

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

Казанский государственный аграрный университет

Кафедра «Эксплуатация и ремонт машин»

ПРАКТИКУМ

**ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И
САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТРИБОТЕХНИКА ПРИ
ВОССТАНОВЛЕНИИ РЕСУРСА МАШИН»**

(для студентов, обучающихся по направлению 35.03.06 Агроинженерия)

КАЗАНЬ, 2018

УДК 621.891
ББК 34.41

Составители: д.т.н., профессор Калимуллин М.Н.
к.т.н., доцент Шайхутдинов Р.Р.
д.т.н., профессор Галиев И.Г.
к.э.н., доцент Сафиуллин И.Н.
к.т.н., доцент Ахметзянов Р.Р.
ст.преподаватель Вагизов Т.Н.

К.т.н., доцент ФГБОУ ВО «Казанский
государственный аграрный университет»

Р.Х. Марданов

Д.т.н., профессор ФГБОУ ДПО «Татарский
институт переподготовки кадров агробизнеса»

Р.К. Абдрахманов

Практикум утвержден и рекомендован к печати на заседании кафедры
«Эксплуатация и ремонт машин», протокол №3 от 26 октября 2018 года.

Практикум обсужден, одобрен и рекомендован к печати на заседании
методической комиссии института механизации и технического сервиса,
протокол №3 от 29 октября 2018 года.

Калимуллин М.Н. Практикум для выполнения лабораторных,
практических и самостоятельных работ по дисциплине «Триботехника при
восстановлении ресурса машин» / М.Н. Калимуллин, Р.Р. Шайхутдинов,
И.Г. Галиев, И.Н. Сафиуллин, Р.Р. Ахметзянов, Т.Н. Вагизов. - Казань:
Изд-во Казанского ГАУ, 2018. - 48 с.

Практикум содержит методические указания для выполнения
лабораторных, практических и самостоятельных работ и способствует
формированию профессиональных компетенций.

УДК 621.891
ББК 34.41

© Казанский государственный аграрный университет , 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Методические указания по выполнению контрольных работ.....	4
Занятие №1 (лабораторное) ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ.....	9
Занятие №2 (лабораторное) ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	17
Занятие №3 (практическое) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ.....	28
Занятие №4 (практическое) ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В ПАРАХ ТРЕНИЯ.....	32
Занятие №5 (практическое) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	36
ЛИТЕРАТУРА.....	47

Методические указания по выполнению контрольных работ

Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.

Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, основной и дополнительной литературы; подготовку к практическим и лабораторным занятиям в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.

По курсу «Триботехника при восстановлении ресурса машин» в соответствии с рабочим учебным планом студенты заочного отделения самостоятельно выполняют по одной контрольной работе. Номера вопросов указаны в таблице 1.

Номера вопросов контрольных заданий, на которые должен ответить студент, устанавливаются по двум последним цифрам его шифра в таблице 1 (по горизонтали - предпоследняя цифра, а по вертикали - последняя), помещенных в конце перечня заданий. Например, для студента, имеющего шифр 2537, номера вопросов контрольных заданий указаны на пересечении строки 7 со столбцом 3, т.е. контрольная работа включает задания 24, 55, 73.

Студент выполняет контрольные задания строго в соответствии со своим шифром. Работы, выполненные не по индивидуальному шифру, не рецензируются. Последовательность изложения ответов должна соответствовать порядку задания вопросов в данном практикуме.

Контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 (297×210) с последующей брошюровкой или в обычной (школьной) тетради. При этом написание текста осуществляется в рукописном варианте.

Ответы на вопросы должны излагаться разборчивым почерком и четким изложением исходных сведений, содержания решений, содержать необходимые таблицы, формулы, причем каждая формула должна быть расшифрована, дана размерность каждой величине, входящей в формулу, указан литературный источник.

Результаты расчетов необходимо представить с применