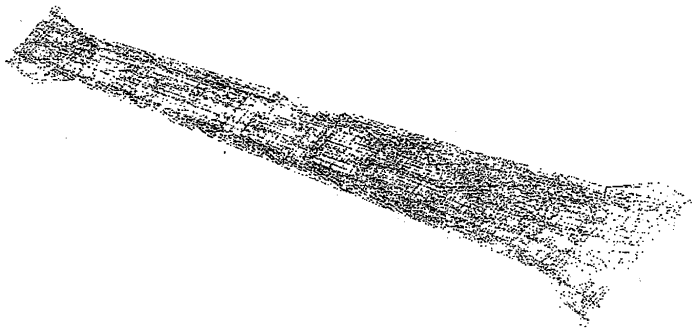

Рис. 4. Пластинчатая МКЭ-модель стрелы «Альбатрос»

Таблица 3

Результаты расчета интервала повторного обследования при различной вероятности

p	n_Σ [циклов изм. напряжений]	$L_ж^{тд}$ [лет]
0,90	$3{,}95 \cdot 10^6$	1,05
0,75	$4{,}88 \cdot 10^6$	1,36
0,50	$6{,}36 \cdot 10^6$	1,72

Примечание: результаты получены для эффективной частоты нагружения $\nu = 1 Гц$ (грейферный режим).

Анализ расчетных значений, приведенных в таблице 3 при различной вероятности, совместно с исходными данными позволяет принять в качестве расчетного значение интервала повторного обследования при p=0,9, что обеспечивает интервал продолжительностью 1 год (кран работает 200 дней в год при односменной работе): $L_ж^{тд} = 1{,}05$ года при вероятности p=0,95.

Заключение по результатам расчета приведено в Таблице 4.

Таблица 4

Заключение по объекту расчета № 1

Объект	Расчетный случай	Интервал повторного обследования [лет]	Вероятность прогноза
поз. 1 на рис. 2	А	1,05	0,9

4.2. Расчет интервала повторного обследования горизонтальной затяжки ног портала по критерию предельного коррозионного повреждения (расчетный Случай Б)

Определение зависимости величины коррозионного повреждения от остаточного срока службы крана

Ранее толщинометрия узла не проводилась. Результаты ультразвуковой толщинометрии, проведенной непосредственно перед расчетом остаточного ресурса, приведены в таблице 5.

Эскиз поперечного сечения приведен на рис. 5.

В качестве расчетной геометрической характеристики сечения S_i принимается площадь A (не допускается уменьшение площади более чем на 10%).

Таблица 5

Результаты ультразвуковой толщинометрии затяжки ног портала (в зоне коррозионных повреждений) (поз. 2 рис. 2)

№ замера	Толщина листа [мм]	Выборочное среднее [мм]	Выборочное стандартное отклонение [мм]
1	5,8	5,70	0,10
2	5.6		
3	5,7		
4	5,8		
5	5,6		

Примечания:

1. *Коррозионное повреждение присутствует как на стенках, так и на полках балки.*
2. *Толщина листа вне участка повреждения (номинальная) составляет 6 мм.*

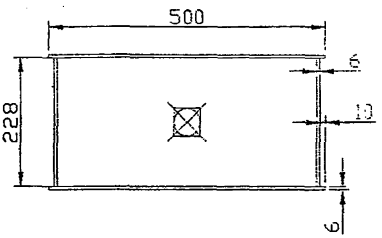

Рис. 5. Эскиз сечения затяжки

Закон распределения случайной величины толщины листа принимается нормальным

Номинальная площадь поперечного сечения составляет $A_0 = 0{,}00874 м^2$.

По данным таблицы 5 при вероятности p=0,9 толщина листа составляет: $h_1 = 5{,}7 - 1{,}282 \cdot 0{,}10 = 5{,}58 мм$.

Соответствующее значение площади при вероятности p=0,9 составляет $A_1 = 0{,}00806 м^2$. На момент толщинометрии площадь снизилась на 7,75% по сравнению с номинальной.

Так как толщинометрия объекта выполнена впервые, зависимость (32) принимается линейной; скорость коррозии принимается равной $V_{КОРР} = 0{,}05 мм/год$; принимается, что коррозии с этой скоростью подвержены все листы рассчитываемого сечения как с наружной, так и с внутренней стороны.

График зависимости величины коррозионного повреждения от остаточного расчетного срока службы узла приведен на рис. 6 при вероятности скорости коррозии p=0,9 согласно рекомендациям Приложения 2 настоящего РД.

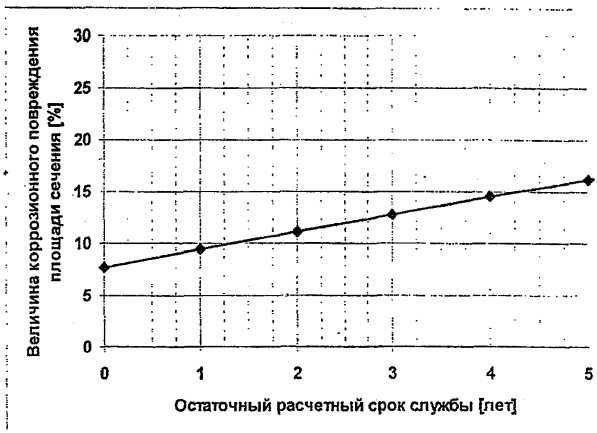

Рис. 6. Зависимость величины коррозионного повреждения от остаточного расчетного срока
службы узла при p = 0,9

Расчет интервала повторного обследования узла по критерию предельного коррозионного повреждения (расчетный Случай Б)

Согласно рекомендациям Приложения 2 настоящего РД, предельная величина коррозионного повреждения принимается равной 10% от номинальной площади сечения.

