

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
Сибирский колледж транспорта и строительства

Методические указания по выполнению практической работы
ПМ.01 «Сооружение и ремонт объектов транспорта, хранения, распределения газа,
нефти, нефтепродуктов»
(для очной формы обучения)
для специальности 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и
газонефтехранилищ»
базовая подготовка
среднего профессионального образования

Иркутск 2023

Методические указания предназначены для организации самостоятельной внеаудиторной работы для обучающихся по специальности 21.02.03 «Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» при изучении профессионального модуля ПМ.01 «Сооружение и ремонт объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов»

РАССМОТРЕНО:

Цикловой методической комиссией
специальности 21.02.03 Сооружение и
эксплуатация газонефтепроводов и
газонефтехранилищ

Протокол № 9
«31» мая 2023 г.
Председатель ЦМК: Подбельская Д.Н.

Разработчики:

Фролова О.В., преподаватель высшей категории; Сибирский колледж транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»;

Мангатханова И.М., преподаватель высшей категории, Сибирского колледжа транспорта и строительства ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Практическая работа №1	
Расчет показателей надежности элементов машин	5
Практическая работа №2	
Система планово-предупредительного ремонта (ППР) оборудования...14	
Практическое занятие №3	
Определение допустимых, предельных износов и размеров соединяемых деталей.....	19
Практическая работа №4	
Определение дефектов сварных соединений.....	23
Практическая работа №5	
Составление дефектной ведомости.....	29
Практическая работа №6	
Балансировка вращающихся деталей.....	36
Практическая работа №7	
Выбор рационального метода восстановления детали	47
Библиографический список.....	56
Приложение А	57

Введение

Методические указания по выполнению практической работы (далее – методические указания) составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ПМ.01 Сооружение и ремонт объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов. Содержание методических указаний соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 21.02.03 Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

Целью методических указаний является оказание помощи обучающимся в выполнении практической работы по учебной дисциплине ПМ.01 Сооружение и ремонт объектов транспорта, хранения, распределения газа, нефти, нефтепродуктов.

Задачами методических указаний по организации практической работы являются:

- активизация практической работы обучающихся;
- определение содержания практической работы обучающихся;
- установление требований к различным формам практической работы;
- определение порядка выполнения практической работы;
- формулирование методических рекомендаций по выполнению практической работы.

Практическая работа №1

Расчет показателей надежности элементов машин

Цель работы: знакомство с надежностью систем различных структур, приобретение практических навыков определения показателей надежности машин, проведения структурного анализа надежности машины.

Краткие теоретические сведения

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Это свойство определяет эффективность функционирования изделия во времени через свои показатели. Показатель надежности – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта. Являясь комплексным свойством надежность оценивается через показатели частных свойств –

долговечность, безотказность, ремонтопригодность и сохраняемость каждым в отдельности или в различных их сочетаниях.

Безотказность – свойство объекта сохранять работоспособность непрерывно в течение некоторого времени или наработки. Проявляется оно как в режиме работы, так и в режиме ожидания.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до предельного состояния с возможными перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Долговечность разделяют на физическую и моральную. Физическая долговечность

– это продолжительность работы машины в средних условиях эксплуатации до капитального ремонта или списания. Списание производится тогда, когда эксплуатация становится опасной, технически невозможной, а восстановление – экономически нецелесообразным. Моральная долговечность – это продолжительность работы машины, после которой ее конструкция становится тех-

нически и экономически не эффективной по сравнению с новыми типами машин.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение и после режима ожидания, хранения и транспортирования. Изделие в период его применения (эксплуатации) может находиться в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном состояниях. Особое состояние изделия – его предельное состояние. Переход из одного состояния в другое характеризуется событиями – повреждением или отказом. Исправное состояние (исправность) – состояние объекта, при котором он удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации (НТД). Неисправное состояние (неисправность) – состояние объекта, при котором он не удовлетворяет хотя бы одному из требований НТД.

Работоспособное состояние (работоспособность) – состояние объекта, при котором изделие способно выполнять заданные функции, соответствующие требованиям НТД. Неработоспособное состояние (неработоспособность) – состояние объекта, при котором не выполняется хотя бы один параметр заданных функций изделия, указанных в требованиях НТД.

Предельное состояние – состояние объекта, при достижении которого его дальнейшее применение (эксплуатация) по назначению недопустимо, невозможно или нецелесообразно.

Повреждение – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Причина отказа – явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа.

Объекты или изделия делятся на ремонтируемые и неремонтируемые. Ремонтируемый – это такой объект, для которого возможность проведения ремонтов и технического обслуживания предусмотрена НТД. Неремонтируемый – это такой объект, для которого ремонты и техобслуживание не предусмотрены НТД. Абсолютное большинство машин и их сборочных единиц отно-

сятся к ремонтируемым. К неремонтируемым могут быть отнесены подшипники качения, ременные и зубчатые передачи, рукава высокого давления, манжеты и уплотнения, фрикционные накладки, пружины и др.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта.

Ресурс – наработка объекта от начала его применения до предельного состояния.

Важнейшими понятиями в теории надежности являются работоспособное состояние (работоспособность) и отказ. Отказы узлов и деталей ТиТМО могут быть аварийными (случайными) или естественными (предсказуемыми). Аварийные – это, к примеру, деформации или поломки рабочего инструмента технических машин, предохранительных клапанов из-за загрязнения рабочих жидкостей гидросистем, поломки зубьев шестерён и др. Естественные повреждения и отказы возникают при нормальных условиях эксплуатации машин. К ним относятся абразивный износ, усталость поверхностных слоёв, смятие поверхностей контакта. Качение без скольжения вызывает усталость поверхностных слоёв. При качении с относительным скольжением наблюдаются усталость и износ (зубчатая пара). Каждому виду взаимодействия деталей друг с другом соответствует свой вид отказа.

В соответствии с ГОСТ 27.002 показатели надежности подразделяют на единичные и комплексные, расчетные, экспериментальные, экстраполированные, а также групповые и индивидуальные. Единичный показатель надежности – показатель, характеризующий одно из свойств (например, долговечность или безотказность), составляющих надежность объекта. Комплексный показатель надежности – показатель, характеризующий одновременно несколько свойств (два и более), составляющих надежность объекта. Групповой показатель надежности служит для оценки надежности совокупности изделий данного типа (вида, марки, модели). Индивидуальный показатель предназначен для оценки надежности каждого изделия данного типа. Различают показатели безотказности невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов.

Показатели безотказности. К показателям безотказности невосстанавливаемых объектов относят: вероятность безотказной работы; средняя наработка до отказа; интенсивность отказов.

Показатели восстанавливаемых объектов включают: вероятность безотказной работы; наработка на отказ; параметр потока отказов. Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет:

- для невосстанавливаемых объектов – $P(t) = N_t/N_o;$
- для восстанавливаемых объектов – $P(t) = N_{60}/r,$

где N_t – число объектов, безотказно проработавших до момента времени $t;$
 N_o – число объектов, работоспособных в начальный момент времени $t_o;$
 N_{60} – число наработок, в течение которых объект работал безотказно после восстановления до момента времени t и более;
 r – общее число наработок.

Средняя наработка до отказа T_o – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. Определяется как среднее арифметическое наработок всех объектов N , поставленных на испытания:

$$T_i = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (1.1)$$

где t_i – наработка i -го объекта до отказа.

Наработка на отказ T – отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r}, \quad (1.2)$$

где t_i – i -я наработка между отказами;

r – число отказов в течение наблюдаемой наработки.

Если после каждого отказа объект восстанавливается до первоначального состояния, то этот показатель равен средней наработке до отказа. Для оценки изменения свойств безотказности во времени применяют показатели: интенсивность отказов и параметр потока отказов. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t) \Delta t}, \quad (1.3)$$

где $N(t)$ и $N(t + \Delta t)$ – число объектов, работоспособных, соответственно, к моментам t и $t + \Delta t$.

По существу интенсивность отказов выражается числом отказов в единицу времени. Параметр потока отказов $\omega(t)$ – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N(\Delta t)}. \quad (1.4)$$

Физический смысл параметра потока отказов – это среднее число отказов восстанавливаемого объекта в единицу времени для рассматриваемого момента t , т. е. величина, которую обычно называют интенсивностью или плотностью потока отказов. По своему содержанию понятия интенсивности отказов (для невосстанавливаемых объектов) и параметр λ потока отказов (для восстанавливаемых объектов) различны. Однако в частном случае при $\lambda = \text{const}$ они численно совпадают.

Пример 1. Исследовали работу десяти невосстанавливаемых элементов машины. Наработка их до отказа составила, суток: 21, 42, 68, 36, 18, 49, 16, 22, 74, 19. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы в течение 40 суток, интенсивность отказов в период между 20 и 50 сутками работы и среднюю наработку до отказов элементов.

Решение. Безотказно проработали в течение 40 суток 4 элемента (42, 68, 49, 74). Отсюда вероятность безотказной работы

$$P(t) = N(t) / N_0 = 4 / 10 = 0,4.$$

Интенсивность отказов в период между 20 и 50 сутками работы, суток¹:

$$\lambda(t) = N(t) - N(t + \Delta t) / N(t) \Delta t = (7 - 2) / 7 \cdot 30 = 0,0238.$$

Средняя наработка до отказа

$$\bar{t}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{1+ + + + 1 + + + 1}{10} = \text{суток.}$$

Пример 2. В работе редуктора зарегистрировано 8 отказов $r = 8$. Наработки t_i между отказами составили в сутки: 18, 9, 14, 27, 16, 8, 14, 22. Необходимо определить наработку на отказ редуктора и вероятность его безотказной работы в пределах наработки, равной 20 суток.

Решение. Наработка на отказ редуктора

$$T = \sum_{i=1} t_i = \frac{18+ +1 + +1 + 8+1 +}{8} = \text{суток.}$$

Вероятность безотказной работы

$$P(t) = N_{60}/r,$$

где N_{60} – число наработок, в течение которых редуктор работал безотказно 20 суток и более (22 и 27 суток).

$$P(t) = 2/8 = 0,25.$$

Пример 3. Необходимо определить параметр потока отказов трех однотипных машин в межремонтный период и между 5 и 15 сутками наблюдения. Межремонтный период равен 30 суток.

Наработка между отказами, суток:

- первая машина – 3, 6, 8, 4, 2, 5;
- вторая машина – 1,2, 5, 3, 4, 2, 4, 3, 3, 2; 2
- третья машина – 4, 6, 7, 4, 8.

Решение. Параметр потока отказов в период между 5 и 15 сутками наблюдения.

Начальный момент $t = 0$. Интервал $\Delta t = 30$ сут. Параметр потока отказов определяется по формуле

$$\omega(t) = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N m_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}}{N\Delta t}.$$

В этом выражении число отказов в момент $t = 0$ для всех трех машин равно 0, т. е.

$$\sum_{i=1}^N m_i(t) = 0.$$

Число отказов до наработки $t + \Delta t = 30$ суток составляет:

- для первой машины $m_1(30) = 6$;
- для второй машины $m_2(30) = 10$;
- для третьей машины $m_3(30) = 5$.

$$\omega(t) = \frac{(+10+) - 0}{3 \cdot 30} = 0, \quad , \quad 1/\text{сут.}$$

Параметр потока отказов в период между 5 и 15 сутками наблюдения.

Начальный момент времени $t = 5$ суток, интервал $\Delta t = 10$ суток. Число отказов до наработки $t = 5$ суток равно:

- для первой машины $m_1(5) = 1$;
- для второй машины $m_2(5) = 2$;
- для третьей машины $m_3(5) = 1$.

Число отказов до наработки $t = 15$ суток, соответственно, равно:

- $m_1(15) = 2$;
- $m_2(15) = 5$;
- $m_3(15) = 2$.

