



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Безопасность эксплуатации грузоподъемных
машин с истекшим нормативным сроком
службы**

**Методические указания
по выполнению практических занятий**

Самара

Самарский государственный технический университет

2016

Составители: И.И. Бузуев.

УДК 629.114-474.22(038)

ББК 30.82

Т 14

Безопасность эксплуатации грузоподъемных машин с истекшим нормативным сроком службы: Методические указания по выполнению практических занятий / Самар. гос. техн. ун-т; Сост.: *И.И. Бузуев*, Самара, 2016 г., 35 с.

Методические указания содержат краткое изложение методик с примерами расчетов остаточного ресурса грузоподъемных машин с истекшим нормативным сроком службы, вопросы и задачи для практических занятий.

Предназначены для студентов специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств».

Рис. 6 .Табл.: 7 . Библиогр.: 16 назв.

Печатается по решению редакционно – издательского совета СамГТУ.

Рецензент – Иванов А.В., к.т.н., директор ИЦ «ЭДО» СамГТУ.

ISBN 5-94628-163-1

© Бузуев И. И.; Овчинников А. П., 2016

© Самарский государственный
технический университет», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемными машинами называются подъемные устройства циклического действия с возвратно – поступательным движением грузозахватного органа в пространстве.

Опасности, которой при эксплуатации такой техники подвергаются люди, связаны с непредвиденными контактами с движущимися частями оборудования и возможными ударами падающими предметами при обрыве поднимаемого груза, высыпанием части груза и с падением самого оборудования. При взаимодействии работников и передвижного оборудования возможны также наезд и удар при столкновении.

Безопасность труда при подъеме и перемещении грузов в значительной степени зависит от конструктивных особенностей грузоподъемных машин. Все части, детали и вспомогательные приспособления в отношении изготовления, материалов, качества сварки, прочности, устройства, установки, эксплуатации должны удовлетворять техническим условиям, стандартам, нормам и правилам.

Надежность и работоспособность грузоподъемных машин непостоянна и в зависимости от срока службы деталей снижается по мере изнашивания механизмов от воздействия различных климатических и эксплуатационных факторов. После 5 лет эксплуатации возникают дефекты крюковой подвески, тормозных устройств, соединительных муфт, приборов и устройств безопасности. Максимального значения число дефектов достигает к 10 годам эксплуатации, в основном это дефекты металлоконструкций (трещины в сварных швах и околошовных зонах, деформации элементов, коррозионный износ).

В процессе эксплуатации грузоподъемных машин особое значение с экономической точки зрения приобретают вопросы увеличения эксплуатационного ресурса на основе применения методов оценки остаточной прочности и остаточного ресурса металлоконструкций, отработавших нормативный срок службы.

Все грузоподъемные машины, отработавшие нормативный срок службы, должны подвергаться экспертному обследованию (диагностиро-

ванию), проводимому специализированными организациями в соответствии с нормативными документами Ростехнадзора. В зависимости от их технического состояния продление эксплуатации осуществляется на срок до прогнозируемого наступления предельного состояния (остаточный ресурс) или на определенный период (поэтапное продление срока эксплуатации) в пределах остаточного ресурса, при условии выполнения ремонтных работ в соответствии с, действующей на предприятии, системой технического обслуживания и ремонта.

В работе представлены методики и примеры расчетов остаточного ресурса грузоподъемных машин в соответствии с действующими нормативными документами Ростехнадзора, которые позволяют студентам получить практические навыки при освоении данного материала.

1. Классификация грузоподъемных машин

Грузоподъемные машины (краны) предоставляют наиболее распространенную группу механизмов разнообразного назначения и конструктивного исполнения. Они квалифицируются по различным признакам [1]:

- по конструкции:
 - краны мостового типа, у которых грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке (тали), или крану стрелового типа, перемещающимся по мосту (мостовые краны различных типов, козловые краны).
 - краны кабельного типа, у которых грузозахватный орган подвешен к грузовой тележке, перемещающейся по несущим канатам;
 - краны стрелового типа, у которых грузозахватный орган подвешен к стреле или тележке, перемещающейся по стреле (стреловые поворотные на различном шасси, башенные, железнодорожные, и т.д.).
- по виду грузозахватного органа:
 - крюковые, оборудованные грузозахватным органом в виде крюка;
 - грейферные, оборудованные грузозахватным органом в виде грейфера;
 - магнитные, оборудованные грузозахватным органом в виде электромагнита.
- по способу установки:
 - стационарные, закрепленные на фундаменте или другом не подвижном основании;
 - самоподъемные, устанавливаемые на конструкциях возводимого сооружения и перемещающиеся вверх при помощи собственных механизмов по мере возведения сооружения;

- переставные, установленные на основании, которые могут перемещаться с места на место вручную или при помощи других грузоподъемных средств;
- передвижные.
- по степени поворота:
 - поворотные, имеющие возможность вращения (в плане) поворотной части вместе с грузом относительно опорной части крана;
 - неповоротные, не имеющие возможности вращения груза (в плане) относительно опорной части.

Краны характеризуются следующими основными техническими параметрами: грузоподъемностью, скоростями движения, высотой подъема, грузовым моментом, вылетом стрелы или пролетом, собственной массой, габаритными размерами, режимами работы, показателями надежности, нагрузками на ходовые колеса, технической и эксплуатационной производительностями.

Краны и их механизмы работают в различных условиях и действии разнообразных нагрузок, которые учитываются режимами работы. Благодаря такой классификации, возможно выбрать кран для работы с учетом конкретных условий и обеспечения безопасности при эксплуатации.

Режим работы крана в целом устанавливается по режиму работы механизма главного подъема. С учетом этого режима рассчитывают несущую стальную конструкцию крана. За основу классификации приняты два показателя: класс использования (характеризуется числом циклов работы крана за срок его службы) и класс нагружения (характеризуется коэффициентом нагружения, определяемым с учетом спектра нагрузок, действующих в течение срока службы крана). В зависимости от сочетания классов устанавливается группа режима работы, которая отражает особенность классификации по соответствию группе режима нескольких сочетаний классов использования и классов нагружения [2,3,4].

2. Нормативный срок эксплуатации

Под нормативным сроком эксплуатации понимается время в течении которого амортизируется стоимость машины. С этой точки зрения он является экономическим понятием. При разработке нормативных документов Ростехнадзора понятие нормативный срок службы крана стали воспринимать как меру ресурса. В зависимости от типа оборудования, его назначения, конструктивных особенностей и условий эксплуатации сроки службы кранов регламентированы государственными стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами (см. табл. 2.1) [5, 6].

Таблица 2.1

Нормативные сроки службы кранов

Тип подъемного сооружения	Диапазон грузоподъемности, т	Группа режима нагружения	Нормативный срок службы, лет
Мостовые и козловые краны с электроталью	Весь диапазон	1К, 2К	30
		3К — 5К	25
		6К, 7К	20
		8К	16
Козловые краны с электроталью	Весь диапазон	1К — 2К	25
		3К	20
Башенные краны	10	----	11
Стреловые самоходные краны типов КА, КП, КГ	До 16	----	16
	16 – 40	----	10
	40 – 100	----	11
	Свыше 100 т	----	12

Примечание: Для кранов, эксплуатируемых на открытой площадке, срок службы уменьшается на 25 % от приведенного в таблице.

