

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

М. В. Хомякова

**ДИАГНОСТИКА, РЕМОНТ, МОНТАЖ И СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ для
студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград
Издательство ФГБОУ В «КГТУ»
2022

УДК 621.81

Рецензент

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инжиниринга
технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» О. В. Агеев

Хомякова, М. В.

Диагностика, ремонт, монтаж и сервисное обслуживание оборудования:
учеб.-методич. пособие по выполнению лаб. работ для студ. бакалавриата
по напр. подгот. 15.03.02 Технологические машины и оборудование /
М. В. Хомякова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 71 с.

В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ по
дисциплине «Диагностика, ремонт, монтаж и сервисное обслуживание
оборудования» представлены материалы по подготовке к лабораторным
занятиям, задания по лабораторным работам и вопросы для самоконтроля.

Табл. 33, рис. 20, список лит. – 13 наименований

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к
опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 21
апреля 2022 г., протокол № 4

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ
рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического
материала для использования в учебном процессе методической комиссией
института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» 30 сентября 2022 г., протокол
№ 10

УДК 621.81

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Хомякова М. В., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторная работа № 1. Определение параметров ремонтного цикла.....	7
Лабораторная работа № 2. Оценка надежности работы оборудования.....	14
Лабораторная работа № 3. Расчет такелажных средств при перемещениях и подъеме технологического оборудования.....	18
Лабораторная работа № 4. Составление схемы разборки и дефектации узла.....	24
Лабораторная работа № 5. Центровка валов по изломам и смещениям.....	27
Лабораторная работа № 6. Расшифровка цилиндрических зубчатых колес.....	33
Лабораторная работа № 7. Обмер и определение износа деталей.....	37
Лабораторная работа № 8. Определение ремонтных размеров детали.....	43
Лабораторная работа № 9. Составление схемы смазки узла и агрегата.....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Повышенные требования к уровню подготовки специалистов в области диагностики, монтажа, ремонта и сервисного обслуживания технологического оборудования предприятий связаны с решением задач по созданию, производству и эксплуатации комплексов и систем машин, обеспечивающих переход к полной механизации и автоматизации производственных процессов, расширению выпуска высокоэффективных машин и оборудования, оснащенных роботизированными устройствами и микропроцессорами. Этому будет способствовать расширенная реконструкция и ввод новых производственных мощностей.

Вопросы диагностики, монтажа, ремонта и сервисного обслуживания технологического оборудования предприятий наряду с вопросами, непосредственно относящимися к устройству и эксплуатации, должны являться профилирующими при подготовке специалистов пищевых производств.

Освоение основных правил монтажа, ремонта и сервисного обслуживания технологического оборудования, прогрессивной технологии производства работ, способов технической диагностики, упрочнения и восстановления деталей машин и аппаратов, комплексных систем управления качеством работ – все это позволит будущим специалистам компетентно решать вопросы обеспечения безопасности производства, улучшения технической и коммерческой эксплуатации, совершенствование работы пищевых предприятий, направленной на всемерное повышение эффективности использования технологического оборудования.

Целью лабораторного практикума является формирование умений и навыков по вопросам диагностики, сервисного обслуживания, монтажа и ремонта технологического оборудования агропромышленного и рыбоперерабатывающего комплексов.

Задачами дисциплины являются:

- освоение изучение теоретических основ ремонта;
- освоение системы технического обслуживания и ремонта отраслевого Оборудования, методов и способов восстановления и ремонта;
- формирование навыков по контролю, сборке и приемке оборудования после ремонта;
- освоение методов определения надежности и ремонтпригодности;
- освоение принципов изнашивания и технологии ремонтно-восстановительных работ основного технологического оборудования;
- формирование навыков устранения шума и вибрации, уравнивания колеблющихся масс;
- постижение свойств и принципов выбора смазочных материалов; организации проведения строительно-монтажных и ремонтных работ; особенностей монтажа рыбоперерабатывающего оборудования;

- формирование навыков эксплуатационно-технической оценки надежности оборудования; диагностических признаков состояния оборудования.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны:

уметь:

- составлять техническую документацию для производства монтажных работ;

- дать оценку закономерностям появления дефектов и износа элементов оборудования;

- оформлять дефектные ведомости, заявки на материалы и сметы для ремонта;

владеть:

- методиками организации и проведения сервисного обслуживания оборудования.

На лабораторных занятиях студенты приобретают навыки диагностики, монтажа, ремонта и сервисного обслуживания технологического оборудования, а также закрепляют полученные теоретические знания.

Выполнение и защита лабораторных работ являются неотъемлемой частью аудиторной и самостоятельной работы студентов. Каждая лабораторная работа должна показать степень и глубину усвоения студентами ключевых разделов дисциплины и должна быть оформлена в соответствии с требованиями лабораторного практикума.

Настоящий лабораторный практикум предназначен для оказания практической помощи студентам в выполнении лабораторных работ по дисциплине «Диагностика, ремонт, монтаж и сервисное обслуживание оборудования».

Требования техники безопасности

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Все лица, связанные с лабораторной работой, должны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка, установленные режимы труда и отдыха.

Приборы и инструменты должны использоваться только по прямому назначению.

Лица, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, привлекаются к дисциплинарной ответственности в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и, при необходимости, подвергаются внеочередной проверке знаний норм и правил охраны труда.

Рабочее место должно содержаться в чистоте и порядке, проходы должны быть свободными.

Каждое рабочее место должно быть оснащено:

- исправным технологическим оборудованием, инструментом и принадлежностями;
- технологическими картами и инструкциями.

На рабочих местах запрещено:

- работать студентам, не прошедшим инструктаж;
- пользоваться открытым огнем;
- хранить горюче-смазочные материалы;
- пользоваться неисправным инструментом.

Требования к отчетам по лабораторным работам

1. Работа выполняется аккуратно без помарок и исправлений ручкой или в компьютерном варианте.

2. Отчет должен содержать:

- название работы;
- цель работы;
- порядок выполнения работы;
- чертежи, схемы, диаграммы, таблицы;
- выводы и результаты по выполнению лабораторной работы.

3. Студент в отчете должен ответить на все контрольные вопросы.

На лабораторную работу отводится определенное количество часов по графику. Если обучающийся не успел выполнить лабораторную работу в указанное время, ему следует закончить работу во внеурочное время при согласовании с преподавателем.

После выполнения лабораторной работы студент отчитывается перед преподавателем о полученных результатах.

Дома студент оформляет работу и защищает ее на следующем занятии перед выполнением новой работы. Работа считается зачтенной, если в ней соблюдены все требования к ее оформлению и нет замечаний по ее выводам.

После выполнения всех работ студент получает общий зачет по лабораторным работам и допуск к аттестации по дисциплине.

Студент, не выполнивший изложенные выше требования, не допускается к аттестации до полного выполнения комплекса лабораторных работ, предусмотренных программой.

Лабораторная работа № 1

Определение параметров ремонтного цикла

Цель работы: формирование умений и навыков по составлению оптимальной структуры ремонтного цикла и определению основных его параметров.

Задание: в соответствии с индивидуальным заданием провести оптимизацию структуры ремонтного цикла и определить его основные параметры.

Краткие теоретические сведения

Ремонтный цикл (РЦ) – наименьшие повторяющиеся интервалы времени или наработки оборудования, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации (НТД) все установленные виды ремонта.

Основное содержание РЦ составляют: наработка (календарное время) оборудования, определяемое НТД, виды ремонта и порядок их чередования. Оно определяется Положением о системе ТО и ремонта отраслевого оборудования.

В соответствии с ГОСТ установлены текущий, средний и капитальный ремонты. Положение предусматривает для технологического оборудования либо два, либо три вида ремонта в различных сочетаниях. Неизменным является то, что РЦ всегда заканчивается наиболее сложным видом ремонта, в результате проведения которого оборудованию устанавливается межремонтный ресурс и цикл повторяется снова.

Структура РЦ определяется числом ремонтов, видами ремонта и порядком их чередования. Она должна способствовать сокращению простоев оборудования, повышению надежности работы узлов и деталей машин.

С целью наглядности представления цикла его структура изображается с помощью графа состояния.

Построение графика ремонтного цикла включает следующую последовательность:

- по оси ординат слева откладывается наработка групп деталей, справа указываются виды ремонта;
- по оси абсцисс сверху указывается нумерация групп деталей, внизу номера ремонтов в арифметической последовательности независимо от их вида;
- • – сплошной кружок означает выполнение планового ремонта в соответствии с наработкой деталей;
- о – обведенный кружок означает выполнение непланового (преждевременного) ремонта в соответствии с системой ППР (планово-предупредительного ремонта).

На основании вышесказанного строим график ремонтного цикла 2ТР-СК-КР (предварительный) (рисунок 1).

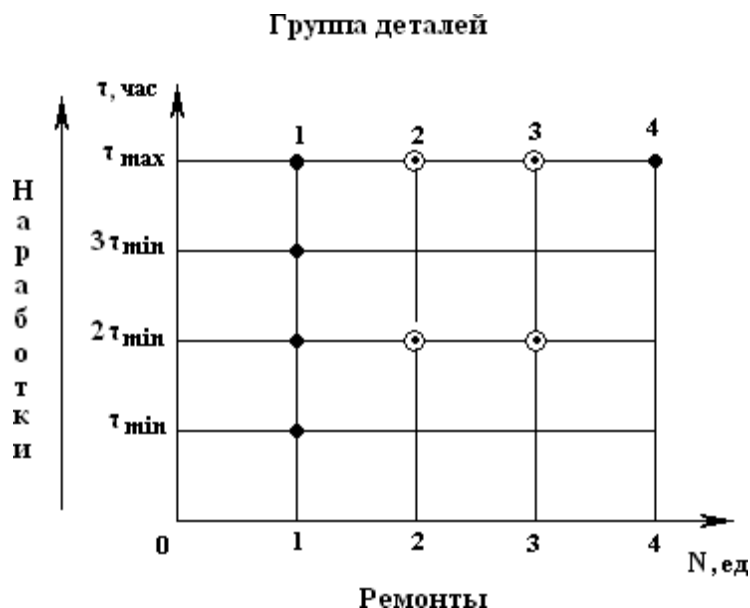


Рисунок 1 – Схема РЦ на предварительном этапе

Построение графа РЦ выполняется в следующей последовательности:

1) 1-я группа деталей имеет наработку до ремонта τ_p^1 поэтому проходит все виды плановых ремонтов, что на вертикальной оси отмечаем сплошными кружками.

$$\tau_p^1 = \tau_{\min}.$$

Суммарное число кружков для этой группы деталей равно:

$$\sum \tau_{p1}^1 = 4.$$

2) Группы деталей проходят два неплановых ремонта и поэтому отмечаются обведенными кружками.

Это связано с тем, что наработка $\tau_p^{2,3} = 3 \cdot \tau_{\min}$. В соответствии с системой ППР, деталь, имеющая ресурс больше наработки, соответствующей проведению более сложного вида ремонта, но меньше самого сложного вида ремонта, проходит указанные виды ремонта. Детали 2 и 3-й группы проходят последовательно средний и капитальный ремонты как внеплановые (не выработавшие установленный ресурс), но как подлежащие ремонту в соответствии со стратегией ППР.

3) 4-я группа деталей имеет наработку $\tau_p^4 = \tau_{\max}$, т. е. соответствующую проведению капитального ремонта, что отмечается сплошным кружком.

В результате построения графа РЦ имеем:

- суммарное число ремонтов: $l_E^p = 9$;
- число неплановых ремонтов: $l_H^p = 4$.

Для ремонтных циклов симметричного вида установлен параметр оптимизации, который имеет аналогичное выражение:

$$L_{\text{рц}} = \frac{l_{\text{н}}^p}{l_{\text{э}}^p}.$$

В нашем примере указанный параметр имеет значение $L_{\text{рц}} = \frac{4}{9} = 0,44$.

Оптимальное значение параметра находится в пределах:

$$0,1 \leq L_{\text{рц}}^{\text{опт}} \leq 0,2,$$

так как $L_{\text{рц}} = 0,44 > L_{\text{рц}}^{\text{опт}} < 0,2$, то расчетный цикл нуждается в оптимизации. Суть процесса оптимизации заключается в определении (установлении) такой наработки для групп деталей, при которой число незапланированных (преждевременных) ремонтов было минимальным, т. е. $l_{\text{н}}^p \rightarrow \min$. Идеальным является условие $l_{\text{н}}^p = 0$, но на практике встречается крайне редко.

При оптимизации необходимо соблюдать следующие правила:

- наработку (ресурс) деталей до 1-го ремонта независимо от его сложности можно только уменьшать;
- число групп деталей с одинаковой наработкой должно быть не более 2 и 3-х, причем это правило начинает действовать с РЦ размером 6×6 , 8×8 и т. д.;
- суммарное число групп деталей при менее сложном ремонте не должно быть больше, чем при более сложном ремонте.

Оптимизация РЦ проводится в несколько этапов, число которых в сложных циклах определить трудно.

В нашем примере на 1-м этапе оптимизации установим $\tau_p^2 = 2 \cdot \tau_{\min}$ и $\tau_p^3 = 3 \cdot \tau_{\min}$. Устанавливать ресурс 3-й группе деталей, равный $2 \cdot \tau_{\min}$ нельзя, так как цикл имеет размер 4×4 , т. е. в одном интервале число групп деталей не может быть больше 1. В соответствии с вышеуказанным имеем

$$\tau_p^1 = 1 \cdot \tau_{\min}; \tau_p^2 = 2 \cdot \tau_{\min}; \tau_p^3 = 3 \cdot \tau_{\min}; \tau_p^4 = 4 \cdot \tau_{\min}.$$

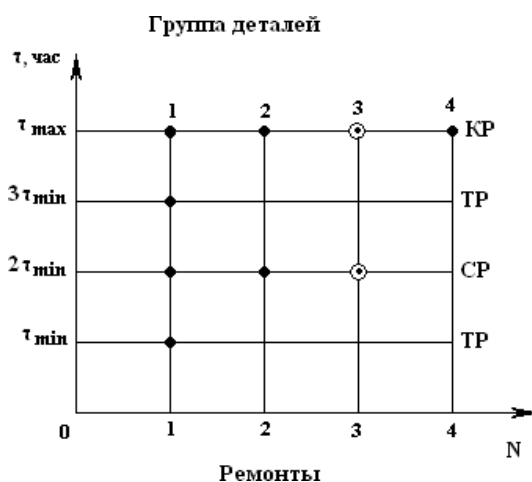


Рисунок 2 – Схема РЦ с учетом изменений

Схема РЦ после 1-го этапа оптимизации:

а) $l_{\Sigma}^p = 9$; $l_{\text{н}}^p = 2$;

б) $L_{\text{рц}} = \frac{2}{9} = 0,22$.

На этом этапе оптимизация заканчивается, так как при таком размере РЦ вариантов для дальнейшей оптимизации практически нет.

Коэффициент технического использования оборудования.

Коэффициент технического использования оборудования определяется отношением времени работы оборудования в течение установленного срока к сумме его работы и времени простоя в связи с ремонтом.

Аналитическое выражение имеет вид:

$$K = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{\text{пр}}} \quad , \quad (1)$$

где τ_p – время работы оборудования; $\tau_{\text{пр}}$ – время простоя оборудования на ремонте.