По данным графика рис.6 остаточный срок службы до достижения предельного коррозионного повреждения (10% площади сечения) составляет $L_{OCT} = 1{,}25$ года

Интервал повторного обследования принимается равным $L^{TД}_{KOPP} = 1{,}25$ года, так как увеличения группы агрессивности среды владельцем не предполагается.

Аналогичные расчеты, проведенные для вероятности P = 0,75 дают значение $h^{TД}_{KOP} = 1{,}75$ года

В ходе будущего повторного обследования необходимо выполнить толщинометрию узла и скорректировать зависимость (32).

Проверка узла по критериям предельного состояния

Горизонтальная затяжка ног портала (поз. 2 на рис. 2) подвержена растяжению.

Максимальные нагрузки по II расчетному случаю, возникающие при динамическом приложении максимального груза $Q^{MAX} = 1{,}15 \cdot Q_{ном}$ (величина этого груза определяется регулировкой ограничителя грузоподъемности) на полном вылете для рассматриваемого элемента составляют:

- осевая сила $N = 142{,}5$ КН;
- изгибающий момент относительно вертикальной оси поперечного сечения $M_y = 46$ КНм.

Согласно методике СТО 24.09-5821-01-93, условие вязкого разрушения запишется в виде:

$$\frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} \le R_y \cdot \gamma_C$$

где:

A и W_y - площадь и момент сопротивления относительно вертикальной оси расчетного сечения, принимаемые на момент окончания интервала (по истечении 1,25 лет) с вероятностью p=0,9 толщина листов составит $h = 5{,}44$ мм; площадь сечения - $A = 7{,}88 \cdot 10^{-3} м^2$, момент сопротивления - $W_y = 1{,}01 \cdot 10^{-3} м^3$;

γ_C - коэффициент условий работы; $\gamma_C = 0{,}90$ по данным табл. 4.1 СТО 24.09-5821-01-93;

R_y - расчетное сопротивление стали. В СТО 24.09-5821-01-93 значение расчетного сопротивления стали St-38-B2 не приведено.

Расчетное сопротивление определено следующим образом. Предел текучести стали St-38-b2 по данным [П 2] составляет $\sigma_{02} = 220 МПа$. Известно [П 3], что опытные значения пределов текучести малоуглеродистых сталей статистические распределены по нормальному закону с коэффициентами вариации, не превышающими $v_{\sigma 02} = 0{,}1$. Отсюда наименьшее значение предела текучести при

заданной температуре и вероятности $p = 0{,}9$ составляет $R_y = 220 - 1{,}282 \cdot 0{,}1 \cdot 220 = 191{,}8 МПа$.

Проверка условия вязкого разрушения: $64 МПа < 191{,}8 МПа$. Вязкого разрушения затяжки не произойдет.

Следовательно, интервал повторного обследования принимается по расчетному значению

$L^{ТД}_{КОРР} = 1{,}25$ года (при $p = 0{,}9$) или $L^{ТД}_{КОРР} = 1{,}75$ года (при $p = 0{,}75$).

Заключение по результатам расчета приведено в Таблице 7.

Таблица 7

Заключение по объекту расчета № 2

Объект	Расчетный случай	Интервал повторного обследования [лет]	Вероятность прогноза
поз. 2 на рис. 2	Б	1,25	0,9

4.3. Заключение по интервалу повторного обследования крана

Интервал повторного обследования крана принимаем наименьшим среди всех расчетных случаев всех рассчитанных узлов. В данном случае надежность металлоконструкций по расчету лимитирована надежностью верхнего пояса стрелы на участке окончания продольных ребер жесткости (поз. 1 на рис. 2). Заключение приведено в таблице 8.

Таблица 8

Заключение по остаточному ресурсу крана

Объект	Расчетный случай	Интервал повторного обследования [лет]	Вероятность прогноза
Портальный кран «Альбат-	А	1,05	0,9

рос» рег. №			

Вниманию владельца крана:

Заключение действительно при обеспечении владельцем предложенных им условий эксплуатации и повторного обследования с расчетным интервалом.

Список источников, использованных в примере расчета интервала повторного обследования

П 1. «Нормативы времени на перегрузочные работы, выполняемые в речных портах и на пристанях», М., Транспорт, 1990, 113с.

П 2.

П 3. Брауде В.И. «Вероятностные методы расчета грузоподъемных машин», Л., Машиностроение, 1978, 153с.

Приложение 1
рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦКНКЕ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ ГРУПП КЛАССИФИКАЦИИ А6 – А8.

Ресурс следует определять как количество циклов работы крана, при котором будет исчерпана несущая способность в рассчитываемой точке металлоконструкции, исходя из условия сопротивления усталостному разрушению, что определяется условием:

$$\sigma_{экв} = R_v, \qquad (1)$$

где $\sigma_{экв}$ – амплитуда симметричного цикла изменения напряжения при базовом числе циклов, эквивалентного по повреждающему воздействию действительному процессу нагружения, при котором происходит исчерпание несущей способности,

R_v – расчётное сопротивление усталости [5, табл. 11.2.].