По данным Ростехнадзора в настоящий момент порядка 80 ÷ 85 % кранов находящихся в эксплуатации отработали нормативный срок службы, причем не однократно. В целом средний срок службы кранов составляет более 26 лет, что вдвое превышает нормативный. В результате отмечаются рост аварийности и быстрое старение техники.

Нормативные сроки службы грузоподъемных машин указываются в паспортах. При отсутствии таких данных за нормативные рекомендуется принимать сроки службы, указываемые в соответствующих методических указаниях по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы.

В процессе эксплуатации грузоподъемных машин особое значение с экономической точки зрения приобретают вопросы увеличения эксплуатационного ресурса на основе применения методов оценки остаточной прочности и остаточного ресурса металлоконструкций, обрабатывающих нормативный срок службы.

В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.97г. грузоподъемные краны относятся к опасным производственным объектам и владельцы обязаны обеспечить их безопасную эксплуатацию. Работу по оценке остаточного ресурса целесообразно рассматривать как часть экспертного обследования специального вида, которое должно проводиться по истечении нормативного срока службы. Оно не только должно давать ответ на вопрос о возможности дальнейшей эксплуатации крана, но и разрабатывать регламент этой эксплуатации.

С формальной точки зрения оценка остаточного ресурса — это процедура определения времени (наработки), в течении которого с определенной вероятностью техническое состояние крана (металлоконструкции) не достигнет одного из предельных состояний. Предельные состояния металлоконструкций грузоподъемных кранов условно можно разделить на четыре группы, характеризующиеся:

- статической прочностью (длительной прочностью, хрупким разрушением, потерей устойчивости формы);
- усталостной прочностью (мало- и многоцикловой);
- деформативностью (местной, общей);
- стойкостью к образованию трещин.

Для оценки остаточного ресурса используют экспертные, расчетные и экспериментальные методы. Во всех случаях необходимо учитывать

коррозионный и другие виды износа, а также, если эксплуатация крана происходит в особых условиях, - изменение свойств материала.

Остаточный ресурс конкретного типа крана должен оцениваться по методикам головных организаций или специализированных, согласованных с местными органами Ростехнадзора [7,8,9,10,11,12].

В качестве остаточного ресурса следует принимать наработку объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в неработоспособное или предельное состояние.

В качестве базовой концепции используется подход, основанный на принципе «безопасной эксплуатации по техническому состоянию», согласно которому оценка технического состояния крана осуществляется по параметрам, обеспечивающим его безопасную эксплуатацию согласно конструкторской документации, а остаточный ресурс по фактическим параметрам технического состояния. В общем случае выбор метода обосновывается точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиями точности и достоверности прогнозируемого ресурса крана и риска его дальнейшей эксплуатации, наличия и надежности системы контроля его технического состояния. Структурная схема определения остаточного ресурса приведена на рис. 2.1[13].

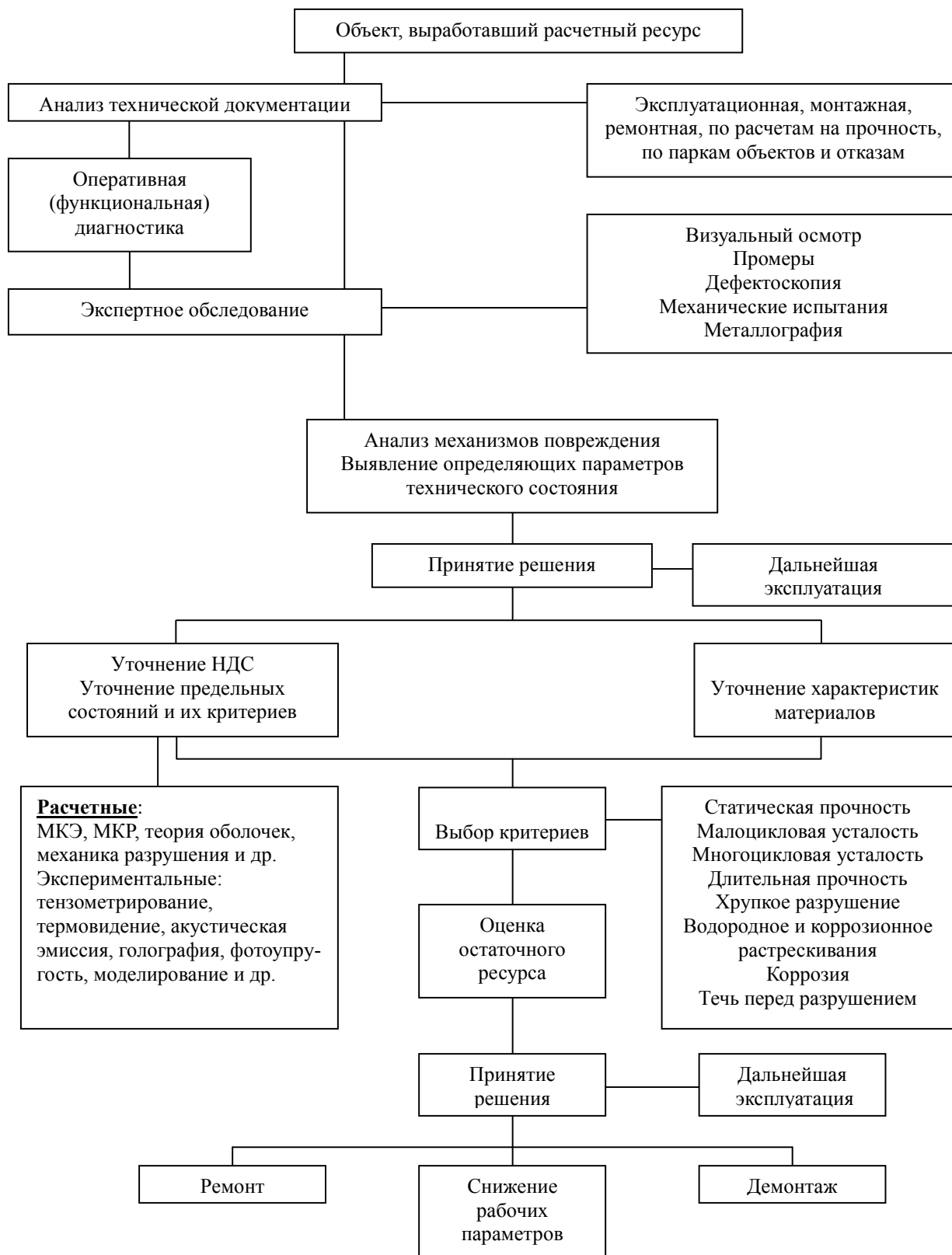


Рис. 2.1 Схема определения остаточного ресурса потенциально опасных объектов

3. Методика оценки остаточного ресурса элементов грузоподъемных машин по величине износа

Для оценки остаточного ресурса сборочных единиц а также, с целью сокращения времени на расчетные операции составляются соответствующие номограммы (рис. 3.1) при следующих исходных данных [14]:

t – наработка машины (из формуляра или паспорта машины), час;

$\Pi_{\text{ф}}$ – фактический износ сборочной единицы (по результатам непосредственных измерений), мм;

$\Pi_{\text{д}}$ – допустимый износ сборочной единицы (из технической документации на машину, узел), мм.