Преобразуем выражение (1) следующим образом:

$$K_{\text{тн}} = \frac{\tau_p}{\tau_p + \tau_{\text{пр}}} = \frac{1}{1 + \frac{\tau_{\text{пр}}}{\tau_p}} \text{, т. к. } \tau_p > 0.$$

В случае, если $\tau_{\text{пр}} = \tau_p$, то $K_{\text{тн}} = 0,5$. Для того, чтобы $K_{\text{тн}} \geq 0,85$, т. е. оборудование работало эффективно, необходимо, чтобы $\frac{\tau_{\text{пр}}}{\tau_p} \leq 0,176$, т. е. время простоя оборудования на ремонте не должно превышать 17,6 % от времени его работы.

В этом случае можно говорить об эффективности работы оборудования.

Расчет времени работы и простоя оборудования

Время работы оборудования определяется по аналитической зависимости:

$$\tau_p = K_{\text{сут}} \cdot t_{\text{сут}} \cdot n_{\text{сут}}^{\Sigma} \quad , \quad (2)$$

где $K_{\text{сут}}$ – коэффициент суточного использования оборудования; $t_{\text{сут}} = 24$ часа; $n_{\text{сут}}^{\Sigma}$ – суммарное число суток, в течение которых оборудование работало до 1-го ремонта (за месяц, год и т. д.)

С учетом вышесказанного формула (2) примет вид:

$$\tau_p = K_{\text{сут}} \cdot 24 \cdot n_{\text{сут}}^{\Sigma} \text{, час.}$$

Время простоя оборудования на ремонте определяется по формуле:

$$\tau_{\text{пр}} = q_i \cdot \psi \cdot t_{\text{сут}} \quad , \quad (3)$$

где q_i – нормированный коэффициент простоя, зависящий от i -го вида ремонта. При соотношении трудоемкостей ремонтов $KP : CP : TP = 1,0 : 0,5 : 0,25$ коэффициент простоя – $q_{\text{тр}} = 0,25$; $q_{\text{ср}} = 0,5$; $q_{\text{кр}} = 1,0$; ψ – коэффициент

ремонтпригодности оборудования. Величина ψ указывается в Положении о системе ТО и ремонта оборудования; $t_{\text{сут}} = 24$ часа.

С учетом вышесказанного формула (3) преобразуется, и будет иметь вид:

$$t_{\text{пр}} = 24 \cdot \psi \cdot q_i.$$

При определении коэффициента технического использования оборудования при ремонте, время работы оборудования и время простоя определяются с нарастающим итогом.

Коэффициент технического использования оборудования определяется для каждого вида ремонта, после чего строится графическая зависимость $K_{\text{тн}} = f(N)$.

Суммарное число ремонтов для групп деталей и число преждевременных ремонтов

Параметр i_{Σ}^p определяется по формуле: $i_{\Sigma}^p = i_1^p + i_2^p + i_3^p + \dots + i_n^p$.

Параметр $i_n^p = i_{n1}^p + i_{n2}^p + i_{n3}^p + \dots + i_{nn}^p$.

Коэффициент оптимальности ремонтного цикла

Коэффициент $L_{\text{рц}}$ определяется по формуле:

$$L_{\text{рц}} = \frac{i_n^p}{i_{\Sigma}^p}.$$

$0,1 \leq L_{\text{рц}} < 0,2$, условие оптимальности ремонтного цикла.

Определение трудозатрат при выполнении ремонтных работ

Трудоемкость ремонта оборудования определяется по аналитической зависимости:

$$\Phi_1 = \Phi_{\text{усл}}^{\text{м}} \cdot \psi \cdot q_1 + \Phi_{\text{усл}}^{\text{э}} \cdot \psi \cdot q_1, \quad (4)$$

где $\Phi_{\text{усл}}^{\text{м}}$ и $\Phi_{\text{усл}}^{\text{э}}$ – установленная нормативная трудоемкость капитального ремонта условной механической и электрической части оборудования соответственно.

Величина $\Phi_{\text{усл}}^{\text{м}}$ и $\Phi_{\text{усл}}^{\text{э}}$ устанавливаются Положением о системе ТО и ремонта, и имеет значение $\Phi_{\text{усл}}^{\text{м}} = 20 \dots 40$ чел.·час; $\Phi_{\text{усл}}^{\text{э}} = 10 \dots 20$ чел.·час.

Таким образом, трудоемкость текущего, среднего и капитального ремонтов определится по формулам:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{тр}} &= q_{\text{тр}} \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{усл}}^{\text{м}} + q_{\text{тр}} \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{усл}}^{\text{э}}, \\ \Phi_{\text{ср}} &= q_{\text{ср}} \cdot \psi \cdot (\Phi_{\text{усл}}^{\text{м}} + \Phi_{\text{усл}}^{\text{э}}), \\ \Phi_{\text{кр}} &= q_{\text{кр}} \cdot \psi \cdot (\Phi_{\text{усл}}^{\text{м}} + \Phi_{\text{усл}}^{\text{э}}). \end{aligned} \quad (5)$$

В случае если в конструкции оборудования отсутствует электрическая часть, формулы (5) имеют упрощенный вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{тр}} &= q_{\text{тр}} \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{усл}}^{\text{м}}, \\ \Phi_{\text{ср}} &= q_{\text{ср}} \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{усл}}^{\text{м}}, \\ \Phi_{\text{кр}} &= q_{\text{кр}} \cdot \psi \cdot \Phi_{\text{усл}}^{\text{м}}. \end{aligned}$$

Суммарные трудозатраты на ремонт оборудования в течение РЦ равны:

$$\Phi_{\Sigma} = n \cdot \Phi_{mp} + m \cdot \Phi_{cp} + K\Phi_{кр},$$

так как $K = 1$, то

$$\Phi_{\Sigma} = n \cdot \Phi_{mp} + m \cdot \Phi_{cp} + \Phi_{кр},$$

где n и m – число ремонтов текущего и среднего соответственно.

Порядок выполнения работы

В соответствии с исходными данными в таблице 1 провести оптимизацию структуры ремонтного цикла и определить его основные параметры, используя краткие теоретические сведения

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	Периодичность выполнения ремонтов $TP:CP:KP$, мес	Коэффициент сложности, ψ	Нормы простоя оборудования на одну условную единицу ремонтосложности			Нормативная трудоемкость ремонта оборудования, чел.час		Коэффициент суточного использования оборудования, $K_{сут}$
			q_{mp}	q_{cp}	$q_{кр}$	$\Phi_{усл}^M$	$\Phi_{усл}^Э$	
1	1,5 : 6 : 18	10	0,24	0,51	1,01	40	15	0,35
2	4 : 12 : 18	10	0,23	0,52	1,00	30	12	0,40
3	3 : 12 : 36	12	0,21	0,50	0,96	40	10	0,60
4	3 : 18 : 36	8	0,21	0,52	1,01	40	15	0,50
5	4 : 24 : 48	10	0,20	0,52	1,01	35	10	0,66
6	2 : 6 : 24	12	0,24	0,53	1,02	45	15	0,70
7	4 : 12 : 48	9,5	0,21	0,54	1,00	40	10	0,6
8	3 : 18 : 36	8,5	0,25	0,52	1,00	40	15	0,8
9	2 : 12 : 24	9,5	0,23	0,53	0,96	35	15	0,6
10	3 : 9 : 36	9,0	0,24	0,51	1,00	40	10	0,5
11	1,5 : 6 : 18	10	0,25	0,53	0,98	30	10	0,45
12	2 : 12 : 24	10	0,24	0,52	1,00	40	10	0,45
13	3 : 18 : 36	12	0,23	0,51	1,00	30	15	0,50
14	3 : 12 : 36	10	0,24	0,52	1,0	40	10	0,6
15	4 : 24 : 48	9,5	0,25	0,50	1,0	40	15	0,8

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Определение основных параметров РЦ.
3. Выводы по результатам выполнения лабораторной работы.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Определение ремонтного цикла.
2. Правила оптимизации РЦ.
3. Как определяются трудозатраты по видам ремонта?
4. Как определяется формула ремонтного цикла?
5. Структура ремонтного цикла.
6. Как определяется коэффициент технического использования оборудования?
7. Аналитическое выражение коэффициента оптимальности РЦ.

Лабораторная работа № 2

Оценка надежности работы оборудования

Цель работы: формирование умений и навыков по выполнению расчетов вероятностей безотказной работы оборудования технологических производственных линий.

Задание: определить вероятность безотказной работы системы.

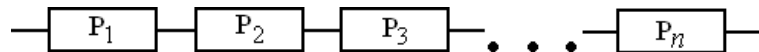
Краткие теоретические сведения

Технологические линии по производству пищевой продукции представляют системы последовательно и параллельно соединенных машин, агрегатов и т. д. (в дальнейшем именуемыми элементами системы). Надежность работы такой системы определяется надежностью каждого составляющего элемента в зависимости от способа соединения. Элементы, составляющие технологическую линию, имеют различные значения вероятности безотказной работы даже в пределах установленного ресурса.

Чтобы обеспечить высокую надежность работы технологической линии применяется дублирование систем или резервирование отдельных элементов.

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы системы определяется произведением вероятностей составляющих ее элементов.

Дана система, состоящая из последовательно соединенных элементов:



$$P_c = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_n; P_c = \prod_{i=1}^n p_i$$

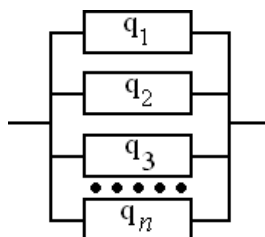
если $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n$, то $P_c = p^n$,

p_1, p_2, p_3, p_n – вероятность безотказной работы элемента.

При параллельном соединении элементов вероятность безотказной работы системы определяется через произведение вероятностей отказа составляющих ее элементов.

Дана система из параллельно соединенных элементов.

$q_1 ; q_2 ; q_3 , \dots q_n$ – вероятность отказа элемента.



Вероятность отказа системы определяется произведением вероятностей отказа каждого элемента:

$$Q_c = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot \dots \cdot q_n = \prod_{i=1}^n q_i,$$

если $q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n$, то $Q_c = q^n$

$P_c = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot \dots \cdot q_n = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2) \cdot (1 - p_3) \cdot \dots \cdot (1 - p_n)$;

если $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n$, то $P_c = 1 - (1 - p_i)^n$.

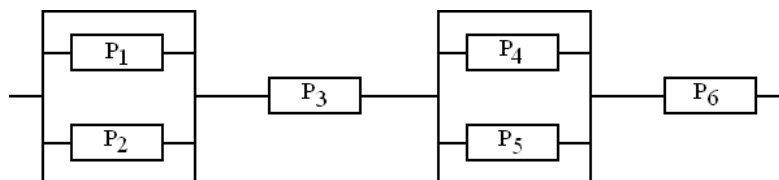
В случае сложной системы (когда последняя состоит из параллельных и последовательно соединенных элементов) для определения вероятности безотказной работы применяют следующую последовательность:

- на 1-м этапе сложную систему приводят к более простой, состоящей только из последовательно соединенных элементов;
- на 2-м этапе определяют вероятность безотказной работы вновь образованных элементов;
- на 3-м этапе определяют вероятности безотказной работы всей системы.

Необходимо отметить, что резервирование системы дает больший эффект, чем дублирование при прочих равных условиях. Поэтому на практике применяют комбинацию дублирования и резервирования системы в зависимости от конструктивных, технологических, эксплуатационных и экономических факторов.

Резервирование элементов может осуществляться не только отдельных машин и оборудования, но и резервирование отдельных деталей и узлов внутри самих машин и механизмов.

Пусть дана система, состоящая из последовательно и параллельно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы каждого элемента P_i .



Необходимо определить вероятность безотказной работы системы P_c .

На 1-м этапе приводим систему к более простой (состоящей из последовательно соединенных элементов)



На 2-м этапе определяем вероятности безотказной работы вновь образованных элементов:

$$p_{1,2} = 1 - Q_{1,2} = 1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2);$$

$$p_{4,5} = 1 - Q_{4,5} = 1 - (1 - p_4) \cdot (1 - p_5).$$

На 3-м этапе определяем вероятность безотказной работы всей системы:

$$P_c = p_{1,2} \cdot p_3 \cdot p_{4,5} \cdot p_6 = \\ = [1 - (1 - p_1) \cdot (1 - p_2)] \cdot p_3 \cdot [1 - (1 - p_4) \cdot (1 - p_5)] \cdot p_6.$$

Порядок выполнения работы

1. Определить вероятность безотказной работы системы в соответствии с индивидуальным заданием (таблица 2).
2. В соответствии с исходными данными определить количество элементов системы, которые необходимо зарезервировать, чтобы $P_c \gg 0,98$.

Таблица 2 – Индивидуальные задания

№ варианта	Система элементов	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
1		0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,95	0,95	0,95
2		0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,85	0,9	0,85
3		0,85	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8	0,9	0,85	0,8
4		0,9	0,85	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8	0,9	0,85
5		0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8	0,9
6		0,9	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95	0,8
7		0,85	0,9	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,85	0,9	0,95
8		0,8	0,85	0,9	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,85	0,9
9		0,9	0,8	0,85	0,9	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8	0,85
10		0,8	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,95	0,8
11		0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,9	0,85	0,95
12		0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,9	0,8	0,95	0,85
13		0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,9	0,8	0,95	0,85	0,9
14		0,95	0,8	0,9	0,85	0,9	0,8	0,95	0,85	0,9	0,8
15		0,8	0,9	0,85	0,9	0,8	0,95	0,85	0,9	0,8	0,95
16		0,9	0,85	0,9	0,8	0,95	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8
17		0,85	0,9	0,8	0,95	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9
18		0,9	0,8	0,95	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85
19		0,8	0,95	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,8
20		0,95	0,85	0,9	0,8	0,95	0,8	0,9	0,85	0,8	0,9

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Определение вероятности безотказной работы системы и количества ее элементов.
3. Выводы по результатам выполнения лабораторной работы.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как определяется вероятность безотказной работы оборудования при последовательном и параллельном соединении элементов?
2. Порядок расчета вероятности безотказной работы сложной системы.
3. Что дает больший эффект: дублирование или резервирование систем?
4. Способы повышения надежности работы систем оборудования.
5. Назовите основные показатели надежности технологического оборудования.

Лабораторная работа № 3
**Расчет такелажных средств при перемещениях и подъеме
технологического оборудования**

Цель работы: формирование умений и навыков по расчету такелажных средств при ремонте оборудования.

Задание: произвести расчет стрелы.

Краткие теоретические сведения

Такелажные операции, выполняемые при ремонте технологического оборудования предприятий пищевой промышленности, подготавливаются и проводятся в строгой технологической последовательности с соблюдением мер безопасности. При этом необходимо знать массу перемещаемого изделия, проверить документацию подъемно-транспортных средств.

1. Определение массы узлов и деталей

Масса поднимаемого груза определяется по:

- паспортным данным;
- предварительному взвешиванию;
- эмпирическим формулам.

Точность измерения не должна превышать 10...15 % массы поднимаемого груза.

Оборудование, содержащее валы, подшипники, червяки либо шнеки с чугунными кожухами, цилиндрами, стальными рамами и т. д.

Масса оборудования определяется по формуле:

$$M = K \cdot V, \text{ кг},$$

где K – коэффициент заполнения кубического метра, $\text{кг}/\text{м}^3$; $K = 700 \dots 2000$, увеличение K связано с уменьшением зазоров и плотностью заполнения объема; V – объем основного оборудования, м^3 .

Центробежные насосы в сборе с электродвигателем на одной общей раме.

Масса определяется по формуле:

$$M = AB \cdot H, \text{ кг}; m,$$

где A, B, H – габаритные размеры агрегата, m .

Насос, отделенный от электродвигателя, имеет массу

$$M = K \cdot L, \text{ кг},$$

где $K = 1,5 \dots 3,5 \text{ кг}/\text{см}$, K увеличивается с увеличением ступеней насоса; L – габаритная длина насоса, см .

Поршневые компрессоры.

Масса определяется по эмпирической зависимости:

$$M = K \cdot A \cdot H \cdot L, \text{ кг},$$

где K – коэффициент мощности двигателя компрессора, кг/м^3 ,
 K определяется по таблице 3; A, H, L – габаритные размеры компрессора, м .

Таблица 3

$P, \text{ кВт}$	≤ 15	25...60	80..100	100..250	> 300
$K, \text{ кг/м}^3$	1000	550	400	350	250

Электродвигатели.

Масса асинхронных двигателей определяется по формуле

$$M = K \cdot W, \text{ кг},$$

где K – коэффициент, определяемый по таблице 4; W – мощность электродвигателя.

Таблица 4

Мощность, кВт	Величина K , в зависимости от частоты вращения электродвигателя, мин^{-1}			
	750	1000	1500	3000
10...20	25...35	12...18	10...16	8...14
20...40	18...25	10...16	8...14	5...8
75	–	10...15	8...12	5...8
1000...125	–	–	6...10	5...8
250	–	–	5...8	4...6

2. Расчет стрелы (рисунок 3)

Задача расчета заключается в определении расчетных напряжений в среднем сечении стрелы σ_p , которое сравнивается с допускаемым $[\sigma]$.

Необходимо при расчете выполнение условия $\sigma_p \leq [\sigma] = 125 \text{ МПа}$.

При расчете принимаем, что усилие на подвеске верхнего блока полиспаста подъема груза P с учетом коэффициента динамичности и собственной массы определяется по формуле:

$$P = K \cdot Q,$$

где Q – масса поднимаемого груза; K – коэффициент динамичности, $K = 1,4 \dots 1,5$.

Поворотные стрелы, крепящиеся к железобетонным конструкциям здания, являются основным опорным сооружением при выполнении такелажных работ.

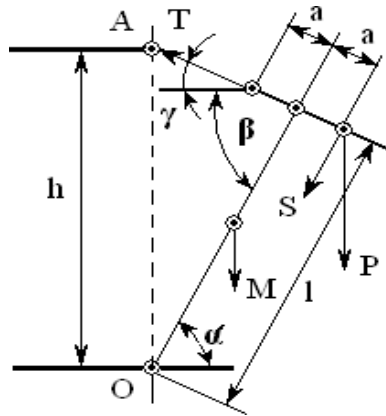


Рисунок 3 – Расчетная схема стрелы:

M – масса стрелы (кг); l – длина стрелы (см);

α, β, γ – соответствующие углы (град); a – плечо от точки крепления полиспаста до оси стрелы (см); n – число ниток в полиспасте подъема груза

Определяем нагрузку на полиспаст подъема груза

$$T = \frac{M \cdot \frac{1}{2} \cos \alpha + P \left(l \cdot \cos \alpha + a \cdot \sin \alpha + \frac{a}{0,9n} \right)}{l \cdot \sin \beta + a \cdot \cos \beta}.$$

Полное усилие S определяется по формуле

$$S = P \sin \alpha + T \cos \beta + \frac{P}{0,9z},$$

где z – число ниток в полиспасте подъема.

Определяем изгибающий момент, действующий в среднем сечении стрелы по формуле:

$$M_{из} = \frac{P \cdot a}{0,9z} + M \cos \alpha \frac{1}{8} + P \cos \alpha \frac{1}{2} + P \cdot a \sin \alpha - T \cdot a \cos \beta - T \frac{1}{2} \sin \beta.$$

Определяем суммарное напряжение в среднем сечении стрелы по формуле:

$$\sigma_p = \frac{S}{F \cdot \varphi} + \frac{M \sin \alpha}{F \cdot \varphi} + \frac{M_{из}}{W},$$

где F – площадь поперечного сечения стрелы, см^2 ; φ – коэффициент, учитывающий продольный изгиб; W – момент сопротивления сечения стрелы, см^3 .

Сравниваем σ_p с $[\sigma]$.

Необходимо, чтобы $\sigma_p \leq [\sigma] = 125 \text{ МПа} = 1250 \text{ кг/см}^2$.

При $\sigma_p \geq [\sigma]$ следует подобрать стрелу большего сечения.

Использование расчетных данных:

а) По усилию T определяем возможность использования колонны здания для восприятия усилий.

б) Исходя из паспортной грузоподъемности лебедки Γ_r определяют число ниток и подбирают трос для оснастки полиспаста (округляя до целого числа) $n \approx \frac{T}{\Gamma_r}$.

Расчет мачты (рисунок 4)

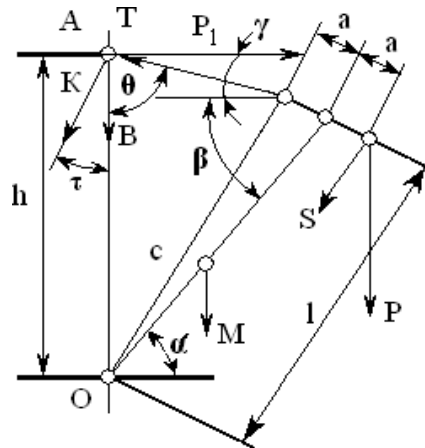


Рисунок 4 – Расчетная схема мачты

Если от стрелы на элементы здания передаются усилия такой величины, которые являются недопустимыми для данного здания, то устанавливается специальная мачта, на которую передаются усилия T и S .

Определяем усилие, приложенное к головке мачты по формуле:

$$P_1 = \frac{T}{\cos \theta}.$$

Усилия, передаваемые на пята мачты в горизонтальном направлении, равны:

$$A = S \cdot \cos \theta.$$

Определяем натяжение расчалки по формуле:

$$K = \frac{P_1 \sin \theta}{\sin \tau}.$$

Вертикальное усилие определится по зависимости

$$B = P_1 \cdot \cos \theta + K \cdot \cos \tau.$$

Изгибающий момент от вне центрального приложения нагрузки к головке мачты равен:

$$M_1 = P_1 \cdot l \cdot \cos \theta.$$

Суммарное напряжение в мачте определяется по формуле

$$\sigma_p = \frac{B}{F \cdot \varphi} + \frac{M_1}{W}.$$

По натяжению К подбираем диаметр расчалки:

$$d = \sqrt{\frac{K}{1000}}, \text{ см.}$$

Сравниваем σ_p с $[\sigma]$:

$$\sigma_p \leq [\sigma] = 125 \text{ МПа.}$$

Порядок выполнения работы

Произвести расчет стрелы в соответствии с расчетной схемой (см. рисунок 3) по данным из таблицы 5.

Таблица 5 – Данные для расчета стрелы

№ п/п	Масса груза Q,, кг	Углы в расчетных схемах, град					Длина трубы l, м	Коэффициент K	Плечов полиспасте, см
		α	β	θ	τ	γ			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1000	30	40	80	40	10		1,5	10
2	1500	30	40	80	60	10		1,4	15
3	2000	40	55	75	45	15		1,5	10
4	1000	40	60	70	60	20		1,4	15
5	3000	50	65	75	45	15		1,5	15
6	2000	50	70	70	60	20		1,4	10
7	2500	60	70	80	40	10		1,5	10
8	1000	60	70	80	40	10		1,5	10
9	1000	70	80	80	40	10		1,4	15
10	1500	70	80	80	40	10		1,5	10
11	1000	70	80	80	40	10		1,5	10
12	2000	70	80	80	40	10		1,5	15
13	2500	40	50	80	40	10		1,5	15
14	1000	50	65	75	65	15		1,5	10
15	2000	60	70	80	40	10		1,4	10

Число ниток в полиспасте подъема груза $n = 4 \dots 6$.

Грузоподъемность лебедки определяется по эмпирической зависимости

$$\Gamma_r = \frac{T}{n}.$$

Трос подбирается из условия $\frac{T}{n}$.

M определяется по формуле $M = l \cdot \mu$, причем l и μ берутся из таблиц 6 и 7.

Таблица 6 – Расчетные данные для стальных стрел из труб без усиления

Размеры трубы, мм		$F,$ $см^2$	$W,$ $см^2$	$\mu, кг/м$	Коэффициент φ при длине, м				
d_n	δ				8	10	14	18	20
159	4,5	21,8	82,5	17,15	0,23	0,23	–	–	–
219	7	47,1	242	36,6	0,52	0,37	0,21	–	–
273	8	67,9	430	59,3	0,64	0,51	0,4	0,2	–
325	8	79,9	613	62,5	0,73	0,63	0,43	0,28	0,24
377	8	92,5	830	72,8	–	0,70	0,52	0,36	0,3

где d_n – наружный диаметр трубы; δ – толщина стенки; μ – масса 1 погонного метра трубы; φ – коэффициент, учитывающий продольный изгиб.

Таблица 7 – Расчетные данные для стальных стрел, усиленных приваркой 4-х уголков $100 \times 100 \times 10$

Размеры трубы, мм		$F,$ $см^2$	$W,$ $см^2$	$\mu, кг/м$	Коэффициент φ при длине, м				
d_n	δ				8	10	14	18	20
159	4,5	98,6	373	17,6	0,32	–	–	–	–
219	7	123,9	557	96,5	0,48	0,28	–	–	–
273	8	144,7	800	114	0,59	0,38	0,25	0,21	–
325	8	156,5	1050	123	0,68	0,49	0,33	0,28	0,23
377	8	169,3	1350	133	0,47	0,58	0,42	0,35	0,26

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчет стрелы.
3. Выводы по результатам выполнения лабораторной работы.
4. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. С какой точностью определяется масса груза при выполнении такелажных работ?
2. Способы определения массы перемещаемого груза.
3. В каких случаях в расчетных схемах применяют мачты?
4. Выигрыш в силе при применении полиспастов.

Лабораторная работа № 4

Составление схемы разборки и дефектации узла

Цель работы: формирование умений и навыков разборки узла и дефектации узла.

Задание: произвести разборку узла, дефектацию его деталей и дать заключение о состоянии предложенного узла.

Краткие теоретические сведения

Технологический процесс разборки определяется видом ремонта (текущий, средний, капитальный) и конструкцией механизма. Каждому виду ремонта соответствует определенный объем разборочных работ.

В большинстве случаев разборку следует начинать со снятия ограждения, крышек, закрывающих доступ к разбираемым узлам. Затем снимаются цепные и ременные передачи, расчленяются машины на узлы, демонтируются отдельные детали, связанные или крепящие узлы. Узлы снимаются по возможности нерасчлененными, так как их можно разобрать на отдельном рабочем месте. После этого отвинчивают болты, шпильки, гайки, распрессовывают штифты, удаляют шплинты. В первую очередь следует снимать контрольные штифты и шпильки, определяющие первоначальную точность основной детали узла.

Для разборки и сборки редуктора и его узлов необходимо применять специальные инструменты и приспособления.

Перед разборкой редуктора необходимо обеспечить:

- место для укладки деталей;
- измерительный и рабочий инструмент;
- расходный и притирочный материал;
- замерить необходимые зазоры.

При разборке редуктора следует:

- проверить и при необходимости восстановить маркировку деталей;
- снятые узлы и детали тщательно очистить и осмотреть с целью выявления износа, трещин, задиров, следов коррозии и других дефектов.

Для контроля состояния узлов и деталей применяют лупу, мелокеросиновую пробу, дефектоскопию.

При сборке зубчатых колес необходимо обеспечить нормальные боковой и радиальный зазоры для предотвращения заклинивания зубьев вследствие нагрева передачи и правильное зацепление зубьев. Сборку зубчатых передач начинают с проверки взаимного положения валов и осей передачи. Соосность посадочных мест под подшипники валов проверяют линейкой с уровнем (рисунок 5), параллельность валов (межцентровое расстояние) штихмассом.

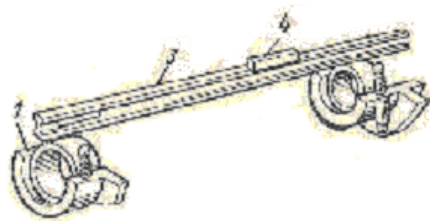


Рисунок 5 – Линейка с уровнем

Посадку зубчатых колес на вал производят с небольшим натягом, торцовое биение должно быть в пределах 0,1–0,15 мм. Радиальный и боковой зазоры проверяют с помощью щупа или свинцовой проволоки (рисунок 6).



Рисунок 6 – Проверка радиального и бокового зазоров с помощью проволоки

Заканчивают проверку зубчатого зацепления осмотром отпечатков краски в местах контакта зубьев.

Не допускается перекоса и перенапряжения деталей.

Порядок выполнения работы

1. Установить редуктор на рабочее место.
2. Разобрать редуктор, замерив толщину прокладок под крышкой и величину запаса на регулировку осевого зазора в конических подшипниках.
3. Произвести подетальную дефектацию, результаты отразить в таблице.
4. Собрать редуктор, произведя проверку зубчатого зацепления.

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы и применяемое оборудование.
2. Описание редуктора.
3. Результаты измерений занести в таблицу 8.

Таблица 8 – Дефектная ведомость на капитальный ремонт редуктора

Наименование узла, детали	Кол-во деталей	Действительный размер	Описание дефекта	Наименование работ при ремонте	Примечание
1	2	3	4	5	6

4. Дать заключение о состоянии редуктора.

Контрольные вопросы

1. В каком случае производится выбраковка деталей?
2. Перечислить отличие объема работ по разборке узла при различных видах ремонта.
3. Основные параметры, характеризующие качество сборки узлов.
4. Назовите причины износа деталей узла и способы его уменьшения.

Лабораторная работа № 5

Центровка валов по изломам и смещениям

Цель работы: формирование умений и навыков освоения методов центровки валов.

Задание: изучить существующие методы центровки валов. Произвести замеры расцентровки валов при помощи линейки и щупа и при помощи пары стрел.

Краткие теоретические сведения

Совпадение осей двух машин или осей двух и более узлов одной машины, а также совпадение осей двух или нескольких деталей одной машины или узла называется *соосностью*.

Вследствие ошибок и неточностей монтажа наблюдаются отклонения от соосности. Оси могут пересекаться под некоторым углом или смещаться параллельно относительно друг друга на некоторую величину. В большинстве случаев наблюдаются оба вида смещения.

В повседневной практической работе механикам часто приходится сталкиваться с центровкой валов. Спаривание механизмов, проверка положения линии вала, а в некоторых случаях и его центровка, делают необходимыми применение простейших способов центровки. Технические условия на сборку муфт приведены в таблице 9.

Перед началом работ по центровке электродвигателя или редуктора с валом машины проверяют плотность прилегания опорных частей станины машины к основанию строительной конструкции (рамы) при незатянутых болтах, а также контролируют горизонтальность ведомого вала машины и вала электродвигателя (редуктора), которые будут соединены посредством муфты.

Таблица 9 – Допуски на сборку муфт (в мм)

Диаметр муфты, мм	Излом, i , на 100 мм длины	Смещение, e , мм
100 – 300	0,08	0,1
300 – 500	0,12	0,2

Под смещением понимается отклонение в радиальном направлении оси одного вала относительно оси другого в вертикальной или горизонтальной плоскости (рисунок 7).