Общее количество циклов изменения напряжений в рассчитываемой точке до исчерпания несущей способности определяется при этом из условия*:

$$n_\Sigma = \frac{a \cdot N_0 \cdot R_v^m}{\int\limits_{\sigma=0,7\cdot R_v}^{\sigma=\sigma_{max}} \sigma^m \cdot f(\sigma) \cdot d\sigma}. \qquad (2)$$

где m – показатель степени кривой усталости,

N_0 – базовое число циклов изменения напряжения,

σ – амплитуда симметричного цикла изменения напряжения, эквивалентного действительному,

---

* Расчёт сроков службы элементов металлических конструкций грейферных подъёмных кранов.
Розовский Н. Я. *Труды ЛИВТа «Механизация и оборудование портов», выпуск 149, 1974, стр. 34 – 41.*

$f(\sigma)$ – плотность распределения вероятностей амплитуд симметричных циклов, эквивалентных действительным,

σ_{max} – максимальное значение приведенных амплитуд напряжений;

a – коэффициент влияния недогрузок $(a \geq 0{,}2)$:

$$a = \frac{\sigma_{ср} - 0{,}4 \cdot R_v}{\sigma_{max} - 0{,}4 \cdot R_v}, \tag{3}$$

здесь $\sigma_{ср}$ – средние напряжения при их суммировании в пределах от $\sigma = 0{,}4 \cdot R_v$ до $\sigma = \sigma_{max}$:

$$\sigma_{ср} = \frac{\int_{\sigma=0{,}4 \cdot R_v}^{\sigma=\sigma_{max}} \sigma \cdot f(\sigma) \cdot d\sigma}{\int_{\sigma=0{,}4 \cdot R_v}^{\sigma=\sigma_{max}} f(\sigma) \cdot d\sigma}, \tag{4}$$

Количество циклов изменения напряжений за один цикл работы крана n_a зависит от частотных характеристик составляющих процесса нагружения элементов металлоконструкции стрелового устройства. Для двухчастотного процесса нагружения:

$$n_a = t_ц \cdot \left(\frac{1}{\tau_в} + \frac{1}{\tau_н} \right), \tag{5}$$

где $t_ц$ – средняя продолжительность цикла работы крана;

$\tau_в$ – период изменения высокочастотной составляющей процесса нагружения
(упругие колебания стреловой системы);

$\tau_н$ – период изменения низкочастотной составляющей процесса нагружения (неуравновешенность стрелового устройства, нагрузки от раскачивания груза на канатах и др.)

Значения $\tau_в$ для перегрузочных портальных кранов лежат в пределах 0,8…1,2 сек, а величина $\tau_н$ определяется по зависимости

$$\tau_н \approx 2 \cdot \sqrt{l_K}, \tag{6}$$

где l_K – средняя длина гибкой подвески груза.

Ресурс (в количестве циклов работы крана), рассчитанный для данной точки металлоконструкции, составит:

$$N_ц = \frac{n_\Sigma}{n_a} \qquad (7)$$

Выполнение расчетов по формулам (2) и (4) требует знания закона распределения величины σ. Плотность распределения вероятностей амплитуд симметричных циклов для металлических конструкций портальных перегрузочных кранов с достаточной степенью точности описывается полунормальным законом:

$$f(\sigma) = \frac{2}{\pi \cdot m(\sigma)} \cdot \exp\left[-\frac{\sigma^2}{\pi \cdot m^2(\sigma)}\right], \qquad (8)$$

где $m(\sigma)$ – математическое ожидание приведенных к симметричному циклу амплитуд напряжений.

Максимальное значение приведенных амплитуд напряжений σ_{max} с достаточной для практических расчетов точностью можно задавать в пределах:

$$\text{от } \sigma_{max} = m(\sigma) + 3 \cdot s(\sigma) \approx 4{,}75 \cdot m(\sigma) \text{ до } \sigma_{max} = \sigma_{II}, \qquad (9)$$

где $s(\sigma)$ – среднее квадратическое отклонение величины σ;

σ_{II} – напряжения в рассчитываемом элементе, соответствующие максимальным нагрузкам рабочего состояния крана.

Математическое ожидание приведенных к симметричному циклу амплитуд напряжений определяется по формуле:

$$m(\sigma) = \sigma_a + k_\eta \cdot \sigma_m, \qquad (10)$$

где σ_m – математическое ожидание среднего уровня низкочастотной составляющей процесса нагружения;

k_η – коэффициент приведения напряжений среднего уровня, определяемый в зависимости от степени концентрации напряжений [см. табл. П 1];

σ_a – математическое ожидание амплитуд напряжений двухчастотного процесса нагружения:

$$\sigma_a = \sigma_a^{в} + \frac{\tau_в}{\tau_н} \cdot \sigma_a^{н}, \qquad (11)$$

здесь $\sigma_a^{в}$ – математическое ожидание амплитуд высокочастотной составляющей процесса нагружения;

$\sigma_a^{н}$ – математическое ожидание амплитуд низкочастотной составляющей процесса нагружения;

$\tau_в$ и $\tau_н$ – периоды изменения высокочастотной и низкочастотной составляющих процесса нагружения.

Таблица П 1

Значения коэффициента приведения напряжений среднего уровня

Группы элементов по концентрации напряжений	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициента приведения	0,200	0,167	0,150	0,127	0,100	0,075	0,060	0,045

Математические ожидания напряжений среднего уровня σ_m и амплитуд напряжений σ_a для точек элементов стрелового устройства вычисляются по следующим зависимостям:

для низкочастотной составляющей

стрела

$$\sigma_m^{н} = \sigma_q + a_N \cdot N + a_P \cdot P; \qquad (12)$$

$$\sigma_a^{н} = a_N \cdot N_1 + a_P \cdot \left(P_1 + P_j\right) + a_T \cdot \left(T_1 + T_j\right) + a_M \cdot M_1; \qquad (13)$$

хобот

$$\sigma_m^{н} = \sigma_q + 0{,}5 \cdot a_{Px} \cdot P_x; \qquad (14)$$

$$\sigma_a^{н} = a_{Px} \cdot \left(0{,}5P_x + P_{x1} + P_{xj}\right) + a_{Tx} \cdot T_{x1}; \qquad (15)$$

оттяжка

$$\sigma_m^н = \sigma_q + 0{,}5 \cdot a_{Nom} \cdot N_{om}; \quad (16)$$

$$\sigma_a^н = a_{Nom} \cdot \left(0{,}5 \cdot N_{om} + N_{oml} + N_{omj}\right) + a_{Tom} \cdot T_{oml}; \quad (17)$$

для высокочастотной составляющей

стрела

$$\sigma_m^в = \sigma_m^н = \sigma_m;$$

$$\sigma_a^в = a_P \cdot P_j + a_T \cdot T_j; \quad (18)$$

хобот

$$\sigma_m^в = \sigma_q + a_{Px} \cdot P_x; \quad (19)$$

$$\sigma_a^в = a_{Px} \cdot P_{jx}; \quad (20)$$

оттяжка

$$\sigma_m^в = \sigma_q + a_{Nom} \cdot N_{om}; \quad (21)$$

$$\sigma_a^в = a_{Nom} \cdot N_{jom}, \quad (22)$$

где a_i – напряжения в рассчитываемой точке конструкции от единичной приведенной силы (момента);

N_i, P_i и T_i - математические ожидания приведенных сил, действующих на стрелу в точке соединения её с хоботом;

M_1 - математическое ожидание приведенного крутящего момента, приложенного к стреле в её оголовке;

P_{xi} и T_{xi} - математические ожидания приведенных сил, действующих на хобот в точке подвеса груза;

N_{omi} и T_{omi} - математические ожидания приведенных сил, действующих на оттяжку в точке соединения её с хоботом;

σ_q – математическое ожидание напряжений, вызываемых собственным весом элементов конструкций, определяется выражением

$$\sigma_q = 0{,}57 \cdot \sigma_q^{\max} + 0{,}43 \cdot \sigma_q^{\min}, \quad (23)$$

здесь $\sigma_q^{\max}$ и $\sigma_q^{\min}$ - напряжения в рассчитываемой точке, вызываемое собственным весом конструкции, при положении стрелового устройства на максимальном и минимальном вылетах.

Расчетные формулы для определения математических ожиданий приведенных сил (моментов) указаны в таблице П 2, а для определения математических ожиданий амплитудных значений приведенных сил (моментов) - в таблице П 3.

Таблица П 2

Расчетные формулы для определения математических ожиданий приведенных сил.

Элемент стреловой системы	Приведенная сила	Обозначение	Математическое ожидание
Стрела	Сила, сжимающая стрелу	N	$(0,45\zeta+1,15)\cdot Q_н+0,9G_x+0,45G_{от}$
	Сила, изгибающая стрелу в плоскости её качания	P	$(0,1\zeta-0,25)\cdot Q_н+0,4G_x+0,2G_{от}$
Хобот	Сила, изгибающая хобот в плоскости качания стрелы	Px	$0,42\cdot Q_н$
Оттяжка	Сила, растягивающая оттяжку	Not	$0,45\cdot\zeta\cdot Q_н+0,75\cdot\frac{d}{L_з}\cdot G_x$

Условные обозначения таблицы П2: $Q_н$ – грузоподъёмность крана; G_x, $G_{от}$ - вес хобота и оттяжки; ζ - отношение длины хобота к длине его заднего плеча; d - расстояние от шарнира "стрела-хобот" до центра тяжести хобота; $L_з$ - длина заднего плеча хобота.

Условные обозначения таблицы П3: $m_п$ - масса стрелового устройства, приведенная к концу стрелы; ω и t - угловая скорость стрелы и время неустановившегося движения механизмов (индекс «в»- для механизма изменения вылета, индекс «п»- поворота); l и L_c - длина стрелы и хобота; r_0 - расстояние по горизонтали от корня стрелы до оси вращения поворотной части; μ_T и μ_M - коэффициенты влияния оттяжки; остальные обозначения см. табл. П 2.