Относительный износ:

$$\Pi_{\text{о}} = \frac{\Pi_{\text{ф}}}{\Pi_{\text{д}}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

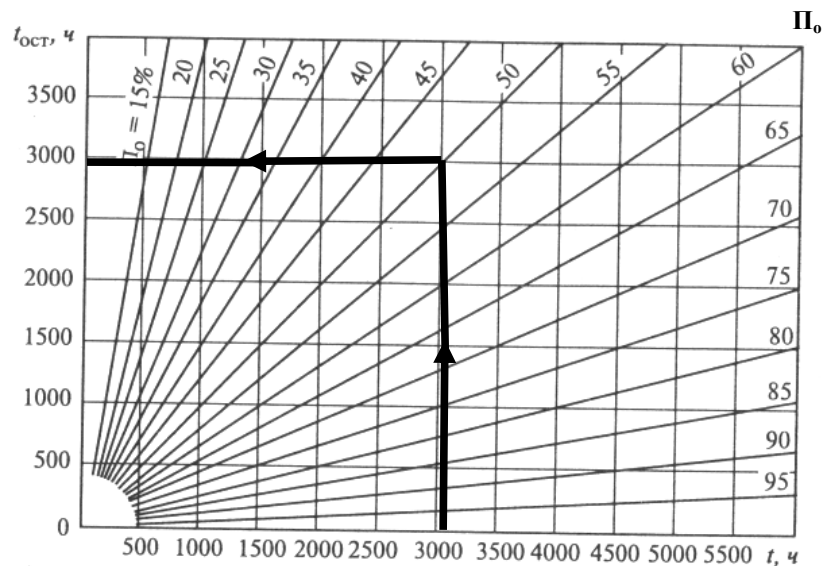


Рис 3.1 Схема определения остаточного ресурса

Оставшийся ресурс по номограмме определяется в следующей последовательности (рис. 3.1):

- На оси t следует отложить фактическое значение времени наработки;

- Восстановить перпендикуляр до пересечения с линией, соответствующей относительному износу Π_o ;
- На оси $t_{ост}$ определить значение остаточного ресурса.

Пример расчета

Исходных данные:

- Сборочная единица – ось стрелы портального крана, работающая в подшипнике скольжения;
- Нарботка крана до момента проведения оценки остаточного ресурса, $t_{час} = 3000$ часов;
- Фактический износ оси стрелы, $\Pi_{ф}$, мм. – 0,5;
- Допустимый износ сборочной единицы, $\Pi_{д}$, мм – 1,0;

Порядок расчета

Рассчитываем относительный износ по формуле 3.1.

$$\Pi_o = \frac{\Pi_{ф}}{\Pi_{д}} \cdot 100\% = \frac{0,5}{1,0} \cdot 100\% = 50 \%$$

По номограмме, рис 3.1 определяем остаточный ресурс $t_{ост}$, который составляет 3000 часов (линия со стрелками).

4. Методики оценки остаточного ресурса по состоянию металлоконструкций кранов

Для кранов оценку остаточного ресурса по состоянию металлоконструкции допускается проводить по бальной системе. При этом каждый дефект в расчетных элементах металлоконструкции (в основных сечениях поясных листов и стенок коробчатой пролетной балки и стойки опоры, а также на одном из поясов решетчатой фермы и в тех элементах, которые ранее подвергались ремонту металлоконструкции) оценивается в баллах

согласно таблиц и в зависимости от причины его возникновения может быть отнесен к одной из трех групп:

- дефекты изготовления и монтажа (дефекты сварных швов, деформации, полученные при монтаже и др.);
- дефекты, возникшие вследствие грубого нарушения нормальной эксплуатации (перегрузка, удар крана о какое-либо препятствие и т.п.);
- дефекты, возникшие в условиях нормальной эксплуатации при отсутствии первоначальных недостатков изготовления и монтажа.

Результаты оценки дефектов в балах сводятся в соответствующие таблицы. Решение о необходимости оценки остаточного ресурса и условиях дальнейшей эксплуатации крана по состоянию металлоконструкции принимает комиссия с учетом рекомендаций и анализа дефектов.

4.1. Стреловые самоходные краны общего назначения

В соответствии с требованиями [7], балльная система оценки остаточного ресурса кранов стрелового типа представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Оценка дефектов в балах для стреловых кранов

Вид дефекта	Количество баллов дефектов		
	изготовления или монтажа	из-за грубого нарушения нор- мальной эксплуатации	возникших при нормальной эксплуатации
1. Нарушение лако-красочного покрытия	0,5		
2. Коррозия ответственных элементов, % толщины элемента:			
- до 5	0,2		
- до 10	1		
- свыше 10	10		

Продолжение табл. 4.1

3. Трещины, разрывы в швах или в околошовной зоне	1	1	4
4. Трещины, разрывы в зонах, удаленных от сварных швов	1	1	5
5. Ослабление болтовых соединений, в которых болты работают на растяжение (а также износ резьбы винтовых опор)	0,5	0,5	1
6. Ослабление болтовых соединений, в которых болты работают на срез	2		
7. Деформации элементов решетчатых конструкций, превышающие предельные значения			
7.1. Пояса	1	2,5	5
7.2. Элементы решетки	0,5	1	2
8. Деформации элементов листовых конструкций, превышающие предельные значения	1	1,5	5
9. Расслоение металла	5		
10. Смятие проушин и выработка отверстий в шарнирах, превышающие предельные значения	1	1,5	3
11. Любые дефекты, возникшие в месте предыдущего ремонта	1	2	5

Выводы по табл. 4.1:

- при суммарном числе баллов менее 5 кран может эксплуатироваться после ремонта с паспортной грузоподъемностью;
- при суммарном числе баллов 5-10 включительно, в случаях когда имеются дефекты не менее 3 баллов, грузоподъемность крана после ремонта на всех вылетах должна быть снижена не менее чем на 25% (кран должен быть переведен в более низкую размерную группу), к паспорту должны быть приложены соответствующие грузовые характеристики, а ОГП соответственно должен быть перенастроен (в необходимых случаях должен быть уменьшен противовес);
- при суммарном числе баллов более 10 кран подлежит снятию с эксплуатации и списанию, либо должен быть заменен дефектный узел.

4.2. Краны мостового типа

В соответствии с требованиями [10], балльная система оценки остаточного ресурса кранов мостового типа представлена в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Оценка дефектов в баллах для кранов мостового типа

Вид дефекта	Количество баллов дефектов		
	изготовления или монтажа	из-за грубого нарушения нор- мальной эксплуатации	возникших при нормальной эксплуатации
1. Нарушение лакокрасочного покрытия	0,1		
2. Коррозия несущих элементов, % толщины элемента: - до 5 - до 10 - свыше 10	Возникновение подобного дефекта маловероятно		0,2 1,0 4,0

Продолжение табл. 4.2

3. Трещины, разрывы в швах или в околошовной зоне	Возникновение больших трещин маловероятно	1	4
4. Трещины, разрывы в зонах, удаленных от сварных швов	То же	1	5
5. Разрывы не менее 10% болтов в соединениях, где болты работают на растяжение	Возникновение подобного дефекта маловероятно	1	4
6. Срез не менее 10% болтов соединениях, где болты работают на срез	То же	1	4
7. Деформации элементов ферменных конструкций, превышающие предельные (указаны в прил. Р5 к РД 10-112-5-97):			
7.1. Пояса	1	2,5	5
7.2. Раскосы	0,5	1	2
8. Деформации элементов листовых конструкций (кроме местных деформаций свесов поясов), превышающие предельные (указаны в прил. 5 к РД 10-112-5-97)	1	1,5	5
9. Расслоение металла перекрывающие не менее 50% размера сечения пояса, стенки и т.п.		5	
10. Любые другие дефекты, возникшие в месте предыд. рем.	1	1	2