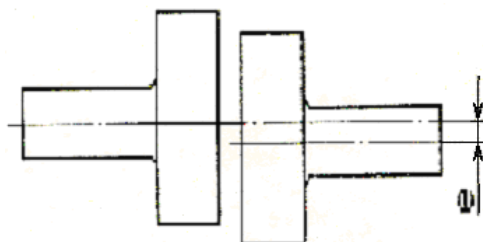


Рисунок 7 – Смещение вала

Под изломом понимается отклонение от параллельности осевых линий валов (рисунок 8). Излом измеряется в миллиметрах на метр длины вала.

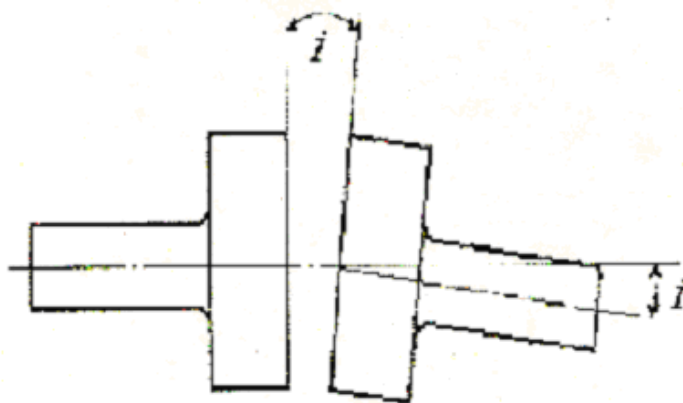


Рисунок 8 – Излом вала

Центровку полумуфт выполняют с помощью угольников, линейки и щупа и с помощью стрелок.

При определении смещения с помощью линейки и щупа точность получается меньшей, чем при измерении с помощью стрелок, особенно при небольших диаметрах фланцев, однако на практике такая точность измерений достаточна, и благодаря простоте, способ широко применим. Кроме того, им можно определить биение торцовых поверхностей.

При способе измерения смещений парой стрелок имеются свои преимущества: это большая точность определения излома за счет увеличения расстояний между точками измерений, так как диаметр фланца заведомо меньше диаметра разноса парных стрелок, кроме того, на точность измерения не влияет состояние поверхностей фланцев и точность их изготовления. К недостаткам следует отнести невозможность проверки биения торцовых поверхностей соединяемых фланцев и малая производительность.

Зазоры проверяют в каждом из четырех положений вала, поворачиваемого от начального положения на 90, 180 и 270° по направлению вращения вала машины. В каждом положении проводят по одному замеру радиального зазора (по окружности полумуфт) и четыре замера осевого зазора (между торцовыми поверхностями полумуфт) в диаметрально противоположных точках (рисунок 9). Сумма величин зазоров на каждом диаметральнопротивоположном направлении должны быть равны:

$$a_{\text{в}} + a_{\text{н}} = a_{\text{л}} + a_{\text{п}} \quad b_{\text{в}} + b_{\text{н}} = b_{\text{л}} + b_{\text{п}},$$

где $a_{\text{в}}, a_{\text{н}}, a_{\text{л}}, a_{\text{п}}$ – радиальные зазоры, мм; 0

$b_{\text{в}}, b_{\text{н}}, b_{\text{л}}, b_{\text{п}}$ – осевые зазоры, мм.



Рисунок 9 – Замер радиального зазора

При центровке валов с допущенной несоосностью при сборке (состоящих из трубовалов и шнеков) следует также определить величины необходимых перемещений опор валов в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

При повороте валов на 0, 90, 180 и 270° (рисунок 9) измеряют радиальные и осевые зазоры, вычисленные средние значения из четырех измерений записывают в таблицу 10.

Порядок выполнения работы

1. Определение смещений и изломов при помощи линейки и щупа.

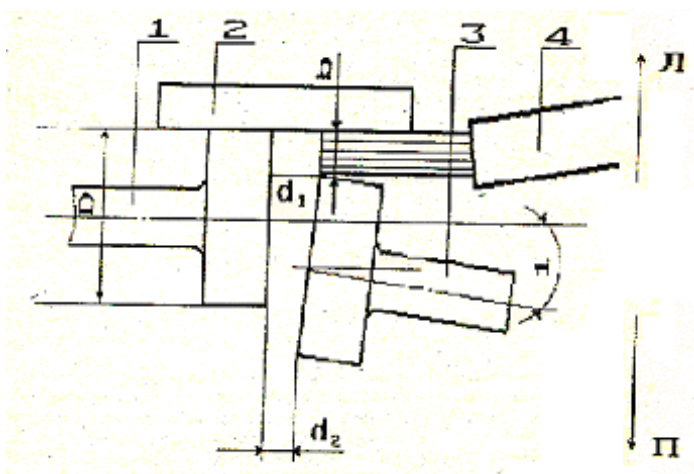


Рисунок 10 – Схема замера

2. Измерить диаметры соединяемых фланцев.
3. Наложить линейку на выдающийся фланец в верхней точке и щупом измерить зазор $b_в$.
4. Наложить линейку в нижней точке и определить $b_н$.
5. Определить зазоры в правой и левой точках $b_{нр}$ и $b_{л}$.
6. Щупом измерить зазор между фланцами в четырех точках: $d_в$, $d_н$, $d_л$ и $d_п$.
7. Повторить все измерения.
8. Вычислить средние значения зазоров из четырех измерений.

Данные замеров занести в таблицу 10.

Таблица 10 – Данные замеров

Место замера	Величина зазора				Среднее значение зазора, b_i ср
	1 положение	2 положение	3 положение	4 положение	
Верх					
Низ					
Лево					
Право					

9. Определить смещение вала в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Смещение вала в вертикальной плоскости:

$$e_{\text{верт}} = \frac{b_{\text{верх}} - b_{\text{низ}}}{2}.$$

Смещение вала в горизонтальной плоскости:

$$e_{\text{гориз}} = \frac{b_{\text{п}} - b_{\text{л}}}{2}.$$

10. Определить изломы осей валов. Излом в вертикальной плоскости:

$$i_{\text{верт}} = \frac{d_{\text{в}} - d_{\text{н}}}{D}, \text{ мм/м.}$$

Излом в горизонтальной плоскости:

$$i_{\text{гориз}} = \frac{d_{\text{п}} - d_{\text{л}}}{D}, \text{ мм/м.}$$

11. Определение смещений и изломов при помощи стрелок.

Привернуть на каждое соединение две пары стрелок (рисунок 11).

Совместить маркировочные метки на фланцах и установить стрелки в вертикальной плоскости.

Произвести измерение зазоров на первой и второй парах стрелок (рисунок 11).

Совместно провернуть валы на 180° и повторить измерения.

Данные измерений занести в таблицу 11.

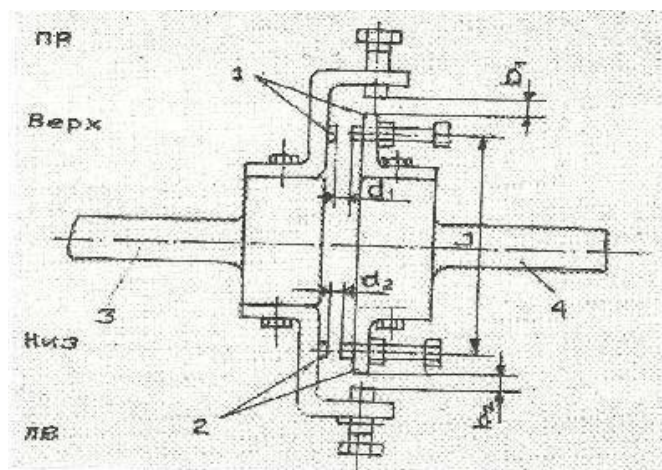


Рисунок 11:

1 – первая пара стрелок; 2 – вторая пара стрелок; 3 – первый вал;
4 – второй вал

Таблица 11 – Данные измерений

Место замера	Зазоры у стрел		Сумма зазоров	Разность сумм зазоров
	№ 1	№ 2		
Верх				
Низ				
Право				
Лево				

12. Рассчитать смещение по формулам:

$$e_{\text{верт}} = \frac{\sum b_{\text{верх}} - \sum b_{\text{низ}}}{4}, \text{ мм},$$

$$e_{\text{гориз}} = \frac{\sum b_{\text{лев}} - \sum b_{\text{пр}}}{4}, \text{ мм},$$

где $\sum b_{\text{верх}}$ и $\sum b_{\text{низ}}$ – сумма зазоров на первой и второй парах стрелок в их верхнем и нижнем положении соответственно; $\sum b_{\text{лев}} - \sum b_{\text{пр}}$ – сумма зазоров на первой и второй парах стрелок в положении слева и справа соответственно, если смотреть со стороны вала машины.

13. Рассчитать излом валов:

$$i_{\text{верт}} = \frac{\sum b_{\text{верх}} - \sum b_{\text{низ}}}{2L}, \text{ мм},$$

$$i_{\text{гориз}} = \frac{\sum b_{\text{лев}} - \sum b_{\text{пр}}}{2L}, \text{ мм},$$

где $\sum b_{\text{верх}}$ и $\sum b_{\text{низ}}$ – сумма зазоров на первой и второй паре стрелок в верхнем и нижнем положении в начальном положении валов и после совместного поворота валов на 180° ; $\sum b_{\text{лев}} - \sum b_{\text{пр}}$ – сумма радиальных

зазоров на первой и второй паре стрелок в верхнем и нижнем положении в начальном положении валов и после совместного поворота валов на 180° ; L – диаметр разноса парных стрелок, мм.

14. Определение биения торцовых поверхностей.

Для определения биения торцовых поверхностей необходимо один вал повернуть относительно другого на 180° и измерить зазоры между фланцами валов в диаметрально противоположных точках. Сравнение зазоров укажет на наличие торцового биения фланца. Оно будет равно половине разности. Биение будет на том фланце, при вращении которого изменяются результаты замеров.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Эскиз лабораторной установки.
3. Результаты обмеров занести в таблицы 10 и 11 и выполнить необходимые расчеты.
4. Выводы с указанием возможных причин неисправности и рекомендации по возможным методам исправления отклонения.

Контрольные вопросы:

1. Как проявляется при работе механизмов нарушение центровки (е и i больше нормы)?
2. Перечислить основные достоинства и недостатки центровки валов с помощью щупа и линейки.
3. Перечислить основные достоинства и недостатки центровки валов с помощью пары стрелок.
4. Перечислить основные измерения, которые должны быть выполнены при монтаже валов.

Лабораторная работа № 6

Расшифровка цилиндрических зубчатых колес

Цель работы: формирование умений и навыков расшифровки пары зубчатых колес на основании натуральных обмеров и геометрического расчета.

Задание: произвести натуральный обмер зубчатого колеса, определить систему зацепления и основные параметры зубчатого колеса.

Краткие теоретические сведения

Зубчатые передачи широко применяют в технологическом и подъемно-транспортном оборудовании, различного рода машинах, устройствах, приборах и т. д. Причем, при ремонте зубчатых передач нередко приходится сталкиваться с необходимостью изготовления только одного из колес пары.

Для этого необходимо в первую очередь определить систему зацепления и основные параметры зубчатых колес, а именно: модуль зацепления m , угол профиля исходного контура α , высотные пропорции зубьев h_a^* – коэффициент высоты зуба, c^* – коэффициент радиального зазора и коэффициент смещения χ , а для косозубых и шевронных колес – кроме того, угол наклона линии зуба (по делительному цилиндру) β .

Под исходным контуром цилиндрических зубчатых колес понимается контур зубьев номинальной исходной зубчатой рейки в сечении плоскостью, перпендикулярной ее делительной плоскости. Различают торцовый, осевой или нормальный исходные контуры (соответственно в торцовом, осевом или нормальном сечениях рейки). Обычно стандартным является нормальный исходный контур.

Параметры исходного контура определяются модулем m , углом профиля зуба α , коэффициентом высоты головки зуба h_a^* радиального зазора c^* и радиуса переходной кривой ρ_f^* (рисунок 12).

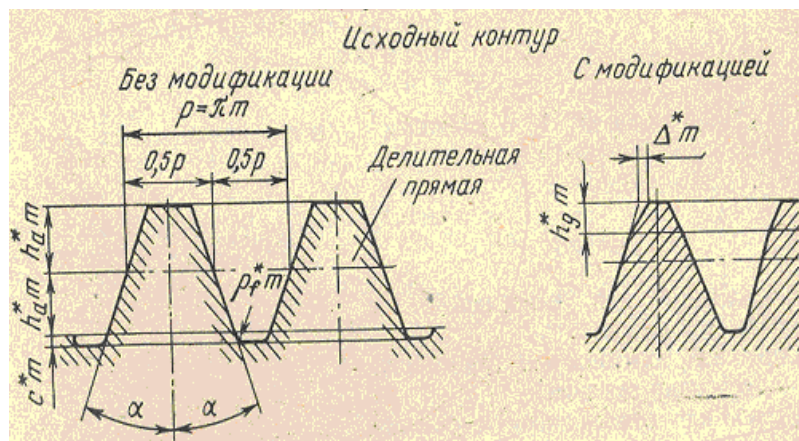


Рисунок 12 – Исходный контур

Порядок выполнения работы

1. Произвести измерение межосевого расстояния (рисунок 13):

$$a_{\omega M} = X + 0,5(D_1 + D_2) = Y - 0,5(D_1 + D_2).$$

2. С точностью до 0,02 мм измерить осевой шаг P_{xm} .

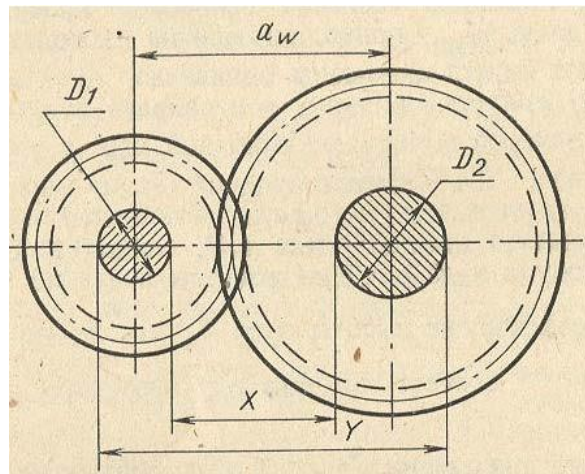


Рисунок 13 – Измерение осевого шага

3. Натурными обмерами определить:

- число зубьев z ;
- диаметр вершин зубьев d_{am} ;
- диаметр впадин d_{fm} ;
- высоту зуба по формуле: $h_m = \pm (d_{am} - d_{fm})$.

4. Замерить щупом боковой зазор в передаче j_{nm} и оценить его долю λj_{nm} , приходящуюся на измеряемое колесо: если оба сопряженных колеса изношены одинаково, то $\lambda=0,5$; если измеряемое колесо изношено больше, чем сопрягаемое, то $\lambda=0,8 - 0,9$ (рисунок 14).

5. Приблизленно определить угол наклона линии зуба на делительном цилиндре β_m . Вычислить условное число зубьев $z_K = zK$, приняв значение коэффициента K (таблица 1, приложение).