Параметр потока отказов в интервале времени между 5 и 15 сутками ($\Delta t = 10$ суток)

$$\omega(t) = \frac{(++)-(1++)}{3 \cdot 10} = 0, \text{ суток}^{-1}.$$

Следовательно, машины более надежно работали в интервале $5 \div 15$ суток.

Общие сведения по структурному анализу надежности систем

Надежность большинства изделий в технике определяют, рассматривая их как системы. Сложные системы делятся на под-системы. Системы с позиций надежности могут быть последовательными и параллельными. Понятие «последовательная система» в задачах надежности имеет широкое значение. К таким системам относят все системы, в которых отказ элемента приводит к отказу всей системы. Например, систему подшипников механических передач с позиции теории надежности следует рассматривать как последовательную, хотя фактически подшипники каждого вала работают параллельно. Примерами параллельных систем являются энергетические системы из электрических машин, работающих на общую сеть, многомоторные самолеты, суда с двумя машинами и резервированные системы.

Структурный анализ надежности систем. При восстановлении работоспособности машин за критерий принимаются затраты на текущий и капитальный ремонт. В общем случае расчет структурной схемы выполняется в следующей последовательности.

1). Определяется коэффициент нормируемых затрат α :

$$\alpha = Z_{\text{TP}}, Z_{\text{KP}},$$

где Z_{TP} – минимальные затраты на текущий ремонт машины;

Z_{KP} – минимальные затраты на капитальный ремонт машины. 2).

Определяется ранг ремонтных затрат R_i для узлов, входящих в машину:

$$R_i = Z_i \cdot Z_{KP},$$

где Z_i – затраты на ремонт узлов, входящих в машину; i – порядковый номер узла, $i = 1, 2, \dots n$.

3). Выстраивается последовательность рангов

$$R_1 \geq R_2 \geq \dots \geq R_i \geq R_{i+1} \geq \alpha \dots \geq R_K \geq R_{K+1} \geq R_n.$$

По этой последовательности формируются структурные схемы соединений.

4). Узлы с рангами $R_i \geq 1$ представляют собой самостоятельные ремонтные комплекты и в структурной схеме соединяются последовательно.

5). Узлы с рангами $1 > R_i \geq \alpha$ также составляют самостоятельные ремонтные комплекты и в структурной схеме соединяются последовательно.

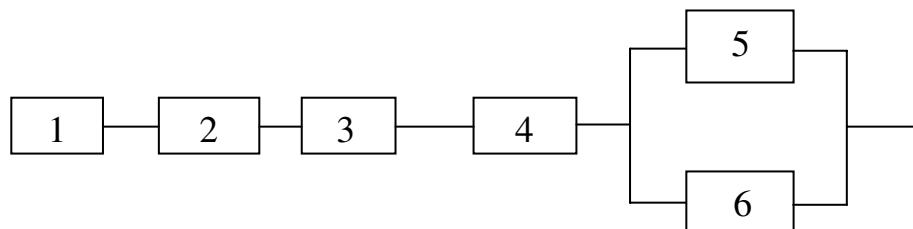
6). Узлы с рангами $R_i < \alpha$ группируются в параллельные цепи с минимальным их числом и суммарным рангом $\sum R_i \geq 1$. В этом случае сгруппированные узлы в совокупности также составляют самостоятельные ремонтные комплекты.

7). Оставшиеся узлы также группируются в параллельные цепи с минимальным их числом и суммарным рангом $1 > \sum R_i \geq \alpha$. В этом случае сгруппированные узлы в совокупности также составляют самостоятельные ремонтные комплекты.

8). Если суммарный ранг оставшихся узлов $\sum R_i < \alpha$, то они не составляют ремонтного комплекта и из дальнейшего рассмотрения исключаются.

9). Все ремонтные комплекты соединяются в последовательную цепь, и проводится расчет надежности машины в целом.

Например, машина состоит из шести узлов с рангами затрат: $R_1 = 1,2$; $R_2 = 1,1$; $R_3 = 0,8$; $R_4 = 0,75$; $R_5 = 0,6$; $R_6 = 0,45$. Коэффициент нормируемых затрат $\alpha = 0,7$. Вероятность безотказной работы каждого узла составляет $P = 0,95$. Требуется определить вероятность безотказной работы машины в целом. Выстраиваем последовательность рангов: $1,2 > 1,1 > 1 > 0,8 > 0,75 > \alpha > 0,6 > 0,45$. Составляем структурную схему.



Определяем вероятность безотказной работы машины в цепи

$$P_{5-6} = 1 - (1 - P_5)(1 - P_6) = 1 - (1 - 0,95)(1 - 0,95) = 0,9975 \\ P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_{5-6} = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,9975 = 0,81.$$

Контрольные вопросы

1. Что такое надежность систем?
2. Через какие показатели оценивается надежность?
3. Что значит работоспособное состояние объекта? 4. Что такое предельное состояние?
5. Объясните понятия «отказ», «наработка», «ресурс», «интенсивность отказов».
6. В чем заключается физический смысл параметра потока отказов?
7. Что принимают за критерий при восстановлении работоспособности машин?
8. Как определяется ранг ремонтных работ?
9. С каким рангом ремонтные комплекты соединяются последовательно, параллельно?
10. Какие узлы не составляют ремонтного комплекта?

Порядок выполнения работы

1. Проработать теоретический материал.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Рассмотреть примеры решения задач.
4. Решить задачи 1-4 (Приложение А).

Практическая работа №2

СИСТЕМА ПЛНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА (ППР) ОБОРУДОВАНИЯ

Цель работы: знакомство с системой ППР и получением практических навыков по составлению ее графиков.

Краткие теоретические сведения

Производственное оборудование является важной и неотъемлемой частью основных фондов промышленности, поэтому рациональное использование, сохранение работоспособности и долговечности оборудования является одной из важнейших задач для бесперебойной работы любого завода или цеха. Для этого необходимо правильно организовать эксплуатацию данного оборудования, своевременно проводить ремонты и не допускать простоев по техническим причинам.

Обеспечение эксплуатационных показателей оборудования возможно при тщательном уходе за ним, систематическом осмотре и проведении всех видов ремонтных работ. Такой порядок работы принят системой планово-предупредительных ремонтов (ППР).

Система ППР - совокупность организационных и технических мероприятий по уходу, надзору и всеми видами ремонтов, производимых в порядке профилактики по заранее разработанному плану, с целью бесперебойной работы данного оборудования.

Система ППР включает в себя:

- 1) межремонтное профилактическое обслуживание оборудования;
- 2) применение при ремонте современных передовых технологий, обеспечивающих высокое качество и долговечность;
- 3) проведение при ремонте оборудования модернизации отремонтированных узлов и механизмов;
- 4) организация снабжения предприятия запасными частями, деталями и техническими материалами;
- 5) организация контроля качества ремонта оборудования и порядка обслуживания в процессе эксплуатации.

В систему ППР входят следующие виды работ и ремонта:

- межремонтное профилактическое обслуживание;
- текущий ремонт (ТР);
- средний ремонт;
- капремонт.

Межремонтное профилактическое обслуживание – осуществляется силами эксплуатационного персонала.

Перечень работ по профилактическому обслуживанию:

- обтирка;
- промывка;
- чистка оборудования и содержание рабочего места в чистоте;
- смазка;
- наблюдение за состоянием подшипников, натяжных при водных ремней, прессов, цепей;
 - проверка состояния болтовых, шпоночных и клиновых соединений;
 - контроль стыковых и сальниковых уплотнений, действие тормозов и приспособлений для аварийной остановки машин;
 - устранение мелких дефектов, выявляемых в процессе работы за смену.

Текущий ремонт – проводится по графику, составленному заранее для каждой машины.

Выявленные при ТР дефекты учитываются при подготовке к среднему и капитальному ремонту.

Основные работы по ТР:

- устранение мелких дефектов;
- замена быстро изнашивающихся деталей;
- зачистка поверхностей пружинящихся деталей для устранения задиров и забоин;
- регулирование зазоров, проверка подшипников и чистка смазочных устройств;
- проверка и замена изношенных лент, тросов, цепей и ремней.

ТР осуществляется на месте установки оборудования силами дежурного персонала цеха.

Планирование ремонта

Ремонт оборудования производится в соответствии с планомремонта, который составляется отделом главного механика накаждый планируемый год. При планировании ремонтных работ определяют:

- сроки ремонта каждой эксплуатационной единицы;
- затраты труда на выполнение ремонтных работ отдельно в человеко-часах, а также планируют потребность вспомогатель- ных материалов.

Для определения точного срока проведения ремонтных ра- бот необходимо знать ремонтный цикл и период для каждого от- дельного оборудования.

Ремонтный цикл - наименьший повторяющийся период эксплуатации изделия, в течение которого осуществляются в определенной последовательности установленные виды техноло- гического обслуживания и ремонта, предусмотренные норматив- ной документацией.

Межремонтный период – промежуток времени между двумя очередными плановыми ремонтами.

При составлении графика ППР работы оборудования на год применяют следующие зависимости.

Потребное число ремонтов в год по каждому типу и виду оборудования определяется по формуле:

$$n_{\text{рем}} = O_{\text{од.об.}} \cdot T_{\text{факт}} \cdot n_{\text{в.рем.}} / T_{\text{Ц}},$$

где $O_{\text{од.об.}}$ – число единиц однотипного оборудования, находящегося в работе;

$T_{\text{факт}}$ – фактическое время работы оборудования, час;

$n_{\text{в.рем.}}$ – число всех ремонтов (капитальных, средних, текущих) межремонтного цикла;

$T_{\text{Ц}}$ – длительность межремонтного цикла, час.

Число ремонтов каждого вида определяют по формулам:

- капитальных

$$n_{\text{кап.}} = T_{\text{к}} / T_{\text{Ц}}; n_{\text{ср}}$$

- средних

$$= T_{\text{к}} / T_{\text{ц.с.}} - 1;$$

- текущих

$$n_{\text{тек}} = T_{\text{к}} / T_{\text{ц.с.}} - \Sigma(n_{\text{кап.}} + n_{\text{ср.}}),$$

где $T_{\text{к}}$ – календарное время работы оборудования, ч;

$T_{ц.с.}$ – длительность межремонтного периода от капитально-го до среднего ремонта, ч;

$\sum(n_{кап.} + n_{ср.})$ – сумма капитальных и средних ремонтов.

Пример. Составить график ППР насоса на год.

Исходные данные для расчета. Время работы насоса между капитальными ремонтами – 8640 ч, средними – 2160 ч, текущими – 720 ч. Фактическое число суток работы в год – 360. Число смен работы – 3, продолжительность смены – 8 ч. К началу года обогревование имело пробег после капитального ремонта 7320 ч, текущего – 840 ч, технического обслуживания – 120 ч.

Решение.

Для составления графика ППР насоса на год: Число рабочих суток в месяце: $360 / 12 = 30$ суток.

1. Месяц останова на ремонт:

- капитальный $(8640 - 7320) / 3 \cdot 8 \cdot 30 = 1,8$ месяца, принимаем февраль;
- средний $(2160 - 840) / 3 \cdot 8 \cdot 30 = 1,8$ месяца, принимаем февраль;
- текущий $(720 - 120) / 3 \cdot 8 \cdot 30 = 0,8$ месяца, принимаем январь;

2. Определяем через сколько месяцев необходимо производить последующие ремонты:

- капитальный $8640 / 3 \cdot 8 \cdot 30 = 12$ месяцев, принимаем 12 месяцев, т. е. в следующем году;
- средний $2160 / 720 = 3$ месяца, принимаем через 3 месяца, т. е. в феврале, мае, августе, ноябре;
- текущий $720 / 720 = 1$ месяц, принимаем через 1 месяц, т. е. каждый месяц кроме февраля, мая, августа и ноября.

3. Составляем график ППР насоса:

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Вид ремонта	ТО	К	ТО	ТО	С	ТО	ТО	С	ТО	ТО	С	ТО

Контрольные вопросы

1. Что включает в себя система ППР?
2. Что называют ремонтным циклом?
3. Что такое межремонтный период?
4. Как определить число ремонтов в год по каждому виду оборудования?
5. Как определяется число видов текущего, среднего и капитального ремонтов?
6. Задачи капитального ремонта.