Выводы по табл. 4.2:

- при суммарном числе баллов не более 3, остаточный ресурс может не оцениваться;
- при суммарном числе баллов более 3, но менее 5, кран после выполнения соответствующих оценок и проведения ремонта, как правило, может эксплуатироваться с паспортной грузоподъемностью в течении срока, на который оценивался его остаточный ресурс;
- при суммарном числе баллов от 5-10 включительно, в случае когда имеются отдельные дефекты не менее 3 баллов, грузоподъемность крана, как правило, должна быть снижена не менее чем на 25 %, кран должен быть переведен в более низкую режимную группу;
- при суммарном числе баллов более 10 кран подлежит снятию с эксплуатации и списанию, либо должен быть подвергнут ремонту с заменой дефектного узла.

ОАО «ВНИИ ПТМАШ» с учетом требований [11] разработал методику оценки остаточного ресурса по критериям: предельного состояния металлических конструкций – возникновение и развитие до недопустимых пределов усталости и других трещин, развитие недопустимых по величине остаточных деформаций, потерю устойчивости, недопустимое уменьшение сечений элементов вследствие их коррозии или износа всех видов, а так же с учетом наступающего со временем изменения свойств материала [15]. Величину остаточного ресурса конструкции оценивают, сопоставляя фактические показатели несущей способности конструкции (сопротивление усталости, остаточные деформации, коррозия и др.) с критериями, соответствующими указанным предельным состояниям. При оценке остаточного ресурса используется экспертный метод, который предусматривает назначение календарного остаточного ресурса на основе данных о фактической группе классификации крана и результатов проведения оценки его технического состояния при выполнении объема необходимых работ. Экспертный метод рекомендуется выполнять для кранов

групп режимов работы А1-А5 только в трех случаях, когда на основании документально подтвержденной информации могут быть определены показатели нагруженности расчетных элементов металлоконструкции (с учетом динамических, технологических, ветровых и др. нагрузок), за период с начала эксплуатации крана до момента проведения определения остаточного ресурса.

Данная методика весьма трудоемка, требует большой и достоверной информации за период эксплуатации и по мнению авторов, для кранов общего назначения ее можно применять в исключительных случаях, когда замена крана связана с большими техническими проблемами и финансовыми затратами на проведение обследования крана, например замена крана в действующих турбинных или котельных цехах электростанций и т.д.

4.3. Башенные, стреловые не самоходные и мачтовые краны, краны-лесопогрузчики

В соответствии с требованиями [9], бальная система оценки остаточного ресурса для данных типов кранов представлена в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

Бальная шкала оценки дефектов и повреждений металлических конструкций башенных кранов

Вид дефекта, повреждения	Оценка «п», баллов; дефектов и повреждений, возникающих	
	при монтаже, перевозке	при работе крана
1.Первичная трещина по сварному соединению (шов, околошовная зона): в поясах, коробчатых конструкциях в связях ¹ , ребрах	1,25 0,5	2,5 1,0

2. Первичная трещина по основному металлу: в поясах, коробчатых конструкциях в связях, ребрах	1,75 0,75	3,5 1,5
3. Первичная деформация элементов, превышающая нормативные данные: - стрелы или башни (в сборе), пояса - связи - элементы листовой конструкции	2,5 0,5 1,25	5,0 1,0 2,5
4. Выработка (износ, смятие) отверстий сверх предельных значений (РД 10-112-3-97)	1,0	2,0
5. Коррозия: - 50-95% предельной величины (по прил. ГЗ, п. ГЗ-7.1, РД 10-112-3-97) - при достижении предельной величины	- -	1,0 Свыше 5,0
6. Расслоение металла	Свыше 5,0	Свыше 5,0
7. Повторные дефекты по п.п. 1-5	1,3n	2n

Примечание: ¹Под связями понимаются элементы, связывающие пояса между собой в решетчатых конструкциях (раскосы, диагонали, стойки); n – суммарное число баллов повторных дефектов.

Вывод по табл. 4.3:

- при сумме дефектов несущих элементов сборочной единицы или секции более 5 баллов они подлежат списанию;
- при сумме дефектов двух базовых сборочных единиц или секций одного узла более 5 баллов подлежит списанию весь узел (выбраковка башни производится при выбраковке не менее 3 % ее секций);

- при сумме дефектов более каждого из двух и более основных узлов крана (ходовая рама, поворотная платформа, портал, башня, стрела) 5 баллов подлежит списанию весь кран.

5. Методика определения циклов нагружения металлоконструкций крана за время эксплуатации

Общее число циклов нагружения крана определяется по зависимости [1,2,3]:

$$C_T = C_c n_{\text{дн}} t_k \quad (5.1)$$

где: C_c – среднесуточное число циклов работы крана;

$n_{\text{дн}}$ – число работающих дней в году (250-при двух и 300-при одном выходных днях; 360- при непрерывном производстве; или по справке о характере работ крана, предоставляемой владельцем);

t_k – срок службы крана до списания согласно стандартам, или на момент выполнения расчетов, лет.

Ориентировочное соотношение между режимами работы по [1,2] и группам классификации (режима) согласно международного стандарта ИСО 4301/1: Л-(А1,А2,А3); С-(А4,А5); Т-(А6,А7); ВТ-(А8).

Режим нагружения крана характеризуется коэффициентом распределения нагрузок

$$K_P = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^m}{C_T} \quad (5.2)$$

где: C_i – среднее число рабочих циклов с частным уровнем массы груза P_i ;

C_T – суммарное число рабочих циклов со всеми грузами

$$\left(C_T = \sum_{i=1}^n C_i \right);$$

P_i – значения частных масс отдельных грузов (уровня нагрузки) при типичном применении крана; в практических расчетах $n = 2 \div 4$;

P_{max} – масса наибольшего груза (номинальный груз), который разрешается поднимать краном;

m – показатель степени, равный трем.

Группа классификации по ИСО 4301/1 крана и его механизмов приведены в паспорте крана.

В табл. 5.1 приведены значения режимов работы крана в зависимости от числа рабочих циклов за срок службы.

Таблица 5.1.