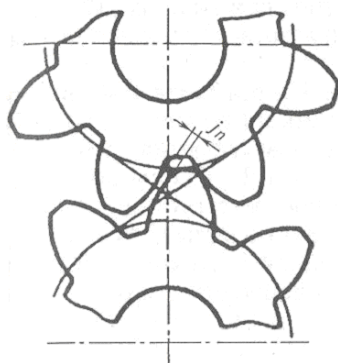


Рисунок 14 – Определение бокового зазора в передаче

6. Определить длину общей нормали W_m при охвате z_n зубьев и W' при охвате $(z_n - 1)$ зубьев с точностью до 0,02 мм. В случае, когда необходимо определить систему зацепления и угол α неизвестен, необходимо по известному числу зубьев z_K определить z_n при $\alpha = 14^\circ 30'$ и при $\alpha = 20^\circ$ и принять то значение из них, при котором обе губки штангенциркуля будут касательны к эвольвентным участкам зуба (рисунок 15).

7. По данным измерений определить основной нормальный шаг:

$$P_{bnm} = W_m - W_m''$$

и по таблице 2 приложения определяют модуль m и угол профиля α .

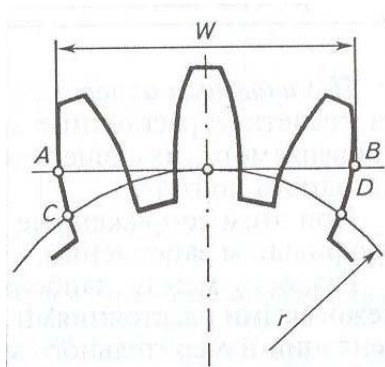


Рисунок 15 – Определение длины общей нормали зубчатого колеса

8. Определить коэффициент высоты зуба по найденному значению модуля:

$$h_m^* = \frac{h_m}{m}$$

9. Подставляя в формулы найденные стандартные значения модуля и коэффициентов, определяют:

- угол наклона линии зуба $\sin \beta = \frac{\pi m}{P_{xm}}$;
- делительный диаметр $d = \frac{zm}{\cos \beta}$;
- высота головки зуба $h_a = h_a^* m$;
- высота ножки зуба $h_f = (h_a^* + c^*) m$;
- диаметр вершин зубьев $d_a = d + 2h_a$;
- диаметр впадин $d_f = d - 2h_f$.

Если полученные значения близки к замеренным, т. е. $d_f \approx d_{fm}$ и $d_a \approx d_{am}$, то колесо нарезано без смещения.

10. Установить наличие и характер смещения можно, сравнив измеренное значение межосевого расстояния с расчетным: $a_{\omega m} = d_2 + d_1$.

Если величины равны, то передача без смещения или равно-смещенная, если $a_{\omega m} \neq d_2 + d_1$, то передача со смещением.

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы, применяемое оборудование.
2. Описание редуктора.
3. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 12.
4. Сделать выводы

Таблица 12 – Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Параметр	Обозначение	Результаты натурных обмеров	Расчетные значения параметров
1	Межосевое расстояние	a_w		
2	Осевой шаг	P_x		
3	Число зубьев	z		
	– колеса			
	– шестерни			
4	Диаметр вершин зубов	d_a		
	– колеса			
	– шестерни			
5	Диаметр впадин	d_f		
	– колеса			
	– шестерни			
6	Высота зуба	h_m		
7	Угол наклона линии зуба	β		
8	Основной нормальный шаг	P_{bn}		
9	Модуль	m		
10	Угол профиля	x		

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры зубчатого колеса можно определить натурными обмерами?
2. Смещение инструмента при нарезании зубчатых колес?
3. Основные требования при монтаже конических передач.
4. Основные требования при монтаже зубчатых передач.

Лабораторная работа № 7

Обмер и определение износа деталей

Цель работы: формирование умений и навыков проверки геометрии деталей цилиндро-поршневой группы.

Задание: произвести замеры и сравнить полученные данные с предельно допустимыми. Дать заключение о годности деталей.

Краткие теоретические сведения

Поршневая группа деталей входит в состав механизмов преобразования вращательного движения в поступательное. К основным деталям поршневой группы (рисунок 16) относится цилиндр, состоящий из так называемой рубашки 1 и внутренней втулки или гильзы 2, и поршень 3 с поршневыми кольцами 4. Поршень соединен с шатуном 5 посредством поршневого пальца 8, второй конец шатуна имеет вкладыш 7, который соединяет шатун с коленчатым валом 6.

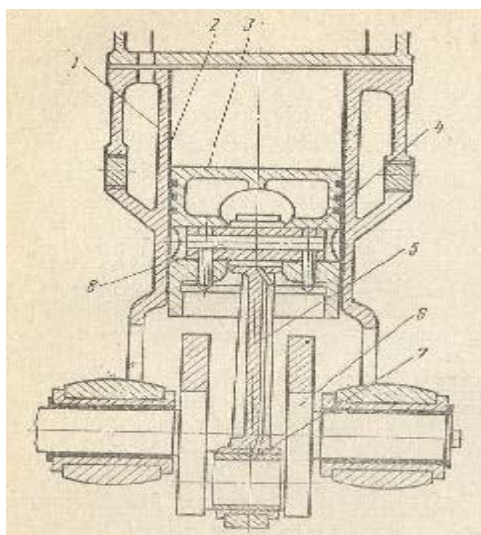


Рисунок 16 – Поршневая группа деталей

В процессе эксплуатации вследствие износа увеличивается зазор между стенками цилиндра и поршня. Поверхность цилиндра приобретает нецилиндричность и некруглость, на стенках цилиндра образуются задиры. Поршневые кольца становятся менее упругими, увеличивается зазор в замках, т. е. в местах, где находится стык концов. В результате всего в полости цилиндра уменьшается компрессия, т. е. степень сжатия газов, так как газы просачиваются между стенками поршня и цилиндра. Из-за износа нарушается посадка поршневого пальца в бобышках поршня и головке шатуна и посадка головки шатуна на шейке вала, что влечет за собой возникновение стука в сопряжениях.

Ремонт деталей поршневых и кривошипно-шатунных механизмов часто обходится дороже, чем изготовление новых. Поэтому в каждом конкретном случае судят о целесообразности и методе ремонта. Наибольший эффект достигается заменой изношенных деталей новыми запасными частями. При этом снижается время простоя машины из-за ремонта, снижается трудоемкость и повышается качество ремонта.

При ремонте деталей поршневой группы необходимо строго выдерживать технические требования на ремонт.

Ремонт цилиндров

Изношенные цилиндры, входящие в механизмы преобразования движения, принято ремонтировать по системам ремонтных размеров.

Под ремонтным размером понимают тот диаметр цилиндра, до которого при ремонте снимают дефектный слой металла с его рабочей поверхности. К полученному ремонтному размеру цилиндра подгоняют размеры сопряженной детали.

Система ремонтных размеров дает возможность восстанавливать правильную геометрическую форму изношенных поверхностей и обрабатывать их с необходимой шероховатостью.

Ремонтные размеры цилиндров, как правило, устанавливаются заводами-изготовителями. Эти размеры идут с градацией $0,5-1,0$ мм в зависимости от диаметра цилиндра. Последний ремонтный размер должен быть таким, чтобы цилиндр был достаточно прочным (выполняется прочностной расчет).

Цилиндры, износ которых вышел за пределы последнего ремонтного размера, в отдельных случаях можно восстановить растачиванием и последующей запрессовкой гильзы. Гильзу запрессовывают в расточенный корпус с натягом, затем обрабатывают ее отверстие до номинального отверстия цилиндра.

Если в цилиндре уже имеется гильза, и она изношена, то ее растачивают до ближайшего ремонтного размера на расточном или токарном станке.

Восстановление рабочей поверхности цилиндров по системе ремонтных размеров имеет существенные достоинства: многократно используется корпус цилиндра (или блок цилиндров), что очень ценно, так как изготовление нового цилиндра обходится дорого и требует больших трудовых затрат, а во многих случаях не доступно ремонтному хозяйству завода. Изношенный цилиндр можно заменить запасным с надлежащими ремонтными размерами, полученными от завода-изготовителя, и этим значительно ускорить ремонт.

Отремонтированные цилиндры должны удовлетворять следующим требованиям: разница в диаметре цилиндра на длине 1000 мм не должна превышать $0,03$ мм; отклонение оси цилиндра от прямолинейности на длине 500 мм не должно превышать $0,08$ мм; отклонение от круглости цилиндра не

должна быть выше 0,02 мм.

Ремонт поршней

В процессе работы у поршней появляются следующие виды износов: увеличение размеров и искажение формы поршневых канавок, отверстий в бобышках для поршневого пальца, появление трещин и задиров на рабочих поверхностях, износ боковой поверхности.

Все виды износа поршней выявляют осмотром и обмером точными измерительными инструментами. Поршни без трещин и с незначительными износами, не превышающими предельные, не ремонтируют, на них зачищают риски, снимают заусеницы и после промывки их снова используют. Поршни, имеющие трещины и значительный износ канавок для колец, заменяют новыми.

При ремонте поршней изношенные поршневые канавки протачивают на токарном станке под кольца увеличенного ремонтного размера. После проточки канавки должны иметь чистую поверхность, стенки канавок должны быть строго параллельны между собой. Биение торцов канавок под кольца допускается не более 0,04–0,05 мм, радиальные риски и другие дефекты не допускаются. Протачивать поршневые канавки можно только один раз. Это ограничение диктуется уменьшением толщины перемычки между канавками.

Изношенные отверстия под поршневой палец вызывают в машине стук. Их ремонтируют развертыванием или тонкой расточкой под увеличенный размер пальца. Расточку бобышек для пальца делают на токарном станке с помощью специального приспособления или на расточном станке, обрабатывая одновременно оба отверстия, обеспечивая их соосность.

Отремонтированный поршень должен удовлетворять следующим техническим условиям:

- овальность и конусность направляющей части поршня не должна превышать 0,001 диаметра цилиндра;
- овальность отверстий под поршневой палец не должна превышать 0,01–0,02 мм для крупных двигателей и 0,003 мм для средних и мелких;
- неперпендикулярность оси отверстия под поршневой палец к вертикальной оси поршня допускается не более 0,02 мм на 100 мм длины.

Ремонт поршневых пальцев

Поршневой палец изготавливается либо сплошным, либо полым, с постоянным или переменным диаметром расточки. Установка пальца в бобышках поршня может быть жесткой или свободной. Перемещение плавающего пальца ограничивается разжимными кольцами или вставками из бронзы и легкого сплава. При свободной установке, благодаря вращению, палец изнашивается равномернее, уменьшается трение и устраняется деформация тронка, которая имеет место при запрессовке пальца в бобышках

поршня.

Разность показаний твердости пальца в различных местах не должна превышать 5НВ. Для контроля за состоянием поршневого пальца, кроме наружного осмотра, производят замеры в трех сечениях (по концам и в средней части) в двух взаимно перпендикулярных направлениях (по оси цилиндра и перпендикулярно ей).

У поршневых пальцев изнашивается наружная поверхность, сопрягаемая с втулкой шатуна и бобышкой поршня.

При ремонте изношенные пальцы часто заменяют новыми, поскольку трудоемкость их изготовления невелика, и пригоняют по восстановленным отверстиям в поршне и втулке шатуна. Иногда пальцы хромируют по наружному диаметру с тем, чтобы они соответствовали увеличенному размеру. Если поршень заменен новым, исходят из того, что его отверстие под поршневой палец имеет номинальный размер.

Порядок выполнения работы

1. Обмер и дефектация втулки цилиндра.

2. Произвести наружный осмотр втулки:

а) наработки в верхней части зеркала втулки не допускаются;

б) не допускаются трещины и рыхлоты на поверхности втулки; на рабочем зеркале втулки могут иметь место отдельные задиры глубиной и шириной не более 0,5 мм;

в) на внешней поверхности втулок допускаются коррозионные раковины, размеры которых не регламентируются, но втулки в этом случае должны подвергаться гидравлическому испытанию. Не допускаются сквозные раковины.

3. Произвести замеры втулки в соответствии со схемой замера (рисунок 17). Результаты замеров и результаты вычислений привести в таблице 13.

4. Сравнить полученные значения отклонения от цилиндричности и отклонения от круглости с допускаемыми (таблица 3, приложение).

5. Обмер и дефектация поршня:

а) Произвести замеры втулки в соответствии со схемой замера на рисунке 18. Результаты замеров и результаты вычислений занести в таблицу 14.

б) Сравнить полученные значения отклонения от цилиндричности и отклонения от круглости с допускаемыми (таблица 4, приложение).

Таблица 13 – Результаты замеров и вычислений

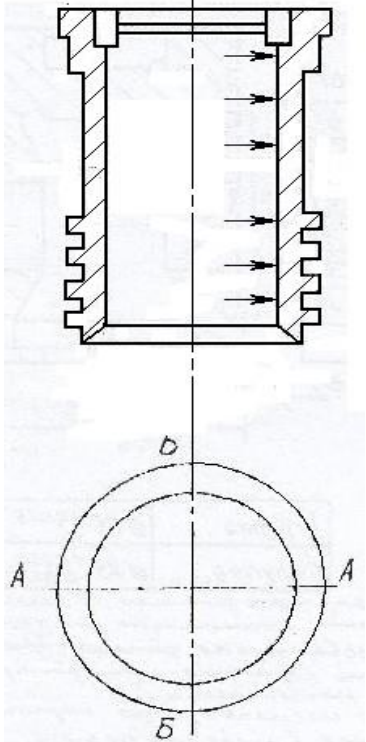
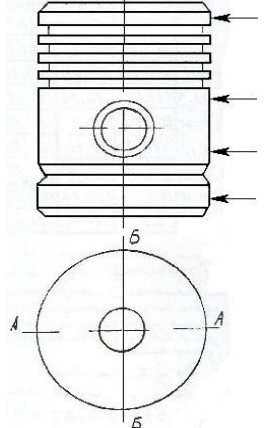
 Рисунок 17 – Схема замера		Внутренний диаметр		
	Дср.	в пл. АА	в пл. ББ	○
	В			

Таблица 14 – Результаты замеров и вычислений

 Рисунок 18 – Схема замера		Размеры		
	Ср.	в пл. АА Ø	в пл. ББ	○
	В			

6. Обмер и дефектация поршневого пальца.

а) Произвести обмер поршневого пальца в соответствии со схемой замера (рисунок 19). Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 15.

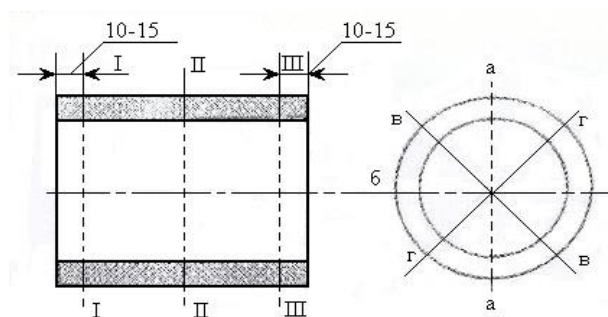


Рисунок 19 – Схема замера

Таблица 15 – Результаты замеров и вычислений

Наименование поверхности					
Результат измерений					
Номер сечения	А	Б	В	Г	Действительное отклонение от круглости
I – I					
II – II					
III – III					
Действительное отклонение профиля продольного сечения $\Delta = g$					

б) Сравнить полученные значения отклонения от цилиндричности и отклонения от круглости с допускаемыми (таблица 5, приложение).

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Эскиз детали и схема замера.
3. Результаты обмеров и необходимые расчеты.
4. Выводы с указанием возможных причин неисправностей и рекомендации по возможным методам исправления дефекта (отклонения)

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные методы восстановления сопряжений.
2. Основные достоинства и недостатки метода ремонтных размеров.
3. Назовите характерные причины искажения геометрии поршня.
4. Назовите характерные причины искажения геометрии цилиндрических втулок.
5. Основные методы исправления поршней в процессе ремонта.

Лабораторная работа № 8

Определение ремонтных размеров детали

Цель работы: формирование умений и навыков по проведению расчетов при определении ремонтных размеров детали.

Задание: рассчитать ряд ремонтных размеров детали.

Краткие теоретические сведения

При восстановлении деталей механическим способом применяется способ ремонтных размеров.

Сущность способа заключается в том, что изношенную поверхность одной из двух сопряженных деталей обрабатывают на новый, так называемый ремонтный размер, а другую заменяют на деталь соответствующего ремонтного размера.

При определении ремонтных размеров учитывают прочность обрабатываемых детали и необходимость соблюдения определенных зазоров в сопряжении. Восстановлению на ремонтный размер, как правило, подвергают ту деталь сопряжения, которая является более металлоемкой и дорогой.

Восстановление по способу ремонтных размеров осуществляют снятием с изношенной поверхности слоя металла определенной толщины с учетом припуска на шлифование. Зная действительный размер изношенного вала и допустимый размер отклонения, рассчитывают величину ремонтного размера детали с учетом прочностных характеристик.

Схема для определения ремонтного размера вала представлена на рисунке 20.

- d_n – номинальный диаметр вала;
- d_1 – действительный размер вала;
- d_{p1} – первый ремонтный размер;
- σ_1 – минимальный износ вала;
- σ_1' – максимальный износ вала;
- x_1 – припуск на обработку.

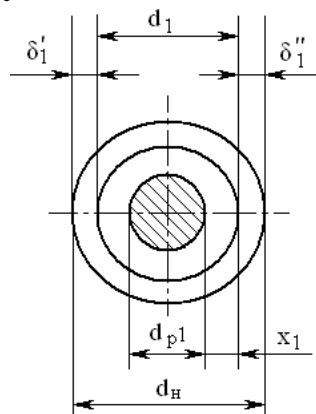


Рисунок 20 – Схема для определения ремонтного размера вал

В процессе ремонта вал обрабатывается до первого ремонтного размера d_{p1} с учетом припуска x_1 на заключительную обработку.

Измерить величину σ_1'' затруднительно, поэтому определяют диаметр изношенного вала и рассчитывают общий износ поверхности по формуле:

$$\sigma_1 = \sigma_1' + \sigma_1'' = d_{\text{ном}} - d_1.$$

При расчете вводится коэффициент неравномерности износа ρ , который определяется по аналитической зависимости:

$$\rho = \frac{\sigma_1'}{\sigma_1' + \sigma_1''} = \frac{\sigma_1'}{\sigma_1},$$

откуда определяем $\sigma_1'' = \rho \cdot \sigma_1$.

Если износ поверхности вала равномерный, то $\rho = 0,5$, если неравномерный, то ρ стремится к единице и при одностороннем износе равен 1.

Коэффициент ρ и износ σ_1 определяют аналитическим способом путем обработки фактических износов. Расчет выполняется при значениях ρ и σ_1 больших или равных величине 0,9 их фактического износа.

С учетом вышеприведенного запишем:

$$d_p^1 = d_n - 2 \cdot (\rho \cdot \sigma_1 + x_1) = d_n - K,$$

где K – ремонтный интервал детали.

Для определения числа ремонтных размеров вала необходимо знать величину минимально допустимого размера детали $d_{\min}$.

Тогда величина n – число ремонтных размеров определяется по формуле:

$$n = \frac{d_n - d_{\min}}{K},$$

при условии, что структура ремонтных циклов детали не изменяется в процессе эксплуатации.

Порядок выполнения работы

Дано: d_n – номинальный диаметр вала;

x_1 – припуск на обработку;

Δy – максимально допустимое уменьшение d_n ;

ρ – коэффициент неравномерности износа.

Рассчитать ряд ремонтных размеров вала и построить графическую зависимость $n = f(d_d)$.

Замерить действительный диаметр вала d_d в трех сечениях. Из трех полученных значений выбирается минимальное (указанный параметр может быть задан преподавателем).

$$d_d = \min\{d_3^1; d_3^2; d_3^3\}.$$

Определить величину износа детали по формуле:

$$\sigma_1 = d_n - d_d^{\min} = \sigma_1' + \sigma_1''.$$

Рассчитываем величину ремонтного интервала детали:

$$K = 2 \cdot (\rho \cdot \sigma_1 + x_1) = 2[\rho(d_n - d_d^{min}) + x_1].$$

Находим максимально допустимое уменьшение диаметра детали. По условию прочности снижения запаса прочности не должно превышать 1...5 %.

Принимаем $\Delta y = 0,05$.

Определяем минимально допустимый диаметр детали:

$$d_{min} = d_n - d_n \cdot \Delta y = d_n \cdot (1 - \Delta y).$$

Находим число ремонтных размеров детали:

$$n = \frac{d_n - d_{min}}{K},$$

в случае, если n число не целое, то округление производится в меньшую сторону.

Составляем ряд ремонтных размеров детали по формуле:

$$d_p^1 = d_n - K,$$

$$d_p^2 = d_n - 2K,$$

$$d_p^3 = d_n - 3K,$$

$$d_p^n = d_n - n \cdot K.$$

Строим графическую зависимость $n = f(d_d)$.

Для отверстий деталей ремонтный цикл и ряд ремонтных размеров определяется аналогичным методом.

Таблица 16 – Индивидуальные задания

№ п/п	Номинальный диаметр детали, мм	Износ детали, мм	Коэффициент неравно- мерности износа	Припуск на обработку, мм	Допуск на уменьшение размера
1	24	0,10	0,50	0,10	0,05
2	25	0,05	0,50	0,10	0,04
3	26	0,03	0,50	0,15	0,045
4	28	0,15	0,50	0,10	0,05
5	30	0,14	0,50	0,05	0,04
6	32	0,07	0,50	0,14	0,04
7	34	0,07	0,50	0,14	0,04
8	35	0,12	0,50	0,20	0,03
9	36	0,23	0,50	0,10	0,03
10	37	0,15	0,50	0,20	0,03
11	38	0,07	0,50	0,20	0,03
12	40	0,10	0,50	0,15	0,025
13	20	0,10	0,50	0,20	0,05
14	21	0,22	0,50	0,10	0,05
15	22	0,15	0,50	0,20	0,05
16	23	0,16	0,50	0,15	0,04
17	42	0,12	0,50	0,15	0,02
18	44	0,12	0,50	0,16	0,025
19	45	0,21	0,50	0,12	0,02
20	46	0,15	0,50	0,20	0,03

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчёт ряда ремонтных размеров детали.
3. Выводы
4. Ответы на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

1. Сущность способа ремонтных размеров?
2. Назовите основные отклонения формы цилиндрических деталей.
3. Преимущества и недостатки способа ремонтных размеров.
4. Для чего необходим припуск на обработку?
5. Как восстанавливается твердость поверхностного слоя детали после применения способа ремонтных размеров?
6. Назовите основные способы восстановления сопряжения

Лабораторная работа № 9

Составление схемы смазки узла и агрегата

Цель работы: получение умений и навыков по составлению карты смазки, изучение вопросов смазки технологического оборудования.

Задание: ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе, изучить системы смазки конкретных видов оборудования, выполнить индивидуальное задание, выданное преподавателем.

Краткие теоретические сведения

Общие понятия о трении и износе

При движении одной детали по другой всегда возникает трение. Детали в этом случае называются трущимися парами, а их соприкасающиеся поверхности – трущимися поверхностями.

Под силой трения понимают силу сопротивления, которую нужно преодолеть, чтобы заставить деталь, прижатую с некоторой силой к другой детали, двигаться по её поверхности. Этот вид трения называется трением скольжения.

В том случае, когда шарик или ролик катится по поверхности, или детали перекатываются друг по другу, между ними возникает трение качения, которое при одинаковых силах, прижимающих детали друг к другу, меньше трения скольжения примерно в 10 раз.

Одной из главных причин вредного влияния трения при рабочих движениях деталей машин являются неровности, которые всегда имеются на трущихся поверхностях даже при самой тщательной механической обработке.

Средние значения величин этих неровностей для некоторых видов следующие:

- чистовая обработка и расточка твердыми сплавами, чистовое шлифование, шабрение от 2,5 до 6,0 мкм;
- алмазная обточка и расточка, очень чистое шлифование от 1,0 до 2,5 мкм;
- хонингование, полирование, притирка от 0,1 до 1,0 мкм.

В зависимости от наличия и толщины смазочного слоя между трущимися поверхностями согласно теории гидродинамической смазки различают четыре вида трения: сухое, граничное, полужидкостное и жидкостное.

Сухое трение возникает при полном отсутствии смазки и сопровождается интенсивным износом.

Граничное трение возникает у всех поверхностей скольжения при пуске и остановке машины или при ее работе с малым числом оборотов и большой нагрузкой, когда масляная граничная пленка настолько тонка, что течение масла между трущимися поверхностями отсутствует.

Полужидкостное трение создается, когда толщина слоя масла недостаточна или этот слой не образует непрерывной масляной пленки, и в некоторых местах между трущимися поверхностями возникают небольшие островки, где имеет место непосредственное соприкосновение деталей. В условиях полужидкостного трения нагревание и износ деталей несколько меньше, чем при граничном трении.

Жидкостное трение возможно только при наличии нормативного смазочного слоя между трущимися поверхностями, полностью разъединяющего их, когда непосредственное трение металлических поверхностей заменяется внутренним трением слоев смазочного материала. Согласно теории жидкостного трения, сила трения внутри смазочного слоя возрастает пропорционально вязкости масла и наоборот.

Потери энергии на трение учитываются коэффициентом трения. Коэффициент трения скольжения выражается отвлеченным числом, а коэффициент трения качения – в сантиметрах.

Трение определяет износ и нагрев трущихся поверхностей, а также их КПД.

Для работы трущихся пар самым благоприятным режимом является режим жидкостного трения.

Граничное и полужидкостное трение сопровождается разрушением граничной пленки смазки и соприкосновением неровностей трущихся поверхностей. Такое зацепление создает большую силу трения, интенсивный износ пар, повышение их температуры. Самым неблагоприятным режимом работы является режим сухого трения.

Основные сведения о смазочных материалах

Выбор смазочных материалов и условий смазки основывается на расчетах (например, расчет смазки подшипников скольжения) или на экспериментальных данных и опыте эксплуатации (например, выбор смазки для зубчатых передач).

В качестве смазочных материалов используют жидкие нефтяные и синтетические смазочные масла, пластичные (старое название – консистентные) и твердые смазки, а также воду, воздух и другие газы. Наибольшее распространение имеют нефтяные смазочные масла и пластичные смазки. Сырьем для получения нефтяных смазочных масел является мазут, который получают из нефти после отгона светлых продуктов – бензинов и керосинов.

Нефтяные масла разделяют на масла общего назначения – индустриальные и специальные (турбинные, автомобильные, автотракторные, авиационные и др.). Специальные масла отличаются от общего наличием особых свойств, необходимых для соответствующих областей применения.

Важнейшей характеристикой жидких масел, используемой при их

подборе, является вязкость. При подборе учитывают также температуру застывания, температуру вспышки, наличие примесей и т. п. Работоспособность смазки зависит и от способности защищать поверхности трения от заедания (схватывание и перенос металлов) и задиров (глубокие и широкие борозды в направлении скольжения).

Для улучшения эксплуатационных свойств смазок применяют различные примеси. Так, для повышения смазочной способности к нефтяным маслам добавляют растительные жиры, жирные кислоты и другие примеси.

Синтетические смазочные жидкости (гликоли, силиколи, фторуглероды и хлоруглероды) применяют при особых условиях эксплуатации, например, при высоких или низких температурах.

Пластичные смазки представляют собой масла, загущенные мылами, парафином или другими веществами. При малых нагрузках эти смазки проявляют свойства твердых тел (сохраняют первоначальную форму и не растекаются), при определенных критических нагрузках – деформируются (текут подобно жидкости), а при снятии нагрузки снова обретают свойства твердых тел.

Пластичные смазки хорошо удерживаются в механизмах и не требуют сложных уплотнений. Наибольшее распространение получили смазки общего назначения – солидолы, жировая 1–13, констатины, а также специальные высокотемпературные ЦИАТИМ-221 и низкотемпературные ЦИАТИМ-201. Солидолы синтетические (солидол С и пресс-солидол С) и жировые (УС-1, УС-2, УС-3) получают в результате загущения масел кальциевыми мылами жирных кислот. Солидолы водостойки, в их состав входит вода, которая служит стабилизатором структуры. Консталин (УТ-1, УТ-2) отличается от жировой смазки 1–13 большей температурой применения (до 120 °С). Твердые смазки (графит, дисульфид молибдена) применяют в виде порошков или паст при особых условиях эксплуатации – при низких или высоких температурах, глубоком вакууме, в случаях, когда не допускается загрязнение среды жидкими или пластичными смазками. Воду применяют для смазки подшипников скольжения из резины, текстолита или пластифицированной древесины; воздух и газы – для небольших малонагруженных и очень быстроходных подшипников скольжения.

Некоторые параметры, характеризующие свойства масел

Вязкость минеральных масел измеряется в единицах динамической и кинематической вязкости. Динамическая (абсолютная) вязкость выражает собой силы внутреннего трения между слоями жидкостей и газов. Кинематической вязкостью, или удельным коэффициентом внутреннего трения, называют отношение динамической вязкости к плотности жидкости при одной и той же температуре. Размерность кинематической вязкости в системе СИ и МКС одинаковая – миллиметры квадратные в секунду.

Динамическая вязкость применяется при гидродинамических расчетах вязкости масел для смазки трущихся поверхностей, а кинематическая – для расчета прокачиваемости масла по трубопроводам. Динамическую и кинематическую вязкость определяют приборами, называемыми капиллярными вискозиметрами.

С повышением температуры вязкость масел снижается. При повышении температуры минеральных масел общего назначения от 50 до 100 °С их кинематическая вязкость уменьшается в 3–6 раз, а от минус 20 до 20 °С – в 15 раз и более.

Температура вспышки – это та температура, при которой пары масла образуют с окружающим воздухом смесь, воспламеняющуюся при поднесении к ней пламени. Эта температура служит показателем испаряемости и огнеопасности масла.

При сравнении двух видов масел примерно одинаковой вязкости лучшим считается то, которое имеет более высокую температуру вспышки.

Температура застывания масла характеризует потерю его подвижности при низкой температуре, т. е. когда масло после наклонения стандартной пробирки под углом 45° остается неподвижным в течение 1 мин. Застывая, масло теряет подвижность, что приводит к сильному износу трущихся деталей, увеличивает расход электроэнергии и затрудняет холодный запуск машин.

Выбор смазочных материалов

Жидкие минеральные масла имеют преимущества по сравнению с пластичными смазками. Они стабильные по структуре, могут использоваться при больших оборотах и высоких температурах, пригодны для работы при низких температурах, смазывать ими детали можно без разборки и промывки узла.

Недостатки жидких смазок – сложность уплотнения смазываемых узлов из-за повышенной текучести масел; необходимость частого пополнения, что требует установки специальных устройств.

Достоинствами пластичных смазок являются:

- способность не вытекать из смазываемого узла, что упрощает его уплотнение;
- возможность продолжительной (до 6 мес.) эксплуатации узла без замены в нем смазки.

Недостатки пластичных смазок:

- высокая вязкость, что исключает их применение при высоких числах оборотов;
- необходимость подетальной разборки узла при замене смазки.

Смазка отдельных трущихся пар

Смазка подшипников скольжения

При вращении вала масло, заполняющее серповидное пространство между цапфой и вкладышем, будет стекать по цапфе. На самом узком участке

серповидного пространства, где слой смазки будет иметь наименьшую толщину, образуется масляный клин. Проходя через самую узкую часть клинового зазора, масло приподнимает цапфу, принимая на себя ее нагрузку.

Это понимается как несущая способность подшипника, которая увеличивается с уменьшением толщины смазочного слоя. Для рациональной работы давление в масляном клине достигает большей величины.

Необходимая вязкость смазки определяется исходя из закономерностей гидравлической теории смазки, согласно которой толщина минимального масляного клина равна

$$h_{min} = \frac{d_b w \mu_t d_{\pi}}{18,9 \cdot P S C},$$

где h_{min} – наименьшая толщина слоя масла в клиновидной щели, м; d_b – диаметр шейки вала, м; μ_t – динамическая вязкость масла при рабочей температуре, Па·с; w – угловая скорость, рад/с, $w = 0,105n$; P – удельное давление на подшипник, Па; S – зазор между отверстием и валом, мм, $S = d_{\pi} - d_b$; C – коэффициент, учитывающий длину подшипника, $C = 1 + d_b/l$; d_{π} – диаметр подшипника, м.

Для обеспечения режима жидкостного трения толщина слоя масла в 1,5–2 раза должна превышать сумму неровностей поверхностей подшипника и вала, что достигается при соблюдении условия $h_{min} > h_{кр} = \delta_{\pi} + \delta_b$, где δ_{π} , δ_b – наибольшие высоты неровностей (выступов) поверхностей подшипника и вала соответственно, мм.

Численные значения δ_{π} , δ_b зависят от шероховатости поверхности и находятся по таблице 17.

Таблица 17 – Численные значения высоты неровностей

Шероховатость поверхности R_z	Значение	Шероховатость поверхности R_z	Значение
20	0,026	0,63	0,0032
2,5	0,013	0,32	0,0016
1,25	0,0064	0,16	0,0008

Выбор класса чистоты сопрягаемых поверхностей в подшипниках производится по нормам машиностроения, представленным в таблице 18, где также приведены значения зазора в зависимости от посадки в системе отверстия.

Таблица 18 – Нормы машиностроения

Диаметр, мм	Класс точности				Посадка		
	2		3		H7/f 7	H8/c8	
	Вал	Отверстие	Вал	Отверстие			
От 3 до 6	9	8	8	7	0,01–0,032	0,015–0,051	
6–10			7		7	0,013–0,043	0,023–0,061
10–18	8	7				0,016–0,052	0,03–0,074
18–30				6		0,02–0,063	0,04–0,093
30–50						0,025–0,077	0,05–0,112
50–80						0,03–0,09	0,065–0,135
80–120	6	0,04–0,11		0,08–0,16			
120–180		7		6	0,05–0,13	0,1–0,195	

Поскольку с повышением температуры вязкость смазки понижается, для определения динамической вязкости при рабочей температуре t по известному значению $M50$ (при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) пользуются формулой:

$$M_t = M50 (50/t)^m,$$

где $m = 2$ при $v < 20\text{ мм/с}$; $m = 2,5$ при $20 < v < 50\text{ мм/с}$; $m = 3$ при $v > 50\text{ мм/с}$.

Кинематическая вязкость смазочных материалов определяется по формуле:

$$v = M/\rho,$$

где ρ – плотность смазки, кг/м^3 ; v – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$;

По найденному значению v 50 выбирается сорт смазки по таблице 19 с учетом особенностей узла трения.

Подача смазки к трущимся поверхностям подшипника скольжения производится несколькими способами. Наиболее простыми смазками являются:

- непрерывная, циркуляционная;
- кольцевая, осуществляемая посредством кольца;
- ручная;
- капельная или фитильная.

Таблица 19 – Сорта смазки

Наименование масла	Вязкость кинематическая ν 50, мм ² /с	Температура вспышки, °С	Температура застывания, °С	Основное назначение
Масло для высокоскоростных механизмов Л (велосит)	4–5,1	–	минус 25	Для точных механизмов с малой нагрузкой и при больших числах оборотов
Масло для высокоскоростны х механизмов Т (вазелиновое)	5,1–8,5	–	минус 20	То же
Приборное (МВП)	6,3–8,5	–	минус 60	Для КИП, работающих при низких температурах (в холодильной камере)
Сепараторное Л	6,1–10	135	5	Для подшипников центрифуг и легких сепараторов, автоматов для расфасовки пищевых продуктов
Индустриальное 12 (веретенное 2)	10–14	165	минус 30	Для средних сепараторов, холодильных машин, подшипников быстроходных машин. Для подшипников с кольцевой смазкой с окружной скоростью до 3 м/с
Сепараторное Т	14–17	165	5	Крупные сепараторы и скоростные машины с малыми нагрузками

Наименование масла	Вязкость кинематическая ν 50, мм ² /с	Температура вспышки, °С	Температура застывания, °С	Основное назначение
Индустриальное 20 (веретенное 3)	17–23	170	минус 20	Для подшипников с кольцевой смазкой, электродвигателей мощностью 10 кВт, центробежных насосов, зубчатых передач, трансмиссии, подшипников средненагруженных
Индустриальное 30 (машинное Л)	27–33	180	минус 15	Для валов, зубчатых передач, центробежных насосов, металлорежущих станков с большой нагрузкой и малыми скоростями
Индустриальное 45 (машинное С)	38–52	190	0	Для тяжелых машин и станков с малой скоростью, для редукторов червячных, цилиндрических, цилиндрико-конических, кривошипно-шатунных механизмов (для тех же узлов, что и индустриальное 30, но с повышенной температурой)

Наименование масла	Вязкость кинематическая ν 50, мм ² /с	Температура вспышки, °С	Температура застывания, °С	Основное назначение
Индустриальное 50 (машинное СУ)	42–58	200	минус 20	То же при повышенных нагрузках и малых скоростях (назначается в особых случаях)
Цилиндровое 11 (цилиндровое 2)	9–13 при 100 °С	215	5	Для червячных передач, редукторов большой мощности, тихоходных механизмов, паровых насосов с давлением до 0,5 МПа, для машин и арматуры, работающих на насыщенном паре
Цилиндровое 38 (цилиндровое 6)	32–44 при 100 °С	300	17	Для машин и арматуры, работающих на перегретом паре, и механизмов, работающих при высоких температурах
Компрессорное М	8,5–14 при 100 °С	–	–	Для односту- пенчатых компрессоров низкого давления и двухступенча- тых среднего давления

Наименование масла	Вязкость кинематическая ν 50, мм ² /с	Температура вспышки, °С	Температура застывания, °С	Основное назначение
Компрессорное Т	15–21 при 100 °С	–	–	Для многоступенчатых компрессоров повышенного давления
Трансформаторное	33	–	–	Для заливки трансформаторов, масляных выключателей и другой высоковольтной аппаратуры

Тяжело нагруженные подшипники скольжения необходимо обеспечивать обильной жидкой циркуляционной смазкой, подаваемой насосом под давлением от 0,05 до 0,35 МПа. Ручная смазка, а также капельная и фитильная применяются только в неответственных подшипниках, работающих с малой скоростью и большими перерывами, когда нецелесообразно использовать циркуляционную смазку.

Периодичность смазывания маслом – один-два раза в смену при ручной смазке. В таблице 20 приведены нормы расхода масла в граммах для подшипников скольжения при капельной и фитильной смазке.

Таблица 20 – Нормы расхода масла

Диаметр мм	Скорость вращения вала, 1/с							
	1	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	11,0	15,0
	Расход масла, г, за 8 ч работы							
30	1	1	3	6	7	10	14	20
40	1	2	6	9	12	18	24	34
50	3	5	9	14	20	29	40	68
60	5	10	14	22	31	45	62	90
70	7	13	19	32	44	63	88	127
80	9	17	26	42	59	84	118	168
90	11	22	33	54	76	108	152	216
100	14	28	42	72	96	140	196	280
110	18	34	52	88	120	172	240	344

Диаметр мм	Скорость вращения вала, 1/с							
	1	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	11,0	15,0
	Расход масла, г, за 8 ч работы							
120	22	42	62	104	144	208	288	–
130	26	51	77	128	180	256	360	–
140	30	61	91	152	212	304	–	–
150	35	70	106	176	246	352	–	–

Для тихоходных валов применяют пластичные смазки, которыми также целесообразно смазывать подшипники скольжения, установленные в труднодоступных для смазки местах или в открытых и пыльных помещениях. Режим смазывания подшипников пластичной смазкой рекомендуется применять в соответствии с данными таблицы 21. Расход пластичной смазки за 8 ч работы при ручной набивке подшипника скольжения (втулки) равен 0,5 г.

Таблица 21 – Режим смазывания подшипников

Система смазки	Условия работы	Режим смазывания
Централизованная	Непрерывная работа деталей при тяжелых температурных условиях и с большой нагрузкой	2–3 раза в смену
	Непрерывная работа, но в нормальных температурных условиях	2 раза в смену (перед началом и в середине смены)
Смазка шприцем через пресс-масленку	Периодическая работа деталей при незначительной нагрузке	1 раз в смену перед началом работы
	Периодическая работа деталей при малой нагрузке	1 раз в одни – двое суток
Ручная смазка колпачковой масленкой	Кратковременная работа деталей	1–2 раза в неделю

Сорт пластичной смазки для подшипников скольжения выбирается из таблицы 22 с учетом особенностей узла трения.

Таблица 22 – Выбор сорта пластичной смазки для подшипников скольжения

Наименование смазки	Основное назначение
Универсальная низкоплавкая УН-1 (вазелин технический)	Для подшипников скольжения с малыми нагрузками при $t < 35^{\circ}\text{C}$. Для защиты от коррозии и для консервации деталей при хранении
Универсальная низкоплавкая УН-2 (вазелин технический высокоплавкий)	То же при $t < 45^{\circ}\text{C}$
Универсальная УН-3 (пушечная смазка)	Для защиты от коррозии при хранении
Универсальная среднеплавкая УС-2, УС-3, УС-М (солидол жировой марок Л и М)	Для подшипников скольжения и других пар трения, работающих при малых и средних нагрузках и скоростях при температуре $55\text{--}75^{\circ}\text{C}$
Универсальная смазка УС-Т (солидол эмульсионный)	То же при $t < 75^{\circ}\text{C}$. Заменитель жирового солидола
Мазь графитная (смазка УС-А)	Для открытых зубчатых шестерен цепных передач (транспортёры, приводы открытые, поршневые насосы)
Универсальная тугоплавкая марок УТ-1, УТВ, УТс-1, УТ-2, УТс-2 (типа консталина)	Для шарико- и роликоподшипников и других узлов трения, работающих в условиях большой влажности при температуре до $90\text{--}130^{\circ}\text{C}$
ЦИАТИМ-201	Для быстроходных подшипников и узлов трения до $t = 120^{\circ}\text{C}$

Смазка подшипников качения

Для смазывания подшипников качения служат минеральные масла и пластичные смазки, при выборе которых необходимо учитывать размеры подшипника, действующую на него нагрузку, скорость вращения и другие эксплуатационные условия.

Для подшипников с окружной скоростью до $4\text{--}5\text{ м/с}$ могут применяться как жидкие, так и пластичные смазки. При больших окружных скоростях и малых нагрузках рекомендуются жидкие масла. Выбирать их по вязкости следует в зависимости от скорости: чем больше скорость, тем меньше должна быть вязкость масла. Для выбора сорта масла можно использовать справочный материал в такой последовательности – от таблицы 23 к таблице 19.

Таблица 23 – Кинематическая вязкость масла

Зона	Рабочая температура, °С			
	до 0	0–60	60–100	свыше 100
	Вязкость масла кинематическая V, мм ² /с			
1	2–2,2	2,8–4,5	5,5–8,5	18–25
2	2–2,2	2,8–4,5	5,5–8,5	15–18
3	2–2,2	2,2–3,2	4–4,5	9–12
4	2–2,2	2,2–3,2	2,8–3,2	9–12

Смазывание пластичной смазкой осуществляется первоначальным заполнением свободного пространства в подшипниковом узле на длительное время без применения каких-либо дополнительных устройств. Сорт пластичной смазки может быть выбран по таблице 21. Степень заполнения не более 2/3 свободного объема полости корпуса с забивкой. Пополнение свежими дозами смазки производится не реже, чем через 3 мес, а полная смена через 3–6 мес при трехсменной работе подшипника, через 6–8 мес при двухсменной и через 8–12 мес при односменной работе. При использовании пластичной смазки расход определяется в зависимости от диаметра вала, исходя из объема смазочной ванны (таблица 24). При смазке жидким маслом расход в зависимости от диаметра вала приведен в таблице 25, а периодичность добавления масла – один раз в два–три дня.

Таблица 24 – Расход смазки

Диаметр вала, мм	Вместимость смазочной ванны, г	Расход смазки, г
До 10	135	0,25
10–15	200	0,35
15–20	275	0,5
20–30	400	0,7
30–40	550	0,9
40–50	675	1,2
50–60	825	1,5
60–70	930	1,7
70–80	1100	2,0

Таблица 25 – Расход смазки жидким маслом

Диаметр вала, мм	Расход масла, г	Диаметр вала, мм	Расход масла, г
До 30	0,5	50–60	2,0
30–40	1,0	60–70	2,5
40–50	1,5	70–80	3,0

Смазка зубчатых цилиндрических и конических передач

Действие смазки на работу зубчатых цилиндрических и конических передач и выбор смазки во многом зависят от того, насколько надежно они защищены от влияния окружающей среды. Ориентировочно выбор масла для смазки закрытых зубчатых передач можно производить по таблице 26.

Таблица 26 – Выбор масла для смазки закрытых зубчатых передач

Тип передачи	Характеристика передач	Рекомендуемый сорт масла
Цилиндрические	Тихоходные, межцентровое расстояние между осями параллельных валов: до 500 мм свыше 500 мм	Индустриальное 45, 50 Цилиндровое 11
	Тяжелые условия работы, рабочая температура более 55–60 °С	Цилиндровое 24
Конические	Дистанция корпуса: до 300 мм свыше 300 мм	Индустриальное 45, 50 Цилиндровое 11
Быстроходные всех типов	Число оборотов в минуту:	
	10000	Велосит и индустриальное 12
	3000 1500	Индустриальное 20 Индустриальное 30

При использовании жидких масел расход за 8 ч работы определяется замером картера (таблица 27). Пластичную смазку в картер добавляют один раз в месяц, а жидкий смазочный материал – один раз в 3–4 дня.

Таблица 27 – Расход масла

Вместимость картера, кг	Расход масла, г	Вместимость картера, кг	Расход масла, г
До 5	6	30–50	3,5
5–10	5,5	50–75	3
10–15	5	75–100	2,5
15–20	4,5	Свыше 100	2
20–30	4	–	

У открытых зубчатых передач зубья колес смазываются вручную (лейкой или щеткой) или через обычные масленки. Для ручной смазки применяется пластичная смазка, которая хорошо удерживается на металле. Расход масла и мази для открытых передач определяется по 0,5 г на 1 см диаметра шестерни при ее ширине 50 мм. Режим смазки 1 раз в смену для масел и 1 раз в 5 дней для мазей.