Порядок выполнения работы

1. Проработать теоретический материал.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Рассмотреть примеры решения задач.
4. Решить задачи 5-6 (Приложение А).

Практическое занятие №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ ИЗНОСОВ И РАЗМЕРОВ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: приобрести навыки использования рассчитываемых показателей для повышения эффективности использования машинного парка.

Краткие теоретические сведения

Предельным износом $I_{\text{пр}}$ или зазором $S_{\text{пр}}$ называется такой, при котором наступает предельное состояние детали или сопряжения, и их дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена во избежание аварийной поломки или резкого ухудшения технических или экономических характеристик машины. Таким образом, предельное состояние деталей или сопряжений в процессе их эксплуатации обуславливается появлением предельного износа или зазора. Наработка детали или сопряжения от начала эксплуатации и до предельного состояния называется полным ресурсом детали $T_{\text{дп}}$ или сопряжения $T_{\text{сп}}$. При ремонте восстанавливается не только работоспособность машины, но и ее межремонтный ресурс. Таким образом, в процессе ремонта для дальнейшей работы на машине оставляются только те детали или сопряжения, остаточный ресурс которых равен или превышает межремонтный ресурс машины или агрегата. Следовательно, предельное состояние деталей и сопряжений при ремонте обуславливается уже не предельной, а так называемой «допустимой при ремонте» или просто «допустимой» величиной износа $I_{\text{др}}$ или зазора $S_{\text{др}}$. Допустимым износом $I_{\text{др}}$ или зазором $S_{\text{др}}$ называется такой, при котором остаточный ресурс детали или сопряжения равен межремонтному ресурсу машины в целом или ее отдельного агрегата. Величины предельных и допустимых износов и зазоров устанавливаются в результате проведения специальных исследований и последующих стендовых и эксплуатационных испытаний. Значения предельных и допустимых износов и зазоров для деталей и сопряжений большинства марок машин приведены в изданных ГОСНИТИ альбомах типовой технологии ремонта (дефектовка и

оценка технического состояния). Для новых марок машин эти значения могут быть приняты по аналогии с известными.

Пример расчета.

Исходные данные:

- средняя скорость изнашивания втулки по наружному диаметру

$$W_{вт}=2,2 \cdot 10^{-5} \text{ мм/мотор-ч};$$

- средняя скорость изнашивания пальца

$$W_{ип}=1,2 \cdot 10^{-5} \text{ мм/ мотор-ч.}$$

Остальные исходные данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Наименование деталей соединений	Размеры деталей по чертежу, мм	Начальный зазор, S_h , мм	Допустимый зазор $S_{др}$, мм	Предельный зазор, $S_{пр}$, мм
Втулка ведомой шестерни	+0,00 -0,030			
Палец ведомой шестерни	-0,01	0,030... 0,072	0,14 0	0,25 0

Определяем значения допустимого без ремонта $I_{др}$ и предельного $I_{пр}$ износов, средней скорости изнашивание W_c и полного ресурса $T_{сп}$ соединения. Для данного задания можно использовать следующие уравнения:

$$I_{др} = S_{др} - S_{h \max} = 0,140 - 0,072 = 0,068, \text{ мм}; I_{пр} = S_{пр} - S_{h \max} = 0,250 - 0,072 = 0,178, \text{ мм};$$

$$W_c = W_{д1} - W_{д2} = 2,2 \cdot 10^{-5} + 1,2 \cdot 10^{-5} = 3,4 \cdot 10^{-5}, \text{ мм/ мотор-ч},$$

$$\frac{S_{--}}{3, \cdot 10} = \frac{0,1}{3, \cdot 10} = 0,0 \cdot 0^-, \text{ мотор-ч},$$

где $S_{h \max}$ – максимальный начальный зазор в соединении, мм; $W_{д1}$ и $W_{д2}$ – соответственно средняя скорость изнашивания первой и второй детали соединения, мм/мотор-ч.

Полученные расчетные значения W_c и $T_{сп}$ нужно рассматривать как среднее из-за возможных отклонений, прежде всего, вследствие нестабильности условий эксплуатации техники. Предельные износы соединяемых деталей можно определить следующим образом:

$$p = \frac{p \cdot W_1}{W_c} = \frac{0,1 \cdot 8 \cdot 1, \cdot 10^{-5}}{3,4 \cdot 10^{-5}} = 0, \text{ мм,}$$

$$p = \frac{p \cdot W}{W_c} = \frac{0,1 \cdot 8 \cdot 1, \cdot 10^{-5}}{3,4 \cdot 10^{-5}} = 0,0 \text{ , мм.}$$

Межремонтная наработка:

$$mp = \frac{(p - p)}{W} = \frac{0,1 \cdot 8 - 0,0}{3,4 \cdot 10^{-5}} \cdot 8 = 00, \text{ мото-ч.}$$

Допустимые износы деталей составляют

$$I_{dp\ vt} = I_{pr\ vt} - T_{mp} \cdot W_{vt} = 0,115 - 3200 \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} = 0,045 \text{ мм, } I_{dp\ pl} = I_{pr\ pl} - T_{mp} \cdot W_{nn} = 0,063 - 3200 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} = 0,025 \text{ мм.}$$

Тогда допустимые без ремонта размеры деталей соединения в месте их наибольшего износа с учетом значений максимального диаметра отверстия D_{max} и минимального диаметра вала d_{min} принимаемых по таблице 3.1. определяются следующим образом для втулки:

$$D_{dp} = D_{max} + I_{dp\ vt} = 18,06 + 0,045 = 18,105 \text{ мм, } d_{dp} = d_{min} - I_{dp\ pl} = 17,998 - 0,025 = 17,963 \text{ мм.}$$

В заключении вычерчивается расчетная схема изнашивания деталей соединения в зависимости от наработки T с указанием значений полного ресурса соединений $T_{сп}$, допустимых без ремонта и предельных износов деталей и зазоров в соединении.

Контрольные вопросы

1. Поясните термины: предельное состояние (износ) машин, соединений и деталей.
2. Допустимые значения износа деталей при ремонте машин.
3. Предельные значения износа деталей при ремонте машин.
4. Зависимость между допустимыми и предельными значениями износа деталей при ремонте машин.
5. Объясните порядок расчета остаточного технического ресурса детали.
6. Порядок расчета полного технического ресурса детали.
7. Порядок расчета полного ресурса соединения.
8. Порядок расчета остаточного ресурса соединения.

Порядок выполнения работы

- 1.** Изучить методику расчета и определения допустимых предельных износов и размеров соединяемых деталей и их полного ресурса.
- 2.** Ответить на контрольные вопросы.
- 3.** Рассмотреть пример решения задачи.
- 4.** Решить задачу 7 (Приложение А).

Практическая работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: изучение наиболее часто встречаемых дефектов сварных соединений и причин их образования.

Краткие теоретические сведения

Термин «дефект» определяется как каждое отдельное несоответствие требованиям, установленным нормативной документацией.

Для оценки влияния дефектов шва на служебные характеристики сварных соединений необходимо располагать данными о чувствительности металла сварного шва к дефектам. Под чувствительностью к дефектам понимают степень снижения механических характеристик сварного шва в зоне дефекта по сравнению с бездефектным швом. Следует различать чувствительность к дефектам при статических и переменных нагрузках. При статических нагрузках за критерий чувствительности к дефекту обычно принимают прочность соединения с дефектом (предел прочности) по отношению к бездефектным соединениям. При переменных нагрузках критерием чувствительности соединений к дефектам являются эффективные коэффициенты концентрации, т. е. отношение пределов выносливости сварных соединений без дефектов и с заданными дефектами.

Чувствительными к дефектам при статических нагрузках следует считать сварные соединения, у которых прочность металла шва с непроваром не пропорциональна изменению глубины непровара. В этом случае непровар необходимо рассматривать не только как фактор, уменьшающий сечение шва, но и как концентратор напряжений, влияние которого на прочность соединения не может быть скомпенсировано увеличением усиления шва и проплава. Чувствительность или отсутствие чувствительности сварных соединений к дефектам будет зависеть также от соотношения между прочностью металла шва и основного металла.

Если σ_b и σ_t металла шва равны или больше, чем у основного металла (шов – твердая прослойка), то сварные соединения при таком испытании нечувствительны к дефектам при статиче-

ских нагрузках (разрушение будет происходить по основному металлу). Это имеет место обычно в соединениях из низкоуглеродистой стали, сваренных качественными электродами (Э42, Э42А и др.), и при автоматической сварке под флюсом (в том и другом случае металл шва легируется), а также в сварных соединениях из стали типа 12Х18Н10Т.

Если \square_b и \square_t металла шва меньше, чем у основного металла (шов – мягкая прослойка), то сварные соединения чувствительны к дефектам – концентраторам, что наблюдается после сварки в соединениях из алюминиевых, титановых сплавов и низколегированных сталей.

Все дефекты сварных швов можно разделить на две группы: наружные (внешние) и внутренние. К наружным дефектам относятся дефекты, которые могут быть обнаружены невооруженным глазом или с помощью увеличительного стекла. К внутренним дефектам относятся дефекты, которые выявляются специальными методами.

Внешние дефекты. Форму и размеры сварных швов задает проектировщик и указывает на чертеже (рис 4.1). Обычно регламентируют ширину шва B , высоту усиления h , величину проплава h_1 , а для угловых и нахлесточных швов – катет шва K и высоту рабочего сечения h .

Основными внешними дефектами (рис 4.2.) являются нарушение установленных размеров и формы шва (ширина и высота шва; а, б, в), непровар (ж, з), подрезы (г, д), наплывы (в, з), грубая чешуйчатость поверхности шва (а), трещины на поверхности шва (е), прожоги, незаваренные кратеры.

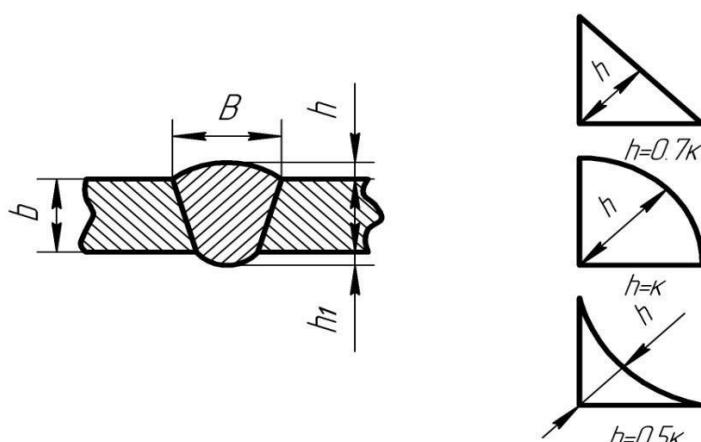


Рис. 4.1. Форма сварочных швов

Швы могут иметь неравномерную ширину по длине, неравномерную высоту, бугры, наплысы, неравномерную величину катетов в угловых швах. Неправильная форма швов, в частности, чрезмерное усиление, резкие переходы от шва к основному металлу и т.п. могут существенно снизить работоспособность соединений, особенно при динамических нагрузках, а также в хрупких материалах.