Группы классификации (режима работы) кранов

Класс использования		Максимальное число рабочих циклов (общее число рабочих циклов крана за срок службы), C_T	Режим нагружения (классы нагружения)										
ИСО	ГОСТ		Весьма легкий		Легкий		Умеренный		Тяжелый		Весьма тяжелый		
			ИСО	ГОСТ	ИСО	ГОСТ	ИСО	ГОСТ	ИСО	ГОСТ	ИСО	ГОСТ	
			----	Q_0	Q_1		Q_2		Q_3		Q_4		
Коэффициент распределения нагрузок (коэффициент нагружения), K_p													
			-	0,063	0,125		0,250		0,500		1,0		
Группа классификации (режима) (группа режима работы)													
U_0	C_0	$1,6 * 10^4$	-	-	-	-	-	1К	A1	1К	A2	2К	
U_1	C_1	$3,2 * 10^4$	-	-	-	1К	A1	1К	A2	2К	A3	3К	
U_2	C_2	$6,3 * 10^4$	-	1К	A1	1К	A2	2К	A3	3К	A4	4К	
U_3	C_3	$1,25 * 10^5$	-	1К	A2	2К	A3	3К	A4	4К	A5	5К	
U_4	C_4	$2,5 * 10^5$	-	2К	A3	3К	A4	4К	A5	5К	A6	6К	
U_5	C_5	$5 * 10^5$	-	3К	A4	4К	A5	5К	A6	6К	A7	7К	
U_6	C_6	$1 * 10^6$	-	4К	A5	5К	A6	6К	A7	7К	A8	8К	
U_7	C_7	$2 * 10^6$	-	5К	A6	6К	A7	7К	A8	8К	-	8К	
U_8	C_8	$4 * 10^6$	-	6К	A7	7К	A8	8К	-	8К	-	-	
U_9	C_9	Свыше $4 * 10^6$	-	7К	A8	8К	-	8К	-	-	-	-	

Примеры расчетов:

- Определить остаточный ресурс работы башенного крана КБ-403.

Исходные данные для расчета:

- паспорт крана:
 - дата выпуска – декабрь 1987 года;
 - дата ввода в эксплуатацию – декабрь 1987 года;
 - максимальная масса поднимаемого груза – 8,0 т;

- режим работы – А3;
- справка о характере работ (заполняется и утверждается владельцем крана, форма справки в соответствии с требованиями [9], данные за весь период эксплуатации носят приближенный характер):
 - количество дней в году, когда работает кран - $200 \div 220$;
 - количество циклов работы в сутки — $20 \div 25$;
 - фактическая максимальная масса поднимаемого груза – 6,0 т.
- доля циклов подъема груза:
 - от 0 до 0,25 P_H – 60%
 - от 0,25 до 0,5 P_H – 30%
 - от 0,5 до 0,75 P_H – 10%
 - от 0,75 до P_H – 0 %
- дата выполнения расчета – декабрь 2007 года.

Порядок выполнения расчетов:

Определяем фактическое число рабочих циклов нагружения крана за период эксплуатации по формуле 5.1.

$$N = 5500 \text{ (в год 5500 циклов);}$$

$$t_k = 20 \text{ лет (работа крана с 1987 по 2007 год включительно);}$$

По величине C_T и данным таблицы 5.1. определяем класс использования:

- по ГОСТ 25546 – C_3 ($1,25 \cdot 10^5$ циклов);
- по ИСО 4301/1 – U_3 ($1,25 \cdot 10^5$ циклов).

Фактический режим нагружения вычисляется по формуле 5.2 с учетом доли циклов подъема грузов краном:

$$K_P = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{C_T} \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^m \right]$$

$$K_P = \frac{C_1}{C_T} \left(\frac{P_1}{P_{max}} \right)^m + \frac{C_2}{C_T} \left(\frac{P_2}{P_{max}} \right)^m + \dots + \frac{C_n}{C_T} \left(\frac{P_n}{P_{max}} \right)^m$$

По величине K_p и данным таблицы 5.1 определяем режим нагружения крана: по ГОСТ 25546 – Q_1 ; по ИСО 4301/1 – Q_1 (Q_1 табл. – 0,125). Расчетная фактическая группа режима работы крана – по ГОСТ 25546 – 2К, по ИСО 4301/1 – А2 (на пересечении горизонтальной строки U_3 и вертикальной графы Q_1).

Максимальное количество рабочих циклов нагружения для режима работы составляет $C_T = 125000$ циклов, следовательно, фактический остаточный ресурс металлоконструкции крана $125000 - 110000 = 15000$ циклов.

Примечание: Фактический режим работы крана А2 не превышает паспортный А3.

Пример расчета

Определить остаточный ресурс работы автомобильного крана КС-3577.

Исходные данные для расчета:

- Паспорт крана:
 - дата выпуска – январь 1988 года;
 - дата ввода в эксплуатацию – январь 1988 года;
 - максимальная масса поднимаемого груза, т – 12,5;
 - режим работы – А2.
- Справка о характере работ (заполняется и утверждается владельцем крана, форма справки в соответствии с требованиями [7], данные за весь период эксплуатации носят приближенный характер):
 - количество дней в году, когда работает кран – 210;
 - фактическая максимальная масса поднимаемого груза, т – 12,5;
 - количество циклов работы в сутки – 10;
 - доля циклов подъема грузов:
 - От 0 до 0,25 P_H – 50%
 - От 0,25 до 0,5 P_H – 30%
 - От 0,5 до 0,75 P_H – 10%
 - От 0,75 до P_H – 10%

- Дата выполнения расчетов – январь 2007 г.

Порядок выполнения расчетов

Определяем фактическое число рабочих циклов нагружения крана за период эксплуатации по формуле 5.1.

~~$$t_k = \frac{C_T}{C_T} = 19 \text{ лет}$$~~

$t_k = 19$ лет (работа крана с января 1988 по декабрь 2006 года включительно);

По величине C_T и данным таблицы 5.1. определяем класс использования:

- по ГОСТ 25546 – C_2 ($6,3 \cdot 10^4$ циклов);
- по ИСО 4301/1 – U_2 ($6,3 \cdot 10^4$ циклов).

Фактический режим нагружения вычисляется по формуле 5.2 с учетом доли циклов подъема грузов краном:

~~$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right)^m}{C_T}$$~~

~~$$K_p = \frac{1 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,6 + 3 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,9 + 3 \cdot 1,0}{3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,6 + 3 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,9 + 3 \cdot 1,0}$$~~

По величине K_p и данным таблицы 5.1 определяем режим нагружения крана: по ГОСТ 25546 – Q_2 ; по ИСО 4301/1 – Q_2 ($Q_{2 \text{ табл.}} = 0,25$). Расчетная фактическая группа режима работы крана – по ГОСТ 25546 – $2K$, по ИСО 4301/1 – $A2$ (на пересечении горизонтальной строки U_2 и вертикальной графы Q_2).

Максимальное количество рабочих циклов нагружения для режима работы составляет $C_T = 63000$ циклов, следовательно, фактический остаточный ресурс основных металлоконструкций крана $63000 - 39900 = 23100$ циклов.

Примечание: Фактический режим работы крана $A2$ соответствует паспортному $A2$.

6. Методики оценки остаточного ресурса металлоконструкций стреловых кранов общего назначения

6.1. Методика оценки остаточного ресурса с использованием данных регистратора параметров работы крана

Методика определения остаточного ресурса металлоконструкций стреловых кранов общего назначения представлена в [8].

Наработка крана N_T оценивается текущим значением характеристического числа по формуле:

$$N_T = \sum_c \left(\frac{Q_i}{Q} \right)^3 \quad (6.1)$$

где: C – число рабочих циклов (поднятых грузов), выполненных от начала эксплуатации;

Q_i – масса груза, поднятая в i -ом цикле, т;

Q – грузоподъемность крана, т.

Вводится следующая терминология характеристического числа:

N – характеристическое число, безразмерная величина, являющаяся мерой ресурса крана, определяемая как произведение числа рабочих циклов, выполняемых краном, на коэффициент распределения масс поднятых грузов;

N_H – нормативное характеристическое число, безразмерная величина, являющаяся мерой ресурса крана, на который он рассчитан, определяемая с учетом параметров группы классификации по ИСО 4301.