Способ смазки погружением зубьев зубчатых колес в масло применяется при окружных скоростях до 12–15 м/с. Глубину погружения для цилиндрических зубчатых колес рекомендуется выбирать в пределах 0,75–2 от высоты зубьев, но не менее 10 мм. Колеса конических передач необходимо погружать в смазку на всю длину зуба.

Смазка червячных передач

Червячные редукторы, как правило, смазываются жидкими маслами. Вязкость смазки выбирается по удельной нагрузке на зуб и окружной скорости колеса (таблица 28).

Таблица 28 – Определение вязкости смазки

Окружная скорость колеса, м/с	Удельное давление, Н/м ²	Вязкость смазки ν 50, мм ² /с
До 1,0	30	235
1,0–2,5	20–30	170
2,5–5,0	10–20	115
5,0–10,0	≤ 10	79
10,0–15,0		56
15,0–25,0		45
Свыше 25,0		45

Удельное давление на зуб рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{N}{WBl'}$$

где P – удельное давление, Н/м²; N – передаваемая мощность, Вт; W – окружная скорость, м/с; B, l – высота и длина зуба, мм. Выбор сорта масла может быть произведен также ориентировочно по таблице 29.

Таблица 29 – Выбор сорта масла

Условия работы червячной пары	Рекомендуемый сорт масла при температуре масляной ванны	
	до 50 °С	50–70 °С
Периодическая работа при легкой нагрузке: до 10 с ⁻¹ червяка свыше 10 с ⁻¹ червяка	Для тихоходных дизелей Т Индустриальное 45, 50	Цилиндровое 11 и автотракторное АКп-10 Для тихоходных дизелей Т
Постоянная работа при тяжелой нагрузке: до 10 с ⁻¹ червяка свыше 10 с ⁻¹ червяка	Цилиндровое 24 и трансмиссионное автотракторное летнее Цилиндровое 11 и автотракторное АК-15	Для прокатных станков в марке П-28 и цилиндровое 38, 52 Цилиндровое 24 и трансмиссионное автотракторное летнее

Для червячных передач с цилиндрическим червяком (с окружной скоростью до 10 м/с) смазка погружением допустима независимо от того, окунается в смазку червяк или червячное колесо. В червячных передачах с нижним расположением червяка его следует погружать в смазку не глубже высоты витка, при верхнем расположении червяка глубина погружения должна быть не ниже высоты зуба колеса. Объем масляной ванны принимается таким, чтобы на 1 кВт передаваемой мощности приходилось 0,35–0,7 л масла. Периодичность смазки червячных редукторов такая же, как и у зубчатых. Единовременный расход смазочного материала находится по таблице 30.

Таблица 30 – Нахождение единовременного расхода смазочного материала

Диаметр червяка (винта), мм	Расход смазки (на 1 м длины), г	Диаметр червяка (винта), мм	Расход смазки г (на 1 м длины), г
60	6,0	30	3,0
50	5,0	20	2,0
40	4,0	10	1,0

Для червячных редукторов нормы расхода определяются по данным таблицы 30.

Смазка электродвигателей

Для электродвигателей обычно применяют консталин УТ-1 и УТс-1 или солидол УС-2 и УСс-2. Срок службы смазки в подшипниках электродвигателей, работающих в три смены, до 6 мес. Добавка смазки производится один раз в 1–3 мес через соответствующие приспособления или непосредственно через снятый фланец подшипника. Расход смазочных материалов на оба подшипника электродвигателя обуславливается его мощностью и приведен в таблице 31.

Таблица 31 – Расход смазочных материалов на подшипники электродвигателя

Мощность электродвигателей, кВт	Расход за 8 ч, г	
	Жидкое масло	Пластичная смазка
До 0,5	1,0	0,5
0,5–1,0	1,5	
1,0–2,0	2,0	
2,0–3,0	3,0	
3,0–4,0	3,5	
4,0–5,0	5,0	
5,0–6,0	5,5	1,0
6,0–7,0	6,0	
7,0–10,0	7,0	
10,0–15,0	8,0	
15–20	9	
20–30	10	1,5
30–50	12	2,0

Смазка цепных передач

Смазочный материал для цепных передач выбирают в зависимости от окружной скорости, рабочей температуры и систем смазки. Обычно применяют масла – цилиндрическое II и индустриальное 45.

Цепи открытых передач смазывают пластичной смазкой с добавлением графита.

Периодичность смазки маслом – один раз в смену, пластичной смазкой – один раз в месяц.

Расход пластичной смазки (например, УС-1) определяется из расчета 0,4 г на 1 м длины в час, а при смазывании жидким маслом 1,0 г на 1 м длины цепи в час.

Другие виды трущихся пар

Для зубчатых муфт обычно используют масла: трансмиссионное, автотракторное АКп–10, АК–15, цилиндрическое П. Направляющие оборудования, работающего при высоких температурах, смазываются пластичными смазками.

Подпятники смазывают пластичной смазкой 1 раз в месяц и жидким маслом, доливаемым в корпус, – 1 раз в 3–5 дней.

Смазка шарниров жидким маслом производится 1–2 раза в смену, а пластичной смазкой – 1–2 раза в месяц.

Повторное использование смазок

Отработанные смазки разрешается использовать повторно только после их очистки от механических примесей и восстановления физико-химических свойств. Для регенерации специальные масла собирают по маркам или подразделяют по видам и способам производства, индустриальные – сливают все вместе.

Механические примеси и воду из масел удаляют отстоем, фильтрацией и сепарацией. Для отстоя и фильтрации используют специальные бачки. Продолжительность отстоя при комнатной температуре 1–3 сут, при температуре 70–90 °С – 2–8 ч. В качестве фильтрующих материалов применяют сукно, фетр, бельтинг, фильтровальную бумагу.

Сепарацию масел производят в центрифугах, частота вращения барабанов в которых 100–150 с⁻¹. Масло предварительно нагревают до 60–80 °С.

Не разрешается добавлять к смазкам горючие растворители – керосин, соляровое масло и др.

Порядок выполнения работы

Студенты разбиваются на группы из 3–5 человек. Каждая группа получает задание по выбору сорта смазки и составлению карты смазки узла, машины или аппарата.

Перед началом работы студенты должны ознакомиться с машиной по технической документации или по литературным источникам.

Выполнение работы студентами предусматривается в следующем порядке:

1. Выбрать сорт смазки для конкретной (по указанию преподавателя) пары трения.
2. Определить расход смазки для данного узла.
3. Составить схему и карту смазки.

При выполнении схемы смазки вычерчивается внешний вид машины в общих чертах с указанием мест смазки (маслоприемников) с помощью условных обозначений.

Карта смазки составляется по специальной форме (таблица 32). Для обозначения мест и способов смазки можно рекомендовать условные обозначения, применяемые заводами пищевого машиностроения (таблица 33).

Карта смазки

Наименование предприятия _____

Цех или отделение _____

Наименование оборудования _____

Таблица 32 – Форма карты смазки

Наименование, деталей, узлов и механизмов, подлежащих смазке	Условное обозначение на схеме	Количество единиц	Сорт смазочного материала	Периодичность смазывания	Способ подачи смазочного материала	Норма расхода смазочного материала в смену, г	
							Всего
Подшипник скольжения	—	2	Индустриальное	2 раза в смену	Через наливную масленку	12	24
Открытая цилиндрическая зубчатая передача	—	1	УС-2	1 раз в 5 дней	Ручной	2	2

Таблица 33 – Условные обозначения мест и способов смазки

Способ смазки машины	Условное обозначение		Вид смазочного материала	Периодичность смазки
	Места смазки	Способа смазки		
В картере или в ванне	—		Масло, консистентный смазочный материал	При сборке
			Консистентный	Периодическая
				Периодическая
Через отверстие	—			Периодическая
Через наливную масленку			Масло	Периодическая
Ручной	—			Периодическая
Через колпачковую масленку			Консистентный	Периодическая
Через пресс-масленку			Масло, консистентный	Периодическая
Ручной	—		Пищевые жиры	Периодическая

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Техническая характеристика машины или автомата с описанием особенностей эксплуатации.
3. Расчет требуемой вязкости смазочного материала.
4. Выбор смазочного материала.
5. Схема и карта смазки.
6. Выводы.
7. Ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются смазочные материалы?
2. Какими маслами смазываются подшипники?
3. Какие основные параметры характеризуют смазочный материал?
4. Какие сорта смазок рекомендуются к применению в рыбообрабатывающем оборудовании?
5. Чем определяется выбор вида и марки смазочного материала?
6. Чем определяется качество смазочного масла?
7. В чем заключаются преимущества жидких смазочных материалов?
8. Что такое карта смазки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондар, А. М. Диагностика, сервисное обслуживание, ремонт и монтаж технологического оборудования: учеб. пособие для студентов специальностей: 260601.65 – Машины и аппараты пищевых пр-в, 200602.65 – Пищевая инженерия малых предприятий / А. М. Бондар; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2008. – 110 с.
2. Гальперин, Д. М. Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств / Д. М. Гальперин, Г. В. Миловидов. – Москва: ВО Агропромиздат, 1990.
3. Гальянов, А. П. Технология и организация ремонта в рыбной промышленности / А. П. Гальянов. – Москва: Агропромиздат, 1988.
4. Гельберг, Б. Т. Ремонт промышленного оборудования / Б. Т. Гельберг, Г. Д. Пекелис. – Москва: Высшая школа, 1981.
5. Зайцев, Н. В. Ремонт и монтаж оборудования предприятий пищевой промышленности / Н. В. Зайцев. – Москва: Пищ. пром-сть, 1972. – 350 с.
6. Иванов, К. А. Организация ремонта технологического оборудования мясокомбинатов. Справочник / К. А. Иванов. – Москва: Агропромиздат, 1991.
7. Илюхин, В. В. Монтаж, наладка и ремонт оборудования предприятий мясной промышленности / В. В. Илюхин. – Москва: Пищ. пром-сть, 1984. – 195 с.
8. Итинская, Н. И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – Москва: Колос, 1982. – 205 с.
9. Карпунин, В. Ф. Монтаж и ремонт оборудования предприятий и судов рыбной промышленности / В. Ф. Карпунин. – Москва: Агропромиздат, 1987.
10. Машины и аппараты пищевых производств: в 2 кн. / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков [и др.]; под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. – Москва: Высш. шк., 2001. – 703 с.
11. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, Зенкин А. С. – Москва: Машиностроение, 1989.
12. Недельский, Г. В. Монтаж и ремонт торгово-технологического оборудования / Г. В. Недельский. – Москва: Экономика, 1981. – 312 с.
13. Харламов, С. В. Практикум по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» / С. В. Харламов. – Ленинград: Машиностроение, 1971. – 168 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 – Основной шаг P_b и шаг зубьев p в зависимости от модуля и угла профиля

z_n	Условное число зубьев z_K при угле профиля			z_n	Условное число зубьев z_K при угле профиля		
	20°	15°	14°30'		20°	15°	14°30'
2	9–16	10–23	12–24	9	73–81	96–107	100–111
3	17–27	24–35	25–37	10	82–90	108–119	112–124
4	28–36	36–47	38–49	11	91–99	120–131	125–136
5	37–45	48–59	50–62	12	100–108	132–143	137–149
6	46–54	60–71	63–74	13	109–117	144–155	150–161
7	55–63	72–83	75–86	14	118–126	156–167	162–173
8	64–72	84–95	87–99	15	127–135	168–179	174–186

Таблица 2 – Наибольшие допускаемый износ втулок (мм)

Модуль $m, \text{ мм}$	Основной шаг $p_b, \text{ мм}$, при угле профиля α					Шаг зубьев $p = m, \text{ мм}$
	25°	22°30'	20°	17°30'	15°	
1,25	3,56	3,63	3,69	3,74	3,79	3,927
1,5	4,27	4,35	4,43	4,49	4,55	4,712
1,75	4,99	5,08	5,17	5,24	5,31	5,498
2	5,69	5,8	5,9	5,99	6,07	6,283
2,25	6,41	6,53	6,64	6,74	6,83	7,069
2,5	7,12	7,26	7,38	7,49	7,59	7,854
2,75	7,83	7,98	8,12	8,24	8,34	8,639
3	8,55	8,71	8,86	8,99	9,1	9,425
3,25	9,25	9,43	9,59	9,74	9,86	10,21
3,5	9,97	10,16	10,33	10,49	10,62	10,996
3,75	10,67	10,88	11,07	11,24	11,38	11,781
4	11,39	11,61	11,81	11,98	12,14	12,566
4,25	12,11	12,34	12,55	12,73	12,90	13,352
4,5	12,81	13,08	13,28	13,48	13,66	14,137
5	14,23	14,51	14,76	14,98	15,17	15,708
5,5	15,66	15,96	16,24	16,48	16,69	17,279
6	17,08	17,41	17,71	17,98	18,21	18,85
6,5	18,51	18,87	19,19	19,48	19,72	20,42
7	19,94	20,32	20,66	20,97	21,24	21,991
8	22,78	23,22	23,62	23,97	24,28	25,133

Модуль	Основной шаг p_b , мм, при угле профиля α					Шаг зубьев
9	24,45	24,92	25,34	25,74	26,14	26,988
10	28,47	29,02	29,52	29,96	30,35	30,416
11	31,32	31,93	32,47	32,96	33,38	34,557
12	34,17	34,83	35,43	35,95	36,41	37,699

Таблица 3 – Наибольшие допускаемые износы поршней (мм)

Диаметр цилиндра, мм	При $n \geq 500$		При $n = 150-500$		При $n \leq 150$	
	Отклонение от круглости	Наибольшее увеличение диаметра	Отклонение от круглости	Наибольшее увеличение диаметра	Отклонение от круглости	Наибольшее увеличение диаметра
До 100	0,25	1,00	—	—	—	—
101–150	0,30	1,20	—	—	—	—
151–200	0,35	1,50	0,30	1,60	—	—
201–250	0,40	1,80	0,35	2,00	0,55	2,50
251–300	0,45	2,20	0,40	2,40	0,60	3,00
301–350	0,50	2,60	0,45	2,80	0,65	3,50
351–400	0,55	3,00	0,50	3,20	0,70	4,00

Таблица 4 – Наибольший допускаемый износ шеек поршневого пальца

Диаметр поршня, мм	Отклонение от круглости	Отклонение от цилиндричности
До 50	0,15	0,15
51–75	0,2	0,2
76–100	0,2	0,2
101–125	0,2	0,2
126–150	0,25	0,25
151–175	0,25	0,25
176–200	0,25	0,25
201–250	0,3	0,3
251–300	0,35	0,35

Таблица 5 – Наибольший допускаемый износ шеек поршневого пальца

Диаметр	Отклонение от круглости	Отклонение от цилиндричности	Диаметр	Отклонение от круглости	Отклонение от цилиндричности
До 50	0,12	0,12	176–200	0,27	0,27
51–75	0,15	0,15	201–225	0,3	0,3
76–100	0,18	0,18	226–250	0,33	0,33
101–125	0,2	0,2	251–275	0,37	0,37
126–150	0,22	0,22	276–350	0,4	0,4
151–175	0,25	0,25	–	–	–

Локальный электронный методический материал

Мария Вячеславовна Хомякова

ДИАГНОСТИКА, РЕМОНТ, МОНТАЖ И СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Редактор С. Кондрашова

Корректор Т. Звада

Уч.-изд. л. 5,0. Печ. л. 4.4.

Издательство федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1