Таблица П 3

Расчетные формулы для определения математического ожидания амплитудных значений приведенных сил (моментов)

Элемент стреловой системы	Приведенная сила (момент)	Обозначение	Математическое ожидание
Стрела	Сила, изгибающая стрелу в плоскости изменения вылета в периоды неустановившегося движения механизма изменения вылета	Pj	$m_a \cdot \frac{\omega_a \cdot l}{t_a}$
	Сила, изгибающая стрелу в плоскости, перпендикулярной плоскости изменения вылета, в периоды неустановившегося движения механизма поворота	Tj	$\frac{m_n \cdot \omega_n}{t_n} \cdot (0{,}6 \cdot l + 1{,}5 \cdot r_0)$
	Сила, изгибающая стрелу в плоскости изменения вылета при отклонении грузовых канатов от вертикали	P1	$(0{,}01 \cdot \zeta + 0{,}045) \cdot Q_n$
	Сила, изгибающая стрелу в плоскости, перпендикулярной плоскости изменения вылета, при отклонении грузовых канатов от вертикали	T1	$\mu_T \cdot 0{,}035 \cdot Q_n$
	Сила, сжимающая стрелу при отклонении грузовых канатов от вертикали	N1	$(0{,}045 \cdot \zeta + 0{,}02) \cdot Q_n$
	Крутящий момент, действующий при отклонении грузовых канатов от вертикали	M1	$\mu_M \cdot 0{,}03 \cdot L_x \cdot Q_n$
Хобот	Сила, изгибающая хобот в плоскости изменения вылета в периоды неустановившегося движения механизма подъема	Pxj	$0{,}18 \cdot Q_n$

	Сила, изгибающая хобот в плоскости изменения вылета при отклонении грузовых канатов от вертикали	Px1	$0{,}065 \cdot Q_n$
	Сила, изгибающая хобот в плоскости, перпендикулярной плоскости изменения вылета, при отклонении грузовых канатов от вертикали	Tx1	$0{,}035 \cdot Q_n$
Оттяжка	Сила, растягивающая оттяжку в периоды неустановившегося движения механизма подъема	Notj	$0{,}15 \cdot \zeta \cdot Q_n$
	Сила, растягивающая оттяжку при отклонении грузовых канатов от вертикали в плоскости изменения вылета	Not 1	$0{,}09 \cdot \zeta \cdot Q_n$
	Сила, изгибающая оттяжку при отклонении грузовых канатов от вертикали в плоскости, перпендикулярной плоскости изменения вылета	Tot 1	$(1-\mu_T) \cdot 0{,}035 \cdot Q_n$

Приложение 2
рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Интервал повторного обследования определяется расчетным методом в вероятностной постановке с учетом возможности взаимовлияния дефектов.

Для обеспечения пессимистического расчетного прогноза интервал повторного обследования узлов, подверженных трещинообразованию, назначается таким образом, чтобы **исключить** возможность развития усталостной трещины узла от полной длины 5мм до критической, что соответствует случаю непреднамеренного «пропуска» трещины длиной менее 5мм в ходе визуального контроля состояния узла.

П 2.1. АЛГОРИТМ И СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Алгоритм расчетного метода показан на рис. 7, где обозначено:

$N_{ШЖ}$ - расчетный интервал роста трещины на видимой стадии [циклов работы крана];

$L_{Ж}^{ТД}$ - расчетный интервал повторного обследования по критерию живучести [лет];

$L_{КОРР}^{ТД}$ - расчетный интервал повторного обследования по критерию коррозии [лет];

L - срок службы крана с начала эксплуатации [лет];

S_i - значения геометрических характеристик поперечного сечения несущего элемента (площадь, моменты инерции и моменты сопротивления);

$S_{i.КР}$ - критические значения геометрических характеристик поперечного сечения несущего элемента;

$\sigma_{ПР}^{МАХ}$ - максимальное значение действующих напряжений [МПа];

R_y - расчетное сопротивление материала [МПа];

γ_C - коэффициент условий работы (СТО 24.09-5821-01-93);

Выбор расчетного случая определяется характером ведущих повреждений узла.

В случаях, когда выбор ведущего повреждения затруднителен, рекомендуется выполнять расчеты по обоим расчетным случаям (А и Б).

Последовательность расчета по Случаю А
(расчет по критерию живучести):

А.1. С требуемой вероятностью определяются значения характеристик трещиностойкости материала, использующиеся в расчете интервала роста трещины на видимой стадии.

А.2. Выполняется расчет интервала роста усталостной трещины на видимой стадии $N_{ш}$, позволяющий оценить интервал наработки крана, в течение которого не произойдет разрушение узла при наихудших вероятностных значениях параметров внешнего нагружения и несущей способности. Интервал повторного обследования принимается равным интервалу роста трещины на видимой стадии.