N_T – текущее характеристическое число, безразмерная величина, являющаяся мерой ресурса крана на текущий момент, определяемая с учетом всех рабочих циклов, выполняемых от начала эксплуатации и значений масс грузов, поднятых в каждом рабочем цикле.

Нормативный срок службы крана – календарная продолжительность от начала эксплуатации до выполнения нормативной наработки, соответствующей группе классификации по ИСО 4301 (см. разделы 1, 5), приведенной в паспорте крана. После окончания нормативного срока службы кран должен быть выведен из эксплуатации и списан. Эксплуатация крана может быть продолжена при наличии достаточной остаточной прочности металлической конструкции, которое подтверждается экспертным обследованием, выполненным специализированной организацией (срок службы, приведенный в паспорте крана, не характеризует нормативный срок службы).

Нормативные значения характеристического числа N_H , соответствующее группам режима работы по ИСО – 4301 приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Нормативное характеристическое число N_H

Группа режима работы по ИСО 4301	N_H
A1	8000
A2	16000
A3	32000
A4	64000

Данная методика реализована в математическом обеспечении (обработке) результатов нагружения крана в приборах типа ОНК-140 (ограничитель нагрузок крановый, блок-регистратор параметров, которым оснащаются краны в соответствии с требованиями ст 2.12.11 [1]).

Владельцы кранов, на которых установлены регистраторы параметров типа ОНК-140, обязаны два раза в год считывать накопившуюся там информацию. Ниже приведен пример считывания информации с регистратора параметров ОНК-140 (информационная карта результатов) [15]:

- Информация о кране, ограничителе грузоподъемности:**

Кран КС3574 владелец
Ограничитель ОНК-140 контролер установлен на
кран 10.01.07.

- Долговременная информация о параметрах работы крана** представлена в таблице 6.2 и поясняющей к ней информации, графиках – изменения нагрузки, изменения груза на крюке, изменения длины стрелы, изменения вылета стрелы.

Таблица 6.2

Наработка крана по степени загрузки

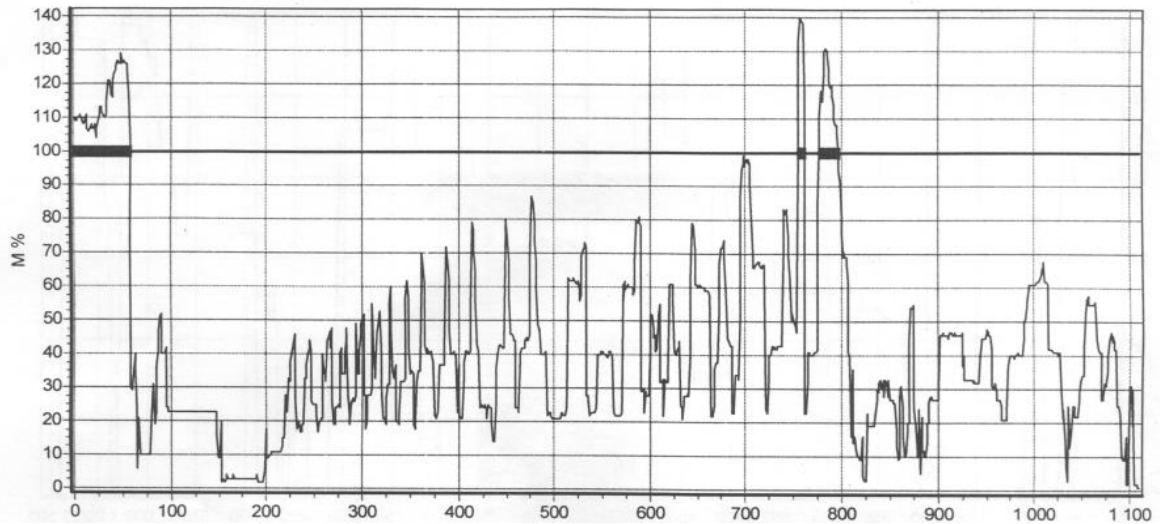
Диапазон нагрузок	Диаграмма	Число циклов нагружения
$0\% < M < 12,5\%$		675
$12,5\% < M < 25\%$		864
$25\% < M < 50\%$		698
$50\% < M < 100\%$		13
$100\% < M$		9
Суммарная наработка		2259

- Оценка наработки (выработки краном нормативного срока службы) и режима работы крана по ИСО 4301/1-85**

Нормативная группа классификации (режима) крана по ИСО 4301/1-85	A1
Текущая группа классификации (режима) крана по ИСО 4301/1-85	A1
Характеристическое число текущее/нормативное	50,1/8000
Класс использования по ИСО 4301/1-85	U ₀
Режим нагружения крана по ИСО 4301/1-85	Q ₁
Коэффициент распределения нагрузок	0,02
Счетчик моточасов	203 ч 45 м 00 с
Моточас последней перегрузки более 125%	202 ч 18 м 00 с

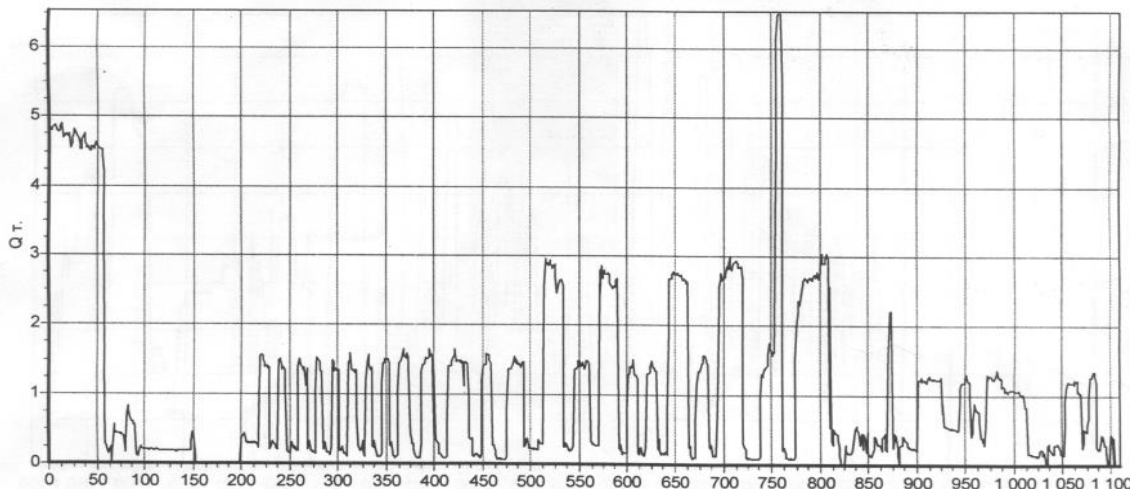
• **Состояние координатной защиты на момент считывания**

Ограничение поворота влево	нет
Ограничение поворота вправо	нет
Ограничение СТЕНА (вылет)	нет
Ограничение СТЕНА (азимут)	нет
Ограничение ПОТОЛОК	9,86 м.