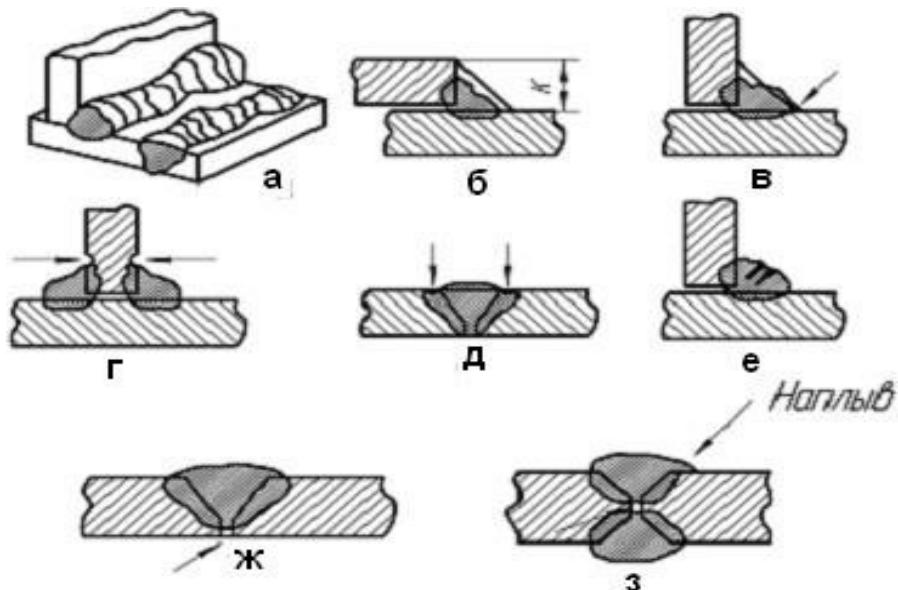


Рис. 4.2. Дефекты сварных швов

Подрезы представляют собой углубления в основном металле, расположенные по краям шва. Они образуются при сварке на повышенных токах и напряжениях дуги. Подрезы уменьшают рабочее сечение, вызывают концентрацию напряжений и могут стать причиной разрушения швов из-за появления трещин у края подреза.

Кратеры образуются из-за обрыва дуги и остаются в виде углублений. Они уменьшают рабочее сечение шва, снижают его прочность и коррозийную стойкость. Не заваренный кратер часто служит очагом появления трещин.

Прожоги – это сквозное проплавление свариваемых частей. Основными причинами прожога являются большой сварочный ток, малая толщина основного металла, малая величина притупления свариваемых кромок и неравномерный зазор между ними по длине.

Наплысы, натеки – результат стекания наплавленного металла на непрогретую поверхность основного металла или стека-

ние расплавленного металла при сварке потолочных швов. Образуются при низкой квалификации сварщика и несоответствии скорости сварки и величины сварочного тока разделке кромок шва.

Непровар – неполное оплавление свариваемых кромок основного и наплавленного металла – является следствием низкой квалификации сварщика, некачественной подготовки свариваемых кромок, смещения электрода к одному из кромок, быстрого перемещения электрода по шву.

Грубая чешуйчатость поверхности шва получается при недоброкачественных электродах и от неумения правильно перемещать электрод и присадочный пруток.

Внутренние дефекты. К внутренним дефектам относятся: пористость, неметаллические включения, непровары, пережог и перегрев металла шва, а также внутренние трещины.

Пористость (газовые включения) образуются при насыщении сварочной ванны газами (водород, азот, углекислый газ и др.), образующимися при сварке. Пористость является результатом плохой подготовки сварных кромок (загрязненность, ржавчина, замасленность), применения электролов с сырьем покрытием, влажного флюса, недостатка раскислителей. В малом количестве поры могут и не влиять на работоспособность соединений.

Неметаллические включения (шлаки) появляются обычно вследствие плохой зачистки кромок от окалины и ржавчины, а чаще от плохой зачистки шлака при многослойной сварке.

Непровары представляют собой несплошности значительной величины на границах между основным и наплавленным металлом или незаполненные металлом полости в сечении шва. Непровары образуются при загрязнении кромок, неправильной подготовке кромок, неправильном или неустойчивом режиме сварки и т.п. Непровары могут снизить работоспособность соединения засчет ослабления рабочего сечения шва и, кроме того, острые непровары могут создать концентрацию напряжений в шве.

Пережог – окисление металла шва и прилегающего к нему основного металла. Причинами пережога является сильно окисляющая среда, большая длина дуги, слишком большая величина сварочного тока, замедленное перемещение электрода.

Трещины являются самым опасным дефектом сварки. Они могут быть микро- и макроскопическими, а в зависимости от происхождения – горячими и холодными.

Горячие трещины образуются в процессе затвердевания металла шва вследствие резкого снижения пластических свойств в определенном интервале температур и развития растягивающих напряжений, возникающих в результате усадки металла.

Холодные трещины образуются в результате протекания фазовых превращений в зоне термического влияния, приводящих к снижению прочностных свойств металла, и воздействия сварочных напряжений.

Трещины могут быть продольными и поперечными и располагаться в металле шва (горячие трещины) или в зоне термического влияния (холодные трещины).

Контрольные вопросы

1. Что понимают под чувствительностью сварного шва к дефектам?
2. Назовите наиболее опасные дефекты сварного соединения.
3. Какие факторы влияют на прочность сварного соединения при статическом нагружении?
4. Какие факторы определяют возникновение пористости и шлаковых включений в металле сварочного шва?
5. Какие факторы определяют возникновение горячих и холодных трещин в сварных соединениях?

Порядок выполнения работы

1. Ответить на контрольные вопросы.
2. Произвести внешний осмотр стыкового сварочного соединения и выявить дефекты сварки.
3. Изучить рентгенограмму сварного соединения и выявить наличие внутренних дефектов.
4. Кратко описать выявленные дефекты и их влияние на прочность соединения.

Практическая работа №5 СОСТАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОЙ ВЕДОМОСТИ

Цель работы: изучение назначения дефектных ведомостей на ремонт оборудования и восстановления узлов и деталей машин, ознакомление с методикой составления дефектных ведомостей на ремонт оборудования.

Краткие теоретические сведения

Назначение дефектной ведомости

Дефектная ведомость предназначена для определения объема работ по ремонту оборудования, потребности материалов, новых запасных частей взамен изношенных. Она является основным документом для составления графиков на ремонт, проведения и финансирования ремонта.

Ведомость составляется механиком цеха и отделом главного механика (энергетика) предприятия перед проведением каждого текущего и капитального ремонта по результатам ежесменного обслуживания периодических осмотров и текущих ремонтов оборудования. Во время этих осмотров и ремонтов производят необходимые замеры величин износа деталей, для чего при необходимости производят частичную разборку узлов машины.

Окончательная дефектная ведомость уточняется во время разборки машины для ремонта.

Методика составления дефектной ведомости

При проведении текущего и капитального ремонта технологического оборудования важная роль отводится подготовительным работам, особенно если ремонт осуществляется на месте установки оборудования. Подготовительные работы должны обеспечить проведение ремонтных работ на индустриальной основе по скоростному методу.

Одним из главных организационно-технических мероприятий подготовительных работ для проведения капитального и текущего ремонта машины является своевременное и качественное составление дефектной ведомости на ремонт.

Чтобы иметь возможность выполнить весь объем подготовительных работ (подготовить запчасти, материалы, рабочую си-

лу механизм приспособления, графики, чертежи проект органи- зации работ и др.) дефектную ведомость составляют за 3-6 меся- цев до плановой остановки машины на ремонт.

При составлении дефектной ведомости на ремонт машину необходимо проверить на холостом ходу и при полной нагрузке. При внешнем осмотре и замерах во время остановок машины должны быть выявлены такие дефекты, как вибрация, поврежде- ния фундаментов, крепежных болтов, корпусных деталей кры- шек, неисправности муфт, биение и изгиб валов. Проверяют течь масла и исправность уплотнений, замеряют зазоры в подшипни- ках и проверяют посадку шпонок, определяют величину осевого и радиального бieniaия шестерен, шкивов, бандажей и муфт, про- веряют состояние зубчатых зацеплений (перекос, износ и повре- ждение зубьев).

При наблюдении за работой какого-либо узла проверяют правильность кинематической связи его с дугами узлами машины. Дефекты, выявленные при осмотре, а также узлы, подле- жащие модернизации, согласовывают с рабочими, обслуживаю-щими данную машину.

Результаты осмотров, проверок и замеров заносят в дефектную ведомость, составленную по специальной форме.

Дефектная ведомость Наименование

оборудования: _____

Инвентарный номер: _____

Завод-изготовитель: _____

Модель: _____

Подвергался ремонту: (дата) _____

Начало ремонта по плану: (дата) _____

Кто выполняет: (завод, цех) _____

№ п/п	Узлы и детали, подлежа- щие замене (ремонту)	Кол-во узлов и деталей	№ чертежа	Масса узла или детали	Состояние узлов и деталей, подлежащих ремонту	Перечень ремонтных работ для устранения дефектов
	2	3	4	5	6	7

Главный механик завода (подпись) Механик
цеха (подпись)

При заполнении граф 2, 3, 4, 5 ведомости дефектов следует руководствоваться рабочими чертежами данной машины.

Дефектовка машины - это определение технического состояния ее узлов и деталей, сортировка их на годные, требующие ремонта, и негодные. Поэтому при заполнении граф 6,7 ведомости необходимо знать следующее: к годным деталям относятся детали, у которых отклонения в размерах и форме находятся в пределах допустимых износов, указанных в технических условиях на ремонт данной машины.

Подлежат ремонту детали, износ которых выше допустимого, но дефекты можно устранить каким-либо методом восстановления деталей машин.

Негодными деталями являются те, восстановление которых невозможно или экономически нецелесообразно вследствие большого износа и других серьезных дефектов (изломы, трещины, деформации).

Причинами браковки деталей в основном являются разнообразные износы, которые приводят к изменениям в работе машин:

1) конструктивным - предельное изменение размеров деталей нарушает ее прочность и конструктивно изменяет сопряжение;

2) технологическим - предельные изменения размеров детали влияет на удовлетворительное выполнение ею служебных функций в работе узла или агрегата;

3) качественным - изменение геометрической формы детали при износе ухудшает работу механизма или машины (износ молотков, щек дробилок);

4) экономическим - допустимое уменьшение размеров детали снижает производительность машин, увеличивает потери мощности, расход смазки, что оказывает влияние на себестоимость выполнения работы.

Дефектовка деталей осуществляется в соответствии с техническими условиями, которые включают: общую характеристику детали (материал, размеры, твердость и т.п.); возможные дефекты; допустимый без ремонта размер детали для ремонта; признаки окончательного брака; допустимые значения овальности, конусности.

Образец дефектной ведомости автопогрузчика

Дефектная ведомость

Наименование оборудования: автопогрузчик

Инвентарный номер: 3312

Завод-изготовитель: ВНИИ «Стройдормаш»

Модель: ДЗМ-312

Подвергался ремонту: апрель 2021 г.

Начало ремонта по плану:

январь 2023 г.