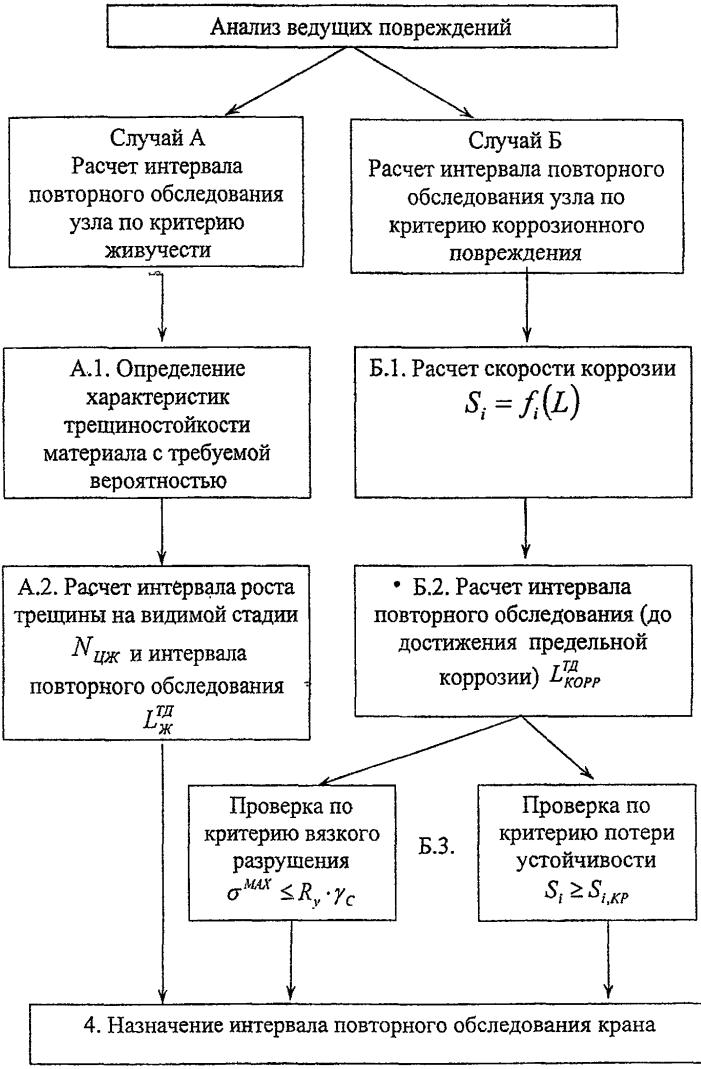

Рис. 7. Схема алгоритма расчета интервала повторного

Последовательность расчета по Случаю Б
(расчет по критерию коррозионного повреждения):

Б.1. По результатам толщинометрии узла устанавливаются зависимости геометрических характеристик поперечного сечения от срока службы крана.

Б.2. Выполняется расчет остаточного срока службы узла до достижения предельного коррозионного повреждения, равного 10% номинальной площади сечения. Интервал повторного обследования принимается равным расчетному остаточному сроку службы (если агрессивность среды не увеличивается).

Б.3. В зависимости от вида нагружения узла выполняется проверка достижения предельного состояния на момент окончания интервала повторного обследования, учитывающая снижение несущей способности узла, связанное с коррозией:

- по критерию вязкого разрушения для растянутых элементов;
- по критерию потери устойчивости для сжатых элементов.

Проверки рекомендуется выполнять на основе методик СТО 24.09-5821-01-93.

Интервал повторного обследования крана принимается по минимальным значениям среди всех расчетных случаев всех узлов.

Исходные данные для расчета могут быть получены следующими методами:

- напряжения в элементах металлоконструкций могут быть получены согласно методике Приложения 1 настоящего РД, дополнительно учитывая остаточные напряжения от сварки и концентрацию напряжений;

- проведением натурных тензометрических испытаний и (или) математического моделирования (методом конечных элементов (МКЭ), методом граничных элементов (МГЭ) и др.), направленных на уточнение спектров эксплуатационной нагруженности и значений компонент напряженного состояния на локальных участках развития дефектов;

- проведением механических испытаний образцов-свидетелей, вырезанных из ненагруженных участков металлоконструкций, на трещиностойкость (согласно РД 50-345-82);

- использованием метода статистического моделирования «Монте-Карло» для воспроизведения на ЭВМ случайных спектров внешнего нагружения и несущей способности материала;
- другими методами, направленными на уточнение научного аппарата и исходных данных, используемых в расчетах.

П 2.2. РАСЧЕТ ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯУЗЛА ПО КРИТЕРИЮ ЖИВУЧЕСТИ (РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ А)

П.2.2.1. Определение характеристик трещиностойкости материала

Значения параметров C и n (характеристик трещиностойкости) в уравнении Пэриса (26) допускается принимать:

- для стали St-38-B2: $M(C)=1{,}30\cdot10^{-14}$; $s(C)=0{,}35\cdot10^{-14}$; $M(n)=4{,}71$; $s(n)=0{,}06$,
- для стали ВСт3СП: $M(C)=3{,}06\cdot10^{-11}$; $s(C)=2{,}99\cdot10^{-11}$; $M(n)=2{,}01$; $s(n)=0{,}39$;

где M - математическое ожидание, s - стандартное отклонение величины.

В расчет принимаются максимальные значения C и n, соответствующие требуемой вероятности, т.е. наихудшие:

$$C(p)=M(C)+u_p\cdot s(C)$$
$$n(p)=M(n)+u_p\cdot s(n) \qquad (24),$$

где u_p - квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности p.

При отсутствии необходимых данных рекомендуется использовать значения, приведенные в Таблице П 4

Таблица П 4

Значения характеристик трещиностойкости применяемых сталей при различной вероятности p

Сталь	p	C	n
St-38-B2	0,90	$1{,}75\cdot10^{-14}$	4,785
	0,75	$1{,}54\cdot10^{-14}$	4,75
	0,50	$1{,}30\cdot10^{-14}$	4,71
ВСт3СП	0,90	$6{,}89\cdot10^{-11}$	2,42
	0,75	$5{,}08\cdot10^{-11}$	2,27

	0,50	$3{,}06\cdot10^{-11}$	2,01

П 2.2.2. Расчет интервала роста трещины на видимой стадии.