Кадры

Рис 6.1 График изменения нагрузки



Кадры

Рис 6.2 График изменения груза на крюке

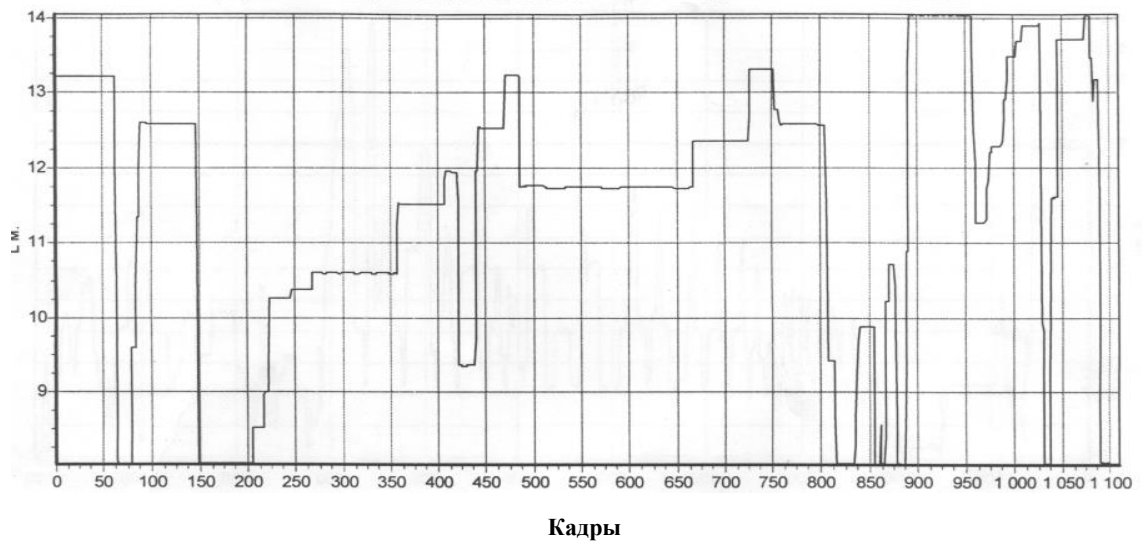


Рис 6.3 График изменения длины стрелы

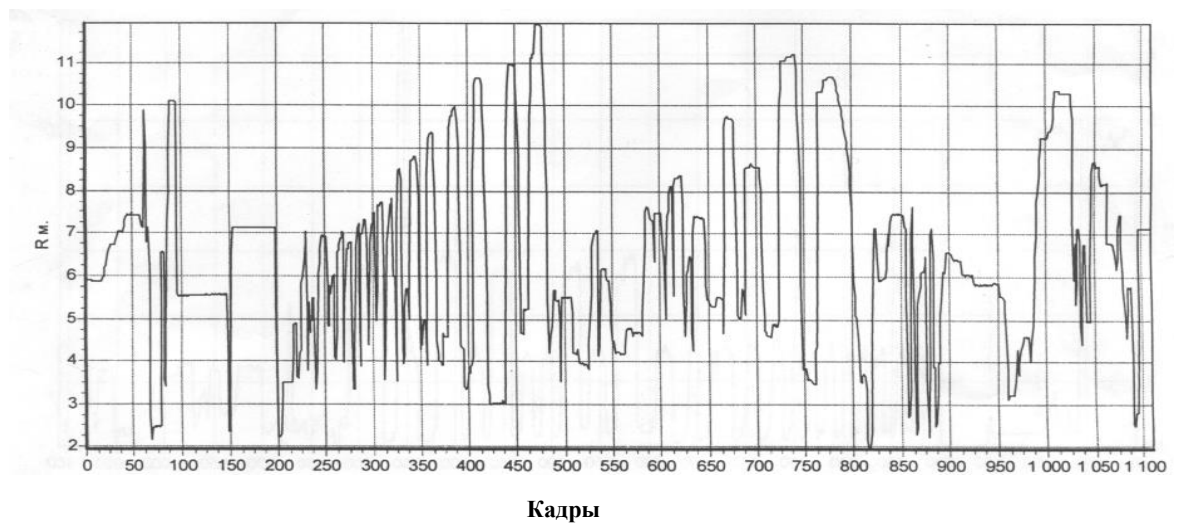


Рис 6.4 График изменения вылета стрелы

Данные результаты позволяют провести детальную оценку работы крана, выявить нарушения допущенные крановщиком по перегрузке металлоконструкций крана (рис 6.1).

6.2. Методика оценки остаточного ресурса с учетом характера выполнения погрузочно – разгрузочных работ

Рассмотрим случай, когда на кране не установлен регистратор параметров его работы. Текущую наработку крана определяют

$$N=C\left(\frac{Q_{cp}}{Q}\right)^3 \quad (6.2)$$

где: Q_{cp} – среднее значение массы поднимаемого груза.

Число рабочих циклов C , выполненных от начала эксплуатации определяют по зависимости:

$$C=K \cdot n \cdot T \quad (6.3)$$

где: K – коэффициент запаса, при наличии документированных сведений о работе крана, $K=1,5$; при отсутствии – $K=2,0$;
 n – число циклов, выполняемых в смену;
 T – общее число смен, выработанных краном от начала эксплуатации, $T=300 \cdot M$, M – число лет эксплуатации крана.

При отсутствии документированных данных о статистике поднятых грузов, если нет оснований для другой экспертной оценки, среднее значение массы поднятого груза принимают в зависимости от характера работ, выполняемых краном:

- Регулярный на перегрузочных работах – $Q_{cp}=0,5 \cdot Q$
- Нерегулярный на разных работах $Q_{cp}=0,4 \cdot Q$
- Вспомогательный на обслуживании оборудования $Q_{cp}=0,3 \cdot Q$

Нормативный срок службы считается окончательным, когда текущее значение характеристического числа достигает значения нормативного, принимаемого в зависимости от группы классификации крана по режиму работы (см. табл. 6.1)

➤ Пример расчета

Определить наработку автомобильного крюкового стрелового крана группы режима работы А1 ($N_H = 8000$), грузоподъемностью 12,5 т. за 10 лет при неустановленном регистраторе параметров работы крана и отсутствии документированных сведений о работе крана, используемого нерегулярно на разных работах, число циклов выполняемых в смену 15.

Порядок выполнения расчетов

Вычисляем число рабочих циклов по формуле 6.3.

$$N_{\text{ср}} = 15 \cdot 300 \cdot 10 = 45000 \text{ циклов.}$$

Текущая наработка крана:

$$N = C \left(\frac{Q_{\text{ср}}}{Q} \right)^3$$

$Q_{\text{ср}} = 0,4 \zeta$ - нерегулярный характер работы

$$N = 45000 \cdot 0,4^3 = 11520 \text{ циклов.}$$

До окончания нормативного срока кран может работать в указанном режиме некоторое время, оно приближенно может быть определено:

$$T = \frac{N}{N_H} = \frac{11520}{8000} = 1,44 \text{ года} \quad (6.4)$$

Для нашего случая имеем

$$T = \frac{11520}{8000} = 1,44 \text{ года}$$

(3 года 10,5 месяцев).

7. Вопросы и задачи для практических занятий

1. По каким признакам классифицируются грузоподъемные машины.
2. Что определяет нормативный срок эксплуатации.
3. Что такое остаточный ресурс работы крана и на что он влияет.
4. Какова структурная схема последовательной оценки остаточного ресурса.
5. Определить остаточный ресурс элементов грузоподъемных машин по величине износа:

Задача 1

- Сборочная единица – ось шкворня ходовой тележки башенного крана;
- Нарботка крана до момента проведения оценки остаточного ресурса $t=4000$ ч.;
- Фактический износ оси шкворня, $P_p = 0,7$ мм.;
- Допустимый износ сборочной единицы, $P_d = 1,2$ мм.