Кто выполняет: РМЦ

Наименование узлов и деталей, подлежащих ремонту или замене	Количество деталей	Состояние узлов и деталей, подлежащих замене или ремонту	Перечень работ для устранения дефектов	Наименование материала	Рабочая сила		Трудоемкость, чел - час
					Разряд	Квалификация	
1	2	3	4	5	6	7	8
Портал	1	Наличие трещин	1.Разделать 2.Заварить 3.Зачистить		4 4 3	Слесарь Сварщик Слесарь	0,5 0,3 0,4
Рама	1	Деформация угла рамы	1.Вырезать 2.Заварить 3.Зачистить		4 4 3	Сварщик Сварщик Слесарь	0,6 0,7 0,4
Вал трансмиссии	1	Износ шпоночного паза	1.Заварить шпоночную канавку 2.Токарная обработка 3.Шлифование 4.Фрезерование шпоночной канавки под углом 120° к старой	40Х	4 4 5 4	Сварщик Токарь Шлифовальщик Фрезеровщик	0,4 0,1 0,15 0,13

1	2	3	4	5	6	7	8
Вал	1	Износ вала подшипника	1.Метализация 2.Токарная обработка 3.Шлифование под ремонтный размер	Cr45	4 4 4	Металлизация Токарь Шлифовальщик	0,4 0,1 0,15
Рама каретки	1	Наличие трещин	1. Разделать 2.Заварить 3.Зачистить		4 4 3	Слесарь Сварщик Слесарь	0,5 0,4 0,3
Вал шлицевой	1	Шлицы	1.Отжиг 2.Раздача 3.Заварить 4.Зачистить		4 4 3	Токарь Сварщик Слесарь	0,4 0,3 0,4
Звездочка	1	Износ зубьев	1.Наплавить электродуговым способом 2.Зачистить		4 3	Сварщик Слесарь	0,4 0,4
Подшипник ходового колеса	2	Износ рабочей поверхности	1. Заменить новым		4	Слесарь	0,8

Целесообразность и возможность вторичного использования деталей машин, необходимость их ремонта или полную непригодность устанавливают внешним осмотром, замерами и обследованием на наличие трещин. Вначале наружным осмотром выявляют внешние дефекты: задиры, вмятины, трещины и т.д. Дальнейшую дефектовку деталей производят измерительным инструментом и специальными приборами. В зависимости от дефектов детали их сортируют на три группы: годные- маркируют белой краской, негодные- красной, требующие ремонта - зеленой. При этом следует руководствоваться следующим перечнем:

Таблица 5.1

Дефектовка деталей

Детали	Дефекты, определяющие браковку деталей	Дефекты, подлежащие устранению
1	2	3
Валы и оси	Трешины в валах ответственного назначения, износ шеек выше 5 % nominalного диаметра, округление, износ шлицев	Изгиб, забоины, задиры, трещины глубиной до 10% диаметра, овальность и конусность шеек, повреждение
Втулки	Сквозные трещины и сколы, увеличение зазоров между валом и втулкой 2 мм при d 50 мм 3 мм при d 100 мм 4 мм при d 200 мм 5 мм при d 300 мм	Трешины резьб, шпоночных канавок, центральных отверстий. Повреждения смазочных канавок, небольшие задиры
Подшипники скольжения	Трешины в бронзовых и чугунных вкладышах, износ последних сверх допусков по зазорам	Риски трещины баббитовой заливки или износ ее сверх допустимых значений
Подшипники качения	Шелушение тел качения и беговых дорожек, раковины, вмятины, трещины, сколы, коррозия, увеличение зазоров сверх допусков	
Зубчатые колеса	Износ зубьев по толщине выше 30% - в открытых передачах; 20 % - в редукторах и ответственных передачах при окружной скорости до 5 м/сек; 15 % - в колесах при окружной скорости $i=15$ м/сек, трещины обода спиц и ступицы в ответственных передачах; поломка более 50% двух и более зубьев подряд в ответственных передачах	Трешины в ободе и ступице; поломка не более двух зубьев подряд неответственных передач; износ зубьев

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
Звездочки цепных передач	Сломанные зубья, износ шлицев, трещины в ободе инк ступице	Износ зубьев по толщине не более 15 %; износ слоя цементации не более 80 %; трещины на спицах не более чем на 25 % их количества
Стальные канаты	Обрыв пряди, износ или коррозия проволок более 40 %	
Корпуса редукторов (чугунные)	Трещины в местах посадки подшипников	Повреждения резьбовых отверстий, деформация поверхностей разъема, трещи-
Детали технологического и другого оборудования	Согласно нормативам Положения ПИР	

Контрольные вопросы

1. Назначение дефектной ведомости.
2. Кем составляется дефектная ведомость на предприятии?
3. Когда составляется дефектная ведомость?
4. Какие детали считают негодными?
5. К каким изменениям в деталях приводят разнообразные износы?
6. Из каких позиций состоит дефектная ведомость?

Порядок выполнения работы:

1. Проработать теоретический материал
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Составить дефектную ведомость задача 8
(Приложение А).

Практическая работа №6 БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Балансировка является специфическим способом восстановления деталей, при котором восстанавливается их динамическая или статическая уравновешенность, утраченная в результате износа или после ремонтных операций, которые предшествовали балансировке.

Нарушение балансировки может возникнуть также при сборке вращающегося узла. Неуравновешенные массы при вращении приводят к появлению центробежных сил, которые вызывают вибрацию машины и ее повреждение. В частности, возникают добавочные динамические давления на опоры вращения ротора, что, в свою очередь, может привести к выдавливанию смазки в подшипниках и явиться причиной ускоренного износа валов и вкладышей подшипников.

Для предотвращения этих явлений необходимо производить проверочную балансировку как отдельных деталей после их обработки, так и окончательно собранных вращающихся узлов и ротора.

Особенно тщательно следует балансировать быстровращающиеся роторы крупных размеров, например, роторы центрифуг.

Неуравновешенность вращающихся роторов вызывается следующими причинами:

1) недостаточной точностью изготовления отдельных деталей, из которых собран ротор;

2) неравномерным распределением материала в объеме детали (газовые раковины, шлаковые включения и т. п.);

3) неточной посадкой вращающихся частей ротора на вал или их смещением из-за деформации, погнутости вала, неверной сборки и т. д.

Возможна неуравновешенность двух типов (рис. 6.1):

- для деталей, близких по форме к тонким дискам, характерна так называемая статическая неуравновешенность, проявляющаяся в смещении центра тяжести от оси вращения и появление центробежной силы (рис. 6.1, а) (дисбаланс D измеряется статическим моментом).

$$D = G \cdot r = m \cdot R,$$

где G – вес детали, H ;

r – смещение центра тяжести детали от оси вращения, см;

m – вес уравновешивающего груза, H ;

R – расстояние от оси вращения до центра тяжести уравновешивающего груза, см.

- для деталей, имеющих значительную длину в осевом направлении неуравновешенные силы возникают в различных сечениях (рис. 6.1, б). Эти силы могут быть приведены к паре сил $P-P$ и результирующей силе K (рис. 6.1, в). Такая неуравновешенность (от пары сил) называется динамической, так как обнаружить её статической балансировкой невозможно. Динамическую неуравновешенность определяют при вращении детали, когда возникает момент пары сил M :

$$M = P \cdot a = m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot a/g,$$

где a – плечо пары сил;

m – вес одного из грузов, вызывающих дисбаланс;

ω – угловая скорость;

g – ускорение свободного падения;

P – смещение центра тяжести детали от оси вращения.

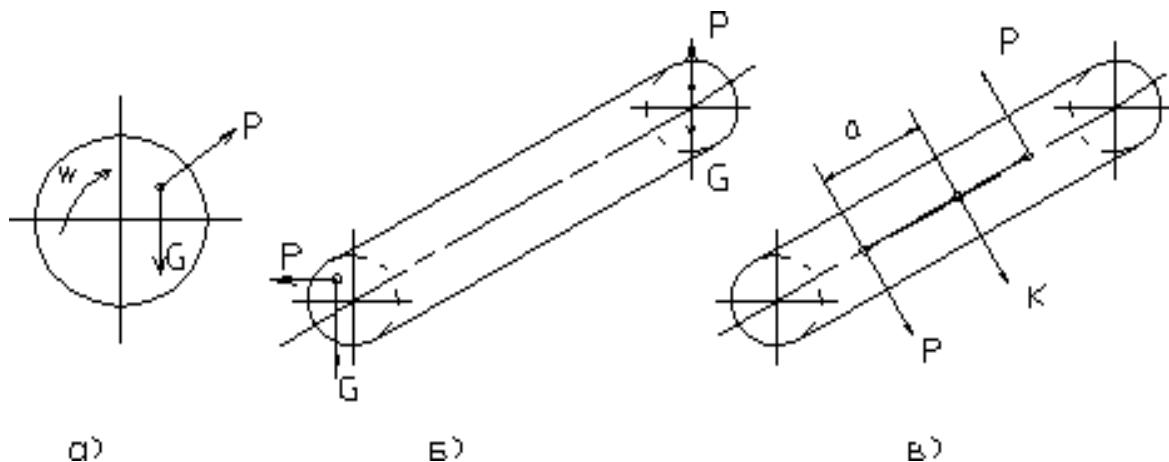


Рис. 6.1. Неуравновешенность вращающихся роторов:

а - неуравновешенность тонкого диска; б - неуравновешенность длинного ротора; в - приведение пары сил к результирующей силе

На практике чаще всего встречается смешанная неуравновешенность. При этом сначала должна проводиться статическая балансировка для уменьшения результирующей силы K , а затем динамическая балансировка.

Первым фактором, определяющим границы использования статической или динамической балансировки, является относительная длина детали L/D , вторым – частота вращения детали n .

На рис. 6.2 представлен график для определения границ динамической и статической балансировок в зависимости от L/D и n .

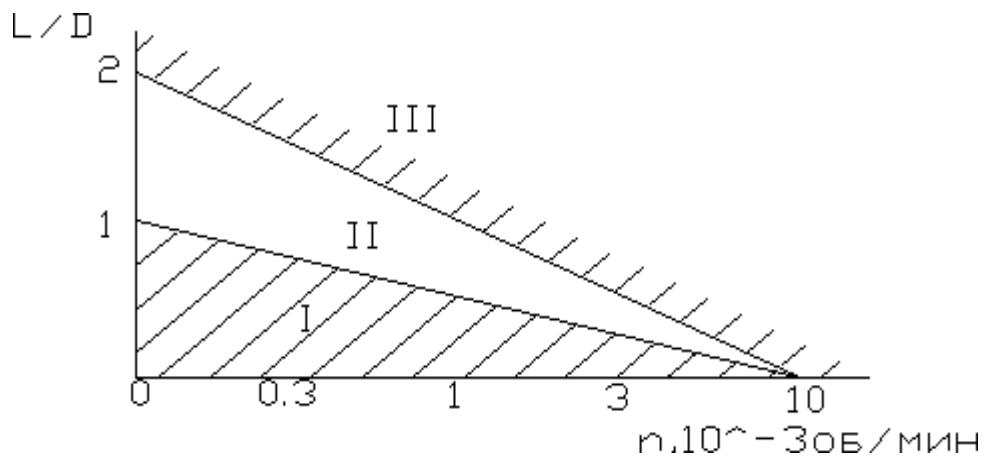


Рис. 6.2. Границы статической и динамической балансировок: I - область статической балансировки; II - промежуточная область; III - область динамической балансировки

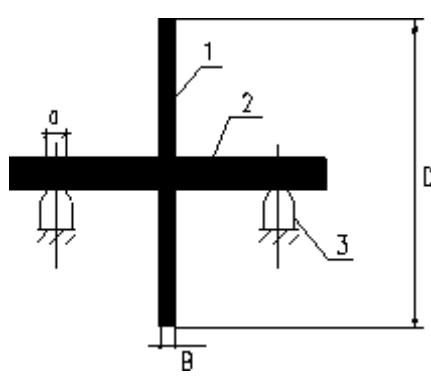


Рис. 6.3. Схема балансировки призмами

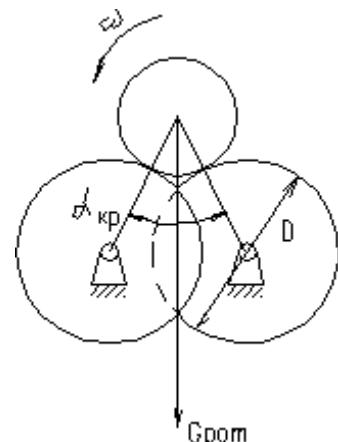


Рис. 6.4. Схема балансировки на дисках

Статическая балансировка основана на стремлении центра тяжести детали занять положение, наиболее низкое из всех возможных. Таким образом, центр тяжести неуравновешенной детали будет размещаться на вертикальном направлении ниже оси вращения. Статическая балансировка осуществляется на специ-

альных приспособлениях – призмах (рис. 6.3) или вращающихся дисках (рис. 6.4).

Балансировка на горизонтальных параллелях (призмах)

При балансировке на призмах вначале устанавливается рама и прочно закрепляется на фундаменте или полу для исключения сотрясений. Затем устанавливаются стальные ножи (призмы). Ножи устанавливаются строго параллельно и горизонтально в продольном и поперечном направлениях с помощью уровня и микрометрических винтов. Длина направляющих (призм) должна быть достаточной для перекатывания по ней балансируемой детали на 2-3 полных оборота. Погрешность установки призм не должна превышать 0,02 мм на 1 метр. Ширина рабочих поверхностей призм (ножей) выбирается следующим образом:

- 0,3 мм для деталей массой до 3 кг;
- 3 мм для деталей массой до 30 кг;
- 10 мм для деталей массой до 300 кг.

Балансируемый ротор плотно насаживается на вал-оправку, концы которого свободно устанавливаются на призмы. Ротор должен иметь собственную ось. При этом на тонкую цапфу необходимо установить выравнивающую втулку (если цапфы разные). Установленному на призмах ротору придается небольшое вращение. Под действием сил тяжести, ротор установится в такоеположение, когда его центр масс окажется снизу. С другой (противоположной) стороны вдоль вертикальной оси надо добавить груз и добиться чтобы, в конце концов, ротор останавливался в безразличном положении за счет варьирования веса груза или расстояния его от оси.

Зная вес грузика и расстояние установки его от оси вращения подсчитывают так называемый статический дисбаланс:

$$G_{\text{пот}} \cdot r_s = G_{\text{гр}} \cdot r_{\text{гр}},$$

где $G_{\text{пот}}$ – масса балансируемой детали и вала оправки;

r_s – расстояние от оси вращения неуравновешенного ротора до центра масс;

$G_{\text{гр}}$ – масса грузика;

$r_{\text{гр}}$ – расстояние от оси вращения ротора до центра масс, прикрепленного к диску ротора грузка.

Заканчивают балансировку пайкой грузка. Массу противо-веса рассчитывают по уравнению:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{гр}} \cdot r_{\text{гр}} / r_{\text{пр}},$$

где $r_{\text{пр}}$ - радиус противовеса, величина которого определяется конструктивным удобством установки противовеса с облегченной стороны ротора.

Часто вместо груза высверливают часть металла на оси со стороны утяжеленной части ротора. Количество высверливаемого материала при сквозном сверлении диска ротора определяется расчетом диаметра сверла по формуле:

$$= \cdot \sqrt{\frac{G_p \cdot r_p}{\pi \cdot B \cdot l \cdot \rho}},$$

где B – толщина ротора в месте сверления;

l – расстояние от центра вращения до геометрической оси ротора;

ρ – плотность материала диска ротора.

Следует помнить, что при таком способе ротор балансируется лишь приближенно так как перекатывание ротора по призмам будет происходить до тех пор пока момент от силы веса

$$M_i = G_{\text{пот}} \cdot r_s \cdot \cos \alpha$$

будет больше момента сопротивления кручению

$$M_t = \delta \cdot G_{\text{пот}},$$

где δ – коэффициент сопротивления при качении.

Приравнивая эти моменты будем иметь:

$$G_{\text{пот}} \cdot r_s \cdot \cos \alpha = \delta \cdot G_{\text{пот}}$$

При $\alpha = 0$ момент от силы тяжести ротора имеет наибольшее значение и при этом $r_s = \delta$. Отсюда следует что если смещение центра тяжести не превышает величины коэффициента сопротивления при качении, то деталь теряет способность перемещаться на призмах. Таким образом, величина δ определяет точность статической балансировки и характеризует чувствительность данной установки. Так как коэффициент δ для сталей равен 0,01 – 0,05 мм, то установить исходное смещение центра тяжести неуравновешенного ротора с помощью подобных установок можно, если оно больше 0,01 – 0,05 мм.

Более точно (с учётом трения качения) балансировка на призмах осуществляется следующим образом. Вначале добиваются безразличного положения оправки с ротором. Далее определяют остаточный дисбаланс из-за сил трения.

Окружность диска делят на 6 – 8 равных частей. У отмеченных делений на роторе, устанавливаемых поочерёдно в горизонтальной плоскости, подвешивают различные грузики, одинаково удалённые от центра, до тех пор, пока ротор не начнёт вращаться на призмах. Вес этих грузиков наносится на диаграмму (рис. 6.5).

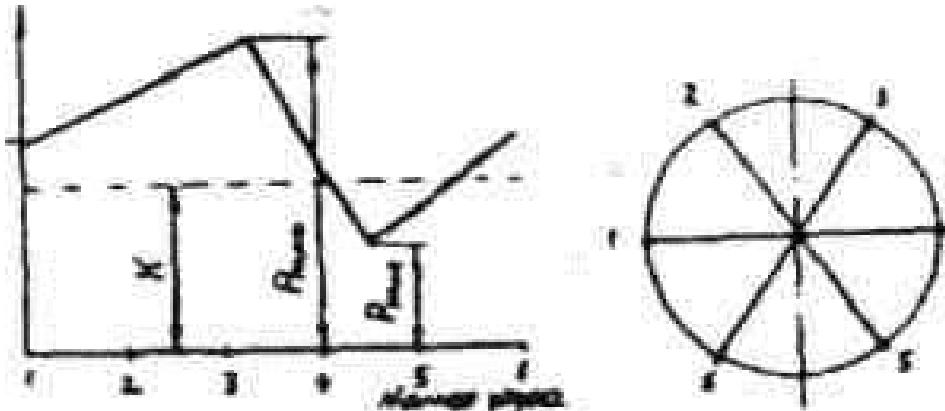


Рис.6.5. Диаграмма для определения места и величины дисбаланса

По кривой (для P_{min}) находят направление центра тяжести диска. Чтобы диск уравновесить, надо в противоположном месте (P_{max}) поставить корректирующий груз:

$$Q = \frac{P_{max} - P_{min}}{2},$$

где Q – величина корректирующего груза.

Величина фактического дисбаланса рабочего колеса находится по формуле:

$$Q_r = \frac{P_{max} - P_{min}}{2} \cdot r,$$

где r – радиус крепления уравновешивающего груза.

Из диаграммы величина K , учитывающая влияние трения качения, будет равна:

$$K = P_{min} + \frac{P_{max} - P_{min}}{2}.$$

Контроль качества статической балансировки включает в себя проверку правильности условий проведения балансировки и контроль остаточной неуравновешенности.

Балансировка на дисках

Процесс балансировки на дисковых установках производится так же как и на призмах, но с большей точностью (за счет того,

что диски снабжены шариковыми подшипниками, в результате чего сопротивление вращению доведено в них до минимума). Точность балансировки зависит от отношения d / D , где d – диаметр шейки ротора. D – диаметр дисков. Чем меньше это соотношение, тем выше точность балансировки. Однако при больших диаметрах дисков появляется опасность заклинивания цапф вала оправки в дисках.

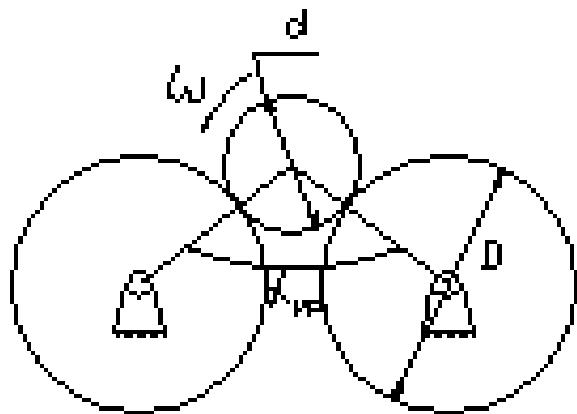


Рис. 6.6. Схема балансировки на дисках

$$\alpha_{xp} = \arctg \frac{1}{f}$$

где α_{xp} – критический угол, при котором вал может заклинить;

f – коэффициент трения скольжения цапф вала по диску.

Для стали $f = 0,15$, тогда $\alpha_{xp} = 81^\circ$. Во избежание заклинивания диски иногда делают разного диаметра.

Динамическая балансировка

Проводится на балансировочных станках при $n < n_0$ рабочей частоты вращения или в собственных опорах ротора при рабочих значениях n . Балансировочный станок имеет станину, привод и опоры с люльками, которые могут колебаться в направлении, перпендикулярном оси балансируемой детали. К люльке присоединяется датчик колебаний. Датчик имеет вибрирующий виброщуп, упирающийся в люльку. Применение находят индукционные пьезоэлектрические, тензометрические, а также оптические методы.

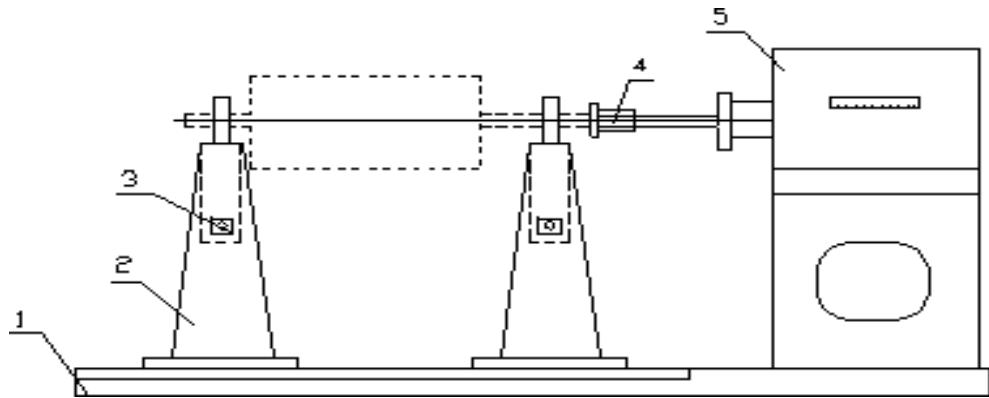


Рис.6.7. Балансировочный станок С 03-1:

1 - станина; 2 - стойка; 3 - датчик; 4 - шарнирная муфта;
5 - шпиндельная бабка (здесь же привод, пульт управления
и измерительные приборы)

Балансировка осуществляется при частоте вращения 700 мин^{-1} . Станины имеют направляющие для перемещения стоек на нужную ширину. Датчик представляет собой неподвижную катушку и подвижный постоянный магнит на плоских пружинах.

Балансировка способом максимальных отметок

Балансировка в собственных опорах проводится, как выше уже было сказано, при рабочей частоте вращения. Для этого у подшипниковых опор выбирают открытые участки вала (длиной 50 – 60 мм), которые покрывают меловой краской. Затем по очереди балансируют левые и правые части вала.

Для определения прогиба к валу в горизонтальной плоскости подносят металлическую чертилку, которая нанесёт на меловую поверхность риску, указывающую направление прогиба вала. Несколько рядом расположенных рисок позволяют найти среднее направление прогиба вала. Однако оно не совпадает с направлением центробежной силы, а отстает на $14 - 45^\circ$ в зависимости от частоты вращения. Поэтому при закреплении уравновешивающих грузов это отставание учитывается. Балансировка считается удовлетворительной, если длина диска приближается к длине окружности шейки вала, то есть риска приближается к круговой. То же самое делается со второй шейкой вала, но при этом частично нарушается балансировка на первой половине и её надо вновь балансировать. Последовательно балансируя несколько раз

обе половины вала добиваются получения рисок близких к круговым. После чего крепят груз.

Качество динамической балансировки оценивается с помощью коэффициента уравновешенности

$$k = \frac{P}{Q_p}$$

где P – динамическая нагрузка на подшипник из-за неуравновешенных центробежных сил;

Q_p – статическая нагрузка от веса ротора.

Если $P \geq Q_p$, то есть $k > 1$, то возникают периодические удары цапфы о подшипник с амплитудой δ (зазор в подшипнике). Такой режим недопустим. При ремонте k должно быть 0,01-0,1.

Принципиальная схема динамической балансировки на балансировочном станке (схема на рис. 6.7.) заключается в последовательном уравновешивании двух (для длинных валов трех) плоскостей балансировки (в качестве плоскости балансировки удобнее всего выбирать торцевые поверхности ротора). С этой целью одна опора закрепляется неподвижно, а другая совершает колебания вместе с колебаниями балансируемой детали.

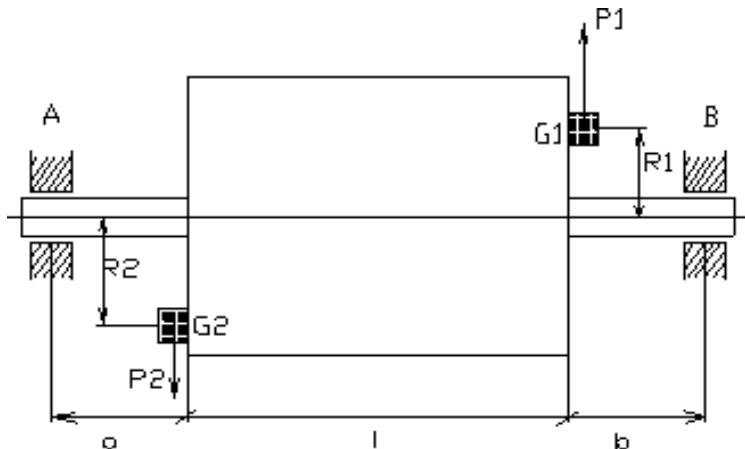


Рис. 6.8. Схема неуравновешенности от пары сил

Например, при закреплении левой опоры колебания правой будут вызываться силами:

$$\frac{P_1}{g} = \underline{\underline{c}}^1 \cdot R_1 \cdot \omega^2; \quad \frac{P_2}{g} = \underline{\underline{c}}^2 \cdot R_2 \cdot \omega^2$$

При этом воздействие силы P_1 на правую опору будет значительным, а воздействие силы P_2 (как более удаленной от этой опоры) слабым, однако при балансировке правой опоры сила P_2 тоже частично учитывается.

При закреплении опоры колебания левой будут вызываться главным образом, силой P_2 и в меньшей степени силой P_1 . При балансировке левой плоскости в основном устраняется влияние на вибрацию силы P_2 , что приводит к незначительному дисбалансу правой опоры. Поэтому процесс динамической балансировки заключается в последовательной балансировке обеих опор до необходимого остаточного дисбаланса.

Пример 1. Ротор центробежного насоса весом $P=150$ Н вращается с частотой $n=3000$ мин⁻¹ и имеет смещение центра тяжести от оси вращения $r=0,5$ мм. Определить максимальную силу, действующую на каждую опору ротора.

Решение.

$$F = \frac{P \cdot \omega^2}{2} \cdot \frac{r}{\pi \cdot n} = \frac{150 \cdot 3,14 \cdot 3000^2}{2 \cdot \pi \cdot 3000} = 50 \text{ Н.}$$

Максимальная сила, действующая на одну опору:

$$F_1 = \frac{P + F}{2} = \frac{150 + 50}{2} = 50 \text{ Н,}$$

то есть центробежная сила в данном примере в несколько раз больше силы тяжести.

Пример 2. Рассчитать допустимую остаточную неуравновешенность детали весом 500 Н, приняв центробежную силу равной 10 % веса детали. Частота вращения детали 3000 мин⁻¹.

Решение.

$$F = \frac{500 \cdot 0,1 \cdot 3,14 \cdot 3000^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 30} \cdot r,$$

отсюда смещение центра тяжести или допустимая остаточная неуравновешенность $r = 10^{-5}$ м = 0,01 мм.

Пример 3. Статическую балансировку детали весом 200 Н с диаметром шеек 40 мм предполагается проводить на призмах с шириной рабочей поверхности 3 мм. Определить пригодность призм для балансировки.

Решение: Напряжение смятия, Па:

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,35 \cdot P \cdot s}{b \cdot d}},$$

где b – ширина рабочей поверхности, м;
 P – нагрузка на единицу ширины призм, Н/м;
 d – диаметр шеек детали, м;
 ε – модуль упругости детали, равный $2 \cdot 10^5$ МПа для углеродистой стали.

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,35 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{11}}{0,003 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}} = , 5 \cdot 10^{-8} \text{ Па.}$$

Так как напряжение смятия на рабочей поверхности меньше допускаемого напряжения, то призмы пригодны.

Контрольные вопросы

- лей?
1. Для чего необходима балансировка вращающихся деталей?
 2. Какие виды неуравновешенности вы знаете?
 3. Изобразите схему статического уравновешивания детали.
 4. Изобразите схему динамического уравновешивания детали.
 5. Изобразите схему действия балансировочного станка.
 6. Перечислите порядок выполнения балансировочных работ.
 7. Назовите способы устранения неуравновешенности.
 8. Что произойдет при неправильном подборе балансировочных грузов?
 9. Какова оптимальная величина угла поворота и как уменьшить угол поворота?
 10. Как производится балансировка деталей на практике?

Порядок выполнения работы

1. Проработать теоретический материал.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Рассмотреть примеры решения задач.
4. Решить задачи 9-11 (Приложение А).

Практическая работа №7

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

Цель работы: изучение методов восстановления деталей и получение навыков по выбору оптимального метода.

Краткие теоретические сведения

Известно, что изношенные поверхности деталей могут быть восстановлены, как правило, несколькими способами. Для обеспечения наилучших экономических показателей в каждом конкретном случае необходимо выбрать наиболее рациональный способ восстановления.

Выбор рационального способа устранения дефекта детали производится в следующей последовательности. Сначала из всего перечня всех способов, уже используемых в ремонтной практике и рекомендуемых к внедрению, производится предварительный отбор нескольких по технологическому и техническому критериям.

По технологическому критерию (критерий применимости) производят отбор способов на основании возможностей их применения для устранения конкретного дефекта заданной детали с учетом величины и характера износа, материала детали и ее конструктивных особенностей. По этому критерию назначают все способы, с помощью которых технологически возможно устраниить заданный дефект. Технологические возможности способов восстановления деталей устанавливают по их характеристикам, которые даны в специальной справочной и технической литературе (табл. 7.1). В таблице 7.1 использованы следующие условные обозначения способов восстановления деталей: НУГ – наплавка в среде углекислого газа; ВДН – вибродуговая наплавка; НСФ – наплавка под слоем флюса; ДМ – дуговая металлизация; ГН – газопламенное напыление; Х – хромирование; Ж – железнение; КП – контактная наварка; РН – ручная наплавка.

По техническому критерию – критерий или коэффициент долговечности – оценивают эксплуатационные свойства детали, восстановленной каждым способом, выбранным по технологи-

ческому критерию. К таким свойствам относят износостойкость восстановленной поверхности, усталостную прочность (выносливость), сцепляемость нанесенных покрытий и другие.

Окончательное решение о выборе рационального способа устранения дефекта детали принимают по технико-экономическому критерию (обобщенный критерий). Он отражает технический уровень применяемой технологии, затраты на восстановление и эксплуатацию детали.

Поскольку расчеты технико-экономических показателей, необходимых для оценки различных способов по данному критерию являются сложными, то можно рассматривать отношение:

$$C_B/K_D \rightarrow \min,$$

где C_B – удельная себестоимость способа устранения дефекта, руб./м²;

K_D – коэффициент долговечности восстановленной детали.

Значение C_B определяется расчетом или принимается по литературным источникам. Однако в условиях финансовой нестабильности экономики можно использовать для расчетов относительные показатели – индексы, характеризующие сравнительный уровень себестоимости восстановления деталей. Для основных способов восстановления деталей они даны в табл. 7.2. При расчетах технико-экономического критерия можно использовать удельную себестоимость восстановления изношенных поверхностей деталей, руб./см² (табл. 7.3).

Наиболее рациональным способом устранения дефекта детали считается тот, для которого отношение удельной себестоимости к долговечности C_B/K_D является минимальным.

Выбранный способ восстановления детали должен быть обеспечен средствами технологического оснащения и удовлетворять экологическим требованиям и требованиям техники безопасности.

После выбора рациональных способов устранения дефектов детали выполняют ее ремонтный чертеж.

Таблица 7.1

Технологические характеристики способов восстановления деталей

Наименование характеристик	Условные обозначения способов восстановления								
	НУГ	ВДН	НСФ	ДМ	ГН	X	Ж	КП	РН
Виды металлов и сплавов, по отношению к которым применим способ	сталь	сталь, ковкий и серый чугун	сталь	все материалы	сталь	сталь, серый чугун	все материалы		
Виды поверхностей, по отношению к которым применим данный способ	наружные цилиндрические, плоские	наружные и внутренние цилиндрические	наружные и внутренние цилиндрические, плоские						
Минимальный наружный диаметр поверхности, мм									
Минимальный внутренний диаметр поверхности, мм	—		—	—	—				
Минимальная толщина наносимого покрытия, мм	0,5	0,5	1,5	0,3	0,3	0,05	0,1	0,1	1,0
Максимальная толщина наносимого покрытия, мм	3,5	3,0	5,0	8,0	1,5	0,3	3,0	1,5	6,0

Таблица 7.2

Технические критерии способов восстановления

Способ восстановления	Значения коэффициентов		
	износостойкости, K_i	выносливости, K_v	сцепляемости, $K_{cц}$
Наплавка в среде углекислого газа	0,85	0,9...1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Наплавки под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Дуговая металлизация	1,0...1,3	0,6...1,1	0,2...0,3
Газопламенное напыление	1,0...1,3	0,6...1,1	0,3...0,4
Плазменное напыление	1,0...1,5	0,7...1,3	0,4...0,5
Железнение	0,9...1,2	0,8	0,65...0,8
Хромирование	1,0...1,3	0,7...1,3	0,4...0,5
Контактная наварка	0,9...1,1	0,8	0,8...0,9
Ручная наплавка	0,9	0,8	0,8...0,9

Примечания

1. Коэффициент долговечности K_d численно принимается равным значению коэффициента, который имеет наименьшую величину.
2. При выборе способов восстановления применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численное значение коэффициента долговечности определяется только численным значением коэффициента износостойкости.

Таблица 7.3

Индексы себестоимости основных способов восстановления деталей (по состоянию на 01.01.2010 г.)

Способ восстановления	Значение индекса себестоимости	Удельная себестоимость восстановления
Наплавка:		
- под флюсом	1,5	1,2...1,4
- в среде газов	1,2	0,6,...0,8
- вибродуговая	2,4	0,8...1,0
Контактная приварка	1,5	0,75...0,85
Гальванические покрытия	1,2	0,04...0,9
Газотермическое напыление	2,6	1,0...1,4
Дуговая металлизация	0,5	0,8...1,2
Полимерные покрытия	0,4	—
Пластическое деформирование	0,8	—

Выбор рационального способа восстановления зависит от конструктивно-технологических особенностей детали (формы и размера, материала и термообработки), от условий ее работы (характера нагрузки, рода и вида трения) и величины износа, а также себестоимости восстановления.

Для учета всех этих факторов рекомендуется последовательно пользоваться тремя критериями:

- технологическим критерием или критерием применимости;
- критерием долговечности;
- технико-экономическим критерием (отношение себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности).

Технологический критерий (критерий применимости) учитывает, с одной стороны, особенности подлежащих восстановлению поверхностей деталей, а с другой технологические возможности соответствующих способов восстановления.

На основании технологических характеристик способов восстановления, устанавливаются возможные способы восстановления различных поверхностей детали по технологическому критерию.

После отбора способов, которые могут быть применены для восстановления той или иной изношенной поверхности детали, исходя из технологических соображений, отбирают те из

них, которые обеспечивают наибольший межремонтный ресурс этих поверхностей, т. е. удовлетворяют требуемому значению коэффициента долговечности.

Коэффициент долговечности в общем случае является функцией трех других компонентов: коэффициента износостойкости, коэффициента выносливости и коэффициента сцепляемости:

$$K_D = f \cdot (K_I \cdot K_V \cdot K_{SC}), \quad (7.2)$$

где K_I – коэффициент износостойкости; K_V – коэффициент выносливости; K_{SC} – коэффициент сцепляемости.