В расчетах участвует эксплуатационный спектр нагружения участка, соответствующий I расчетному случаю (ГОСТ 28609-90) с учетом следующих явлений:

- напряжений от собственного веса конструкций;
- остаточных напряжений от сварки;
- конструктивной концентрации напряжений;
- коррозионной концентрации напряжений, если на участке имеется язвенная коррозия;
- поверхностной коррозии, если она имеет место на рассчитываемом участке;
- механического износа, если он имеет место на рассчитываемом участке.

Допускается **расчетная** оценка спектра нагружения методами, изложенными в Приложении 1 настоящего РД, но с учетом перечисленных выше явлений.

Интервал повторного обследования по критерию живучести $L_{ж}^{тд}$ в размерности количества лет работы крана определяется на основе расчетного количества циклов изменения напряжений $N_{цж}$:

$$L_{ж}^{тд} = \frac{N_{цж}}{C_C \cdot C_P} \qquad (25.1),$$

где:

C_C - количество циклов работы крана в сутки: $C_C = \frac{3600 \cdot t_{сут}}{t_ц}$,

где $t_{сут}$ - время работы крана в сутки [часов], $t_ц$ - время рабочего цикла [сек], которое может быть установлено по нормативам времени (источник П 1 Примера 2 настоящего РД);

C_P – количество дней работы крана в год;

$N_{цж}$ - количество циклов работы крана на видимой стадии роста трещины, определяемое по формуле:

---

* При получении расчетного значения интервала повторного обследования менее 1 года допускается представлять его в размерности количества смен или часов работы крана путем соответствующей модификации формул 25.1. и 25.2; контроль за техническим состоянием данного узла необходимо проводить с расчетным интервалом.

$$N_{ц} = \frac{n_{\Sigma}}{n_{цж}} \qquad (25.2),$$

где:

n_{Σ} - расчетное количество циклов изменения напряжений, необходимое для роста трещины от начальной до критической длины (формула 26, 27);

n_a - количество циклов изменения напряжений за один цикл работы крана: $n_a = t_{Ц} \cdot \nu$, где: $t_{Ц}$ - см. пояснения к формуле 25.1; ν - эффективная частота нагружения [Гц] (для несущих элементов металлоконструкций портальных кранов составляет от 0,5 до 5 Гц – при отсутствии данных о частоте нагружения несущего элемента допускается определять эквивалентную частоту расчетным путем либо принимать равной 1 Гц);

Расчетное количество циклов изменения напряжений определяется с использованием зависимостей (полученных интегрированием уравнения Пэриса):

$$n_{\Sigma} = \frac{1}{C \cdot \Delta\sigma_{ЭКВ}^{n} \cdot \left(\sqrt{\pi}\right)^{n} \cdot F^{n} \cdot \left(1 - \frac{n}{2}\right)} \cdot \left[a_{KP}^{1-\frac{n}{2}} - a_0^{1-\frac{n}{2}} \right] \quad (\text{при } n>2) \quad (26);$$

$$n_{\Sigma} = \frac{1}{C \cdot \Delta\sigma_{ЭКВ}^{2} \cdot \pi \cdot F} \cdot \ln\left(\frac{a_{KP}}{a_0}\right) \quad (\text{при } n=2) \qquad (27),$$

где:

C и n - вероятностные значения характеристик трещиностойкости материала;

F - геометрическая поправочная функция, учитывающая стеснение деформаций в вершине трещины. Для приближенных расчетов допускается принимать $F = 1{,}0$;

a_0 - стартовый расчетный размер трещины. Для центральных трещин $a_0 = 0{,}0025$ м; для краевых трещин $a_0 = 0{,}005$ м.

a_{KP} - критический расчетный размер трещины, определяемый по зависимости:

$$a_{KP} = \left(\frac{\Delta K_{fc}}{\Delta\sigma_{ПР}^{MAX} \cdot \sqrt{\pi} \cdot F} \right)^{2} \qquad (28),$$

где:

ΔK_{fc} - критический размах КИН циклической трещиностойкости; для приближенной оценки допускается принимать $\Delta K_{fc} = 75$

$\left[МПа\sqrt{м}\right]$; уточненное значение ΔK_{fc} может быть определено по результатам испытаний образцов-свидетелей в условиях нижнего температурного предела эксплуатации;

$\Delta\sigma_{ПР}^{МАХ}$ - максимальное значение размаха напряжений [*МПа*], приведенного к отнулевому циклу нагружения. Приведение размаха напряжений к отнулевому циклу нагружения должно выполняться с учетом напряжений от собственного веса конструкций и остаточных напряжений от сварки.

$\Delta\sigma_{ЭКВ}$ - эквивалентное значение спектра приведенных к отнулевому циклу нагружения эффективных размахов напряжений [*МПа*], определяемое из условия равного повреждающего воздействия:

$$\Delta\sigma_{ЭКВ}^{n} = \sum_{i=1}^{l}\left(\Delta\sigma_{i}^{n}\frac{k_i}{k_\Sigma}\right) \qquad (29),$$

где: $\Delta\sigma_i$ - значение приведенного эффективного размаха напряжений для i-ой ступени гистограммы спектра нагружения; k_i/k_Σ - частость этой ступени.