Задача 2

- Сборочная единица – ось стрелы автомобильного крана;
 - Нарботка крана до момента проведения оценки остаточного ресурса $t=2500$ ч.;
 - Фактический износ оси, $P_p = 0,75$ мм.;
 - Допустимый износ сборочной единицы, $P_d = 0,8$ мм.
6. По каким видам дефектов производится оценка остаточного ресурса металлоконструкции мостового крана в балах.
 7. По каким видам дефектов производится оценка остаточного ресурса металлоконструкций стрелового крана в балах.
 8. По каким видам дефектов производится оценка остаточного ресурса металлоконструкций башенного крана в балах.
 9. Что такое режим нагружения крана и как он определяется.

10. Определить остаточный ресурс работы башенного крана:
- Дата выпуска – декабрь 1984 г.
 - Дата ввода в эксплуатацию – январь 1985 г.
 - Максимальная масса поднимаемого груза – 8,0 т.
 - Режим работы крана – А2.
 - Количество дней в году, когда работает кран – $180 \div 200$.
 - Количество циклов работы крана в сутки – $30 \div 35$.
 - Фактическая максимальная масса поднимаемого груза - 4 т.
 - Доля циклов подъема груза:
 - ✓ от 0 до $25 P_H$ – 50 %
 - ✓ от 25 до $0,5 P_H$ – 50%
 - Дата выполнения расчета – декабрь 2008 г.
11. Определить остаточный ресурс работы стрелового автомобильного крана:
- Дата выпуска – ноябрь 1995 г.
 - Дата ввода в эксплуатацию – апрель 1995 г.
 - Максимальная масса поднимаемого груза – 14,0 т.
 - Режим работы крана – А2.
 - Количество дней в году, когда работает кран – $240 \div 250$.
 - Количество циклов работы крана в сутки – $12 \div 15$.
 - Фактическая максимальная масса поднимаемого груза – 14,0 т.
 - Доля циклов подъема груза:
 - ✓ от 0 до $0,25 P_H$ – 30 %
 - ✓ от $0,25$ до $0,5 P_H$ – 50 %
 - ✓ от $0,5$ до $0,75 P_H$ – 15 %
 - ✓ от $0,75$ до $1,0 P_H$ – 5 %
 - Дата выполнения расчета – декабрь 2008 г.
12. Определить остаточный ресурс работы стрелового автомобильного крана:
- Дата выпуска – июнь 1990 г.
 - Дата ввода в эксплуатацию – сентябрь 1991 г.

- Максимальная масса поднимаемого груза – 10,0 т.
- Режим работы крана – А2.
- Количество дней в году, когда работает кран – $200 \div 210$.
- Количество циклов работы крана в сутки – $15 \div 20$.
- Фактическая максимальная масса поднимаемого груза - 7 т.
- Доля циклов подъема груза:
 - ✓ от 0 до $0,25 P_H$ – 50 %
 - ✓ от $0,25$ до $0,5 P_H$ – 30 %
 - ✓ от $0,5$ до $0,75 P_H$ – 20 %
 - ✓ от $0,75$ до $1,0 P_H$ – 0 %
- Дата выполнения расчета – декабрь 2008 г.

13. Определить остаточный ресурс стрелового автомобильного крана:

- Группы режима работы – А2.
- Грузоподъемность – 14,0 т..
- Лет – 12.
- При отсутствии документированных сведений о работе крана, используемого регулярно на перегрузочных работах.
- Число циклов в смену – 10.

14. Определить остаточный ресурс стрелового автомобильного крана:

- Группы режима работы – А1.
- Грузоподъемность – 10 т.
- Лет – 15.
- При отсутствии документированных сведений о работе крана, используемого вспомогательно на перегрузочных работах.
- Число циклов в смену – 12.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ПБ10-382-00 Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. ПИО ОБТ.- М.: 2000.- 266 с.: ил.
2. ГОСТ 25546-82 Краны грузоподъемные. Режимы работы.
3. ИСО 4301/1. Краны грузоподъемные. Классификация.
4. ГОСТ 28609-90 Краны грузоподъемные. Основные положения расчета.
5. ГОСТ 22827-85 Краны стреловые самоходные общего назначения. Технические условия.
6. ГОСТ 27584-88 Краны мостовые и козловые электрические. Общие технические условия.
7. РД 10-112-2-97 Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 2. Краны стреловые самоходные общего назначения. ОАО ВНИИСтройдор-маш.- М.:1997.- 69с.
- 8.РД 10-112-2-02Д Дополнение к методическим указаниям по экспертному обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. ОАО ВНИИСтройдор-маш.- М.:2002.- 10с.:ил.
9. РД 10-112-3-97 Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 3. Башенные, стреловые несамоходные и мачтовые краны. СКТБ БК.- М.: 1997.- 76с.: ил.
10. РД 10-112-5-97 Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые. ОАО ВНИИПТМАШ.- М.: 1997.- 54с.: ил.
11. РД 24-112-5Р Руководящий документ по оценке остаточного ресурса кранов мостового типа. ОАО ВНИИПТМАШ.- М.: 2002.- 24с.:ил.
12. МУ УЭЦ 480100.001 Методические указания по оценке остаточного ресурса грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы. ЗАО Уральский экспертный центр. Екатеринбург.: 2002.-35с.: ил.
13. РД 09-102-95 Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, подконтрольных Гос-

гортехнадзору России. НТЦ Промышленная безопасность.- М.: 1995.- 7с.:ил.

14. Пустовой В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин: Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса.- М.: Транспорт, 1992.- 135с.: ил.

15. РД 10-399-01 Требования к регистраторам параметров грузоподъемных кранов. Госгортехнадзор России.- М.: 2001.-15с.: ил.

16. Тайц В.Г. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин: Учеб. пособие для вузов.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.-383с.: ил.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
1. Классификация грузоподъемных машин	3
2. Нормативный срок эксплуатации	5
3. Методика оценки остаточного ресурса элементов грузоподъемных машин по величине износа	9
4. Методики оценки остаточного ресурса по состоянию металлоконструкций кранов.....	10
4.1. Стреловые самоходные краны общего назначения	11
4.2. Краны мостового типа	13
4.3. Башенные, стреловые не самоходные и мачтовые краны, краны-лесопогрузчики	16
5. Методика определения циклов нагружения металлоконструкции крана за время эксплуатации	18
6. Методики оценки остаточного ресурса металлоконструкции стреловых кранов общего назначения	23
6.1. Методика оценки остаточного ресурса с использованием данных регистратора параметров работы крана....	23
6.2. Методика оценки остаточного ресурса с учетом характера выполнения погрузочно – разгрузочных работ..	28
7. Вопросы и задачи для практических занятий.....	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	33

**Методические указания по выполнению
практических занятий**

Составители: *Бузуев Игорь Иванович*

Редактор

Технический редактор

Компьютерная верстка

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. п. л. .

Усл.кр. - отг.

Уч.-изд. л. . Тираж экз. С. - .

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100 г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

Корпус № 8