Численные значения коэффициентов-аргументов определяются на основании стендовых и эксплуатационных испытаний новых и восстановленных деталей. Коэффициент долговечности численно принимается равным значению того коэффициента, который имеет наименьшую величину. Из числа способов, отработанных по технологическому критерию, к дальнейшему анализу принимаются те, которые обеспечивают коэффициент долговечности восстановленных поверхностей не менее 0,8.

При выборе способов восстановления применительно к деталям, не испытывающим в процессе работы значительных динамических и знакопеременных нагрузок, численное значение коэффициента долговечности определяется только численным значением коэффициента износостойкости.

Если установлено, что требуемому значению долговечности для данной поверхности детали удовлетворяют два или несколько способов восстановления, то выбор из них оптимального проводится по технико-экономическому показателю, численно равному отношению себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности для этих способов.

Окончательному выбору подлежит тот способ, который обеспечивает минимальное значение этого отношения:

$$K_D = C_V / K_{Dmin}, \quad (7.3)$$

где K_D - коэффициент долговечности восстановленной поверхности;
 C_V - себестоимость восстановления соответствующей поверхности, руб.

При обосновании способов восстановления поверхностей значение себестоимости восстановления C_B определяется из выражения

$$C_B = C_y \cdot S, \quad (7.4)$$

где C_y - удельная себестоимость восстановления, руб./ см^2 ; S - площадь восстанавливаемой поверхности, см^2 .

Пример. Выбрать рациональный способ восстановления шеек коленчатого вала. Исходные данные: диаметры шеек вала: $D_1 = 78,25\text{см}$, $D_2 = 88,25\text{см}$; ширина шеек вала $b_1 = 40 \text{ см}$, $b_2 = 44,1\text{см}$.

По групповой номенклатуре деталей коленчатый вал относится к классу деталей круглые стержни. Детали данного класса характеризуются цилиндрической формой при длине, значительно превышающей их диаметр. Материалом для них чаще всего служит углеродистая или высококачественная легированная сталь. Рабочие поверхности подвергают термической или химико-термической наплавкой, наплавкой под слоем флюса, в среде углекислого газа или электроконтактной приваркой ленты. Рассчитаем стоимость восстановления каждого способа по формуле (7.3), учитывая, что удельная себестоимость восстановления составляет (руб./ см^2): вибродуговая наплавка - 0,8; наплавка под слоем флюса - 1,2; наплавка в среде углекислого газа - 0,6; электроконтактная приварка ленты - 0,85.

Произведем расчет площадей шеек вала, $S_{ш}$, по формуле (всего восстановлению подвергают две шейки):

$$S_{ш} = p \cdot D_i \cdot b_i, \quad (7.5)$$

где D_i – диаметр i -ой шейки;

b_i – ширина i -ой шейки.

$$S_{ш} = 3,14 \cdot (78,25 \cdot 40 + 88,25 \cdot 44,1) = 22048,5 \text{ мм}^2 = 220,485 \text{ см}^2.$$

Рассчитываем стоимость для вибродуговой наплавки $C_{B1} = 220,485 \cdot 0,8 = 176,388 \text{ руб.}$

Для наплавки под слоем флюса

$$C_{B2} = 220,485 \cdot 1,2 = 264,582 \text{ руб.}$$

Для наплавки в среде углекислого газа

$$C_{B3} = 220,485 \cdot 0,6 = 132,291 \text{ руб.}$$

Для электроконтактной приварки ленты

$$C_{B4} = 220,485 \cdot 0,85 = 187,412 \text{ руб.}$$

Целесообразность того или иного метода определим из выражения
7.2.

Для вибродуговой наплавки

$$176,388/0,85 = 208,515 \text{ руб.}$$

Для наплавки под слоем флюса

$$264,582/0,9 = 293,98 \text{ руб.}$$

Для наплавки в среде углекислого газа

$$132,291/0,85 = 155,636 \text{ руб.}$$

Для электроконтактной приварки ленты

$$187,412/0,9 = 208,235 \text{ руб.}$$

Из сделанных расчетов видно, что самыми целесообразными методами восстановления коренных и шатунных шеек коленчатого вала будут наплавка в среде углекислого газа и электроконтактная приварка лентой. При наличии на предприятии оборудования для электроконтактной приварки ленты возможно избежать затрат на приобретение нового оборудования. Поэтому принимаем для восстановления шеек вала электроконтактную приварку ленты.

С точки зрения организации производства, чем меньше количество способов, используемых для восстановления различных изнашиваемых поверхностей детали, тем меньше требуется видового оборудования, выше его загрузка, а, следовательно, и выше эффективность.

Контрольные вопросы

1. В какой последовательности производится выбор рационального способа устранения дефекта детали?
2. Что оценивают по критерию применимости?
3. Что оценивают по коэффициенту долговечности?
4. По какому критерию принимают окончательное решение о выборе рационального способа устранения дефекта детали?
5. От чего зависит выбор рационального способа восстановления?
6. Какой способ восстановления считается наиболее рациональным?
7. Функцией каких параметров оценивается коэффициент долговечности?

Порядок выполнения работы

1. Проработать теоретический материал.
2. Ответить на контрольные вопросы.
3. Получить задание у преподавателя.
4. Выбрать рациональный способ восстановления детали.

Информационное обеспечение обучения

1. Основная литература:

- 1) Гиршберг, М. А. Геодезия : учебник / М. А. Гиршберг. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 384 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-018677-1.
- 2) Илькевич, Н. И. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ : учебное пособие / Н. И. Илькевич. - Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 124 с. - ISBN 978-5-9729-0539-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1835992>

2. Дополнительная литература:

- 1) Авакян, В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ : учебник / В.В. Авакян. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 616 с.
- 2) Коршак, А. А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов : учебник / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 40 с.
<https://znanium.com/catalog/product/10151973>.

Приложение А

Задача 1. Исследовали работу восьми невосстанавливаемых элементов машины. Наработка их до отказа составила, сут.: 22,46, 88, 14, 18, 52, 16, 64. Необходимо вычислить вероятность безотказной работы в течение 35 суток, интенсивность отказов в период между 20 и 40 сутками работы и среднюю наработку до отказов элементов.

Задача 2. В работе редуктора зарегистрировано 10 отказов $r = 10$. Наработки t_i между отказами составили в сутках: 16, 11, 20, 26, 14, 10, 18, 22, 8, 24. Необходимо определить наработку на отказ редуктора и вероятность его безотказной работы в пределах наработки, равной 18 суток.

Задача 3. Необходимо определить параметр потока отказов трех однотипных машин в межремонтный период и между 10 и 15 сутками наблюдения. Межремонтный период составляет 35 суток.

Задача 4. В соответствии с затратами на ремонт узлов, представленными в таблице А.1, провести структурный анализ и определить надежность машины в целом, принимая, что вероятность безотказной работы каждого из десяти узлов составляет $P = 0,95$.

Таблица А.1

Исходные данные по вариантам

Вариант	Затраты на капитальный ремонт	Коэффициент нормированых затрат	Затраты на ремонт узлов Z_i									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	55	0,35	14	56	60	25	18	15	17	16	13	24
1			12	62	63	27	16	14	17	15	13	26
2			13	57	59	24	17	14	16	15	12	23
3	45	0,32	10	53	55	15	14	11	13	12	9	16
4			8	48	50	29	12	11	14	10	9	21
5			9	52	54	16	13	10	12	11	8	27
6	65	0,45	16	73	75	30	20	18	17	19	15	31
7			17	69	71	34	19	20	22	21	18	32
8	52	0,33	12	54	55	18	16	13	14	15	11	19
9			9	58	59	22	12	16	11	15	10	23

Задача 5. Рассчитать число ремонтов компрессоров на основании следующих данных: количество компрессоров – 8, длительность межремонтного цикла – 8640 ч, межремонтный период между капитальными ремонтами – 7130 ч, между текущими – 2169 ч, между РОТ – 720 ч. Фактическое число суток работы в год – 358, число смен – 3, продолжительность смены – 8 ч.

Задача 6. Составить график ППР оборудования по данным, приведенным в таблице А.2.

Таблица А.2

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Оборудование	Компрессор	Сушилка	Автоклав
Время работы между ремонтами, ч:			
- капитальными	7130	14700	8238
- текущими	2160	2880	2880
- РТО	720	720	720
Фактическое число суток работы в год	358	340	335
Число смен	3	3	3
Продолжительность рабочего дня, ч	8	8	8
Время работы оборудования после ремонта к началу года, ч:			
- капитального	5310	12200	7310
- текущего	160	380	1950
- РТО	175	450	360

Задача 7. Определить допустимые износы деталей.

Исходные данные:

- средняя скорость изнашивания втулки по наружному диаметру $W_{вт}=2,6 \cdot 10^{-5}$ мм/мого-ч,
- средняя скорость изнашивания пальца $W_{ин}=1,4 \cdot 10^{-5}$ мм/мого-ч.

Остальные исходные данные приведены в таблице А.3.

Таблица А.3

Исходные данные

Наименование деталей соединений	Размеры деталей по чертежу, мм	Начальный зазор, S_h , мм	Допустимый зазор S_{dp} , мм	Предельный зазор, S_{pr} , мм
Втулка ведущей шестерни	+0,0 0 -0,030	0,040...0,082	0,180	0,280
Палец ведущей шестерни	-0,012			

Задача 8. Составить дефектную ведомость для одной из машин по заданию преподавателя:

1) направленность «Системы нефтегазоснабжения»:

- арматура трубопроводов: задвижка, клапан предохранительный, регулятор расхода;
- резервуары: вертикальный цилиндрический, горизонтальный цилиндрический;
- оборудование для резервуаров: дыхательный клапан, клапан гидравлический предохранительный, хлопушка, пробоотборник, уровнемер.

2) направленность «Транспорт и технологические машины городского хозяйства»:

- легковой автомобиль категории М1;
- автобус категории М2;
- автобус категории М3;
- грузовой автомобиль категории Н1;
- грузовой автомобиль категории Н2;
- грузовой автомобиль категории Н3;

3) направленность «Машины и оборудование жилищно-коммунального хозяйства»:

- автокран;
- машина дорожная комбинированная с поливомоечным оборудованием;
- машина дорожная комбинированная с подметально-уборочным оборудованием;

- машина дорожная комбинированная с пескоразбрасывающим оборудованием;

- мусоровоз с боковой загрузкой кузова;

- мусоровоз с задней загрузкой кузова;

- насос центробежный;

4) направленность «Оборудование нефтегазопереработки»:

- вакуумная колонна;

- ректификационная колонна;

- центробежные насосы;

- теплообменники;

- трубчатая печь;

- роторно-дисковый экстрактор.

5) направленность «Сервис и эксплуатация транспортных и технологических машин городского хозяйства»:

- погрузчик фронтальный;

- экскаватор одноковшовый;

- траншеекопатель;

- бульдозер;

- скрепер;

- автогрейдер;

- асфальтоукладчик;

- каток вибрационный

Задача 9. Ротор центробежного насоса весом $P=250$ Н вращается с частотой $n=4000$ об/мин и имеет смещение центра тяжести от оси вращения $r=0,7$ мм. Определить максимальную силу, действующую на каждую опору ротора.

Задача 10. Рассчитать допустимую остаточную неуравновешенность детали весом 700 Н, приняв центростремительную силу равной 8% веса детали. Частота вращения детали 2700 об/мин.

Задача 11. Статическую балансировку детали весом 180 Н с диаметром шеек 50 мм предполагается проводить на призмах с шириной рабочей поверхности 4 мм. Определить пригодность призм для балансировки.

Выбрать рациональный способ восстановления шеек коленчатого вала. Исходные данные: диаметры шеек вала: $D_1= 84, 25\text{ см}$, $D_2=92,45\text{ см}$; ширина шеек вала $b_1=48,2$ см, $b_2=52$,