При отсутствии экспериментального спектра нагружения узла допускается принимать эквивалентное значение (29) равным математическому ожиданию приведенного эффективного размаха напряжений, определенному расчетным путем.

Для расчетного определения математического ожидания приведенного эффективного размаха напряжений могут быть использованы методы, изложенные в Приложении 1 после приведения к отнулевому циклу нагружения и дополнительной корректировки по эффективной величине:

Эффективными с точки зрения роста трещин являются значения размахов напряжений, превышающие пороговое значение:

$$\Delta\sigma \geq \frac{\Delta K_{th}}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot F}} \ \text{[МПа]} \qquad (30),$$

где: ΔK_{th} - пороговое значение размаха КИН циклической трещиностойкости; для приближенной проверки допускается принимать $\Delta K_{th} = 3{,}5\left[МПа\sqrt{м}\right]$; a - расчетный размер трещины [м]; для приближенной проверки допускается принимать $a = a_{KP}$.

Приведение размахов напряжений к отнулевому циклу нагружения выполняется с использованием зависимости:

$$\Delta\sigma_{ПР} = \begin{cases} \dfrac{\Delta\sigma}{(1-R)^{\gamma}} & при \quad R > 0 \\ \Delta\sigma & при \quad R \le 0 \end{cases} \qquad (31),$$

где: R - коэффициент асимметрии цикла нагружения с учетом напряжений от собственного веса и остаточных напряжений от сварки; γ - показатель степени; для приближенной оценки допускается принимать $\gamma = 0{,}5$.

Расчетный интервал повторного обследования по критерию живучести $L_{Ж}^{ТД}$ принимается равным интервалу роста трещины на видимой стадии с указанием вероятности расчетных характеристик трещиностойкости.

П 2.3. РАСЧЕТ ИНТЕРВАЛА ПОВТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ УЗЛА ПО КРИТЕРИЮ КОРРОЗИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ (РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ Б)

П 2.3.1. Определение скорости коррозии

Скорость поверхностной коррозии может быть оценена расчетно-экспериментальным путем в вероятностной постановке по данным толщинометрии несущего сечения в нескольких точках.

Производится ряд замеров толщины металла (не менее трех), результаты подвергаются статистической обработке, определяется скорость коррозии для требуемой вероятности расчета.

Затем производится математическая экстраполяция зависимостей f_i геометрических характеристик поперечного сечения S_i от срока службы крана L:

$$S_i = f_i(L) \qquad (32),$$

и устанавливаются значения этих характеристик на момент начала и окончания предполагаемого (владельцем) остаточного срока службы.

При отсутствии более ранних результатов толщинометрии для кранов старше 20 лет допускается считать зависимости (32) линейными, и выполнять их экстраполяцию, принимая скорость коррозии равной $V_{КОРР} = 0{,}05 мм/год$ при вероятности p=0,90, и полагая, что

коррозии с этой скоростью подвержены все поверхности рассчитываемого сечения как с наружной, так и с внутренней стороны.

При предполагаемом изменении группы агрессивности среды (см. Приложение Ж5 к РД 10-112-5-97), рекомендуется выполнять техническое диагностирование (толщинометрию) объекта не реже 1 раза в год для уточнения зависимостей (32).

Зависимости (32) рекомендуется представлять в расчете в виде графиков.

П 2.3.2. **Расчет интервала повторного обследования узла по критерию предельного коррозионного повреждения (по Случаю Б)**

При отсутствии особых регламентирующих документов (писем и рекомендаций Госгортехнадзора России) предельная величина коррозионного повреждения принимается равной 10% от номинальной площади сечения объекта.

Остаточный срок службы $L_{ост}$ до достижения этого повреждения определяется по графику зависимости (32) применительно к площади поперечного сечения A.

Расчетный интервал повторного обследования принимается равным расчетному остаточному сроку службы крана по критерию предельного коррозионного повреждения, если увеличения группы агрессивности среды в течение этого интервала не происходит:

$L^{ТД}_{КОРР} = L_{ОСТ}$ [лет] (33).

В противном случае в течение остаточного ресурса толщинометрия узла должна проводиться не реже 1 раза в год.

По результатам толщинометрии каждый раз должна выполняться корректировка зависимости (32) и уточнение расчетного интервала повторного обследования.

П 2.3.3. **Проверка узла по критериям предельного состояния на момент окончания интервала повторного обследования**

Для узлов, интервал повторного обследования которых рассчитан по критерию предельного коррозионного повреждения, должна быть выполнена проверка по одному из критериев предельного состояния:

- если при уменьшении поперечного сечения рассматриваемого узла среднее напряжение цикла нагружения растет (растянутый

узел), то проверка выполняется по **критерию вязкого разрушения**;

- если при уменьшении поперечного сечения рассматриваемого узла среднее напряжение цикла нагружения падает (сжатый узел), то проверка выполняется по **критерию потери устойчивости**;

Проверки выполняются на основе методик СТО 24.09-5821-01-93.

Интервал повторного обследования крана принимается по наименьшему значению среди всех рассчитанных узлов и при вероятности безотказной работы, соответствующей вероятности расчетной оценки.

gost.e-ecolog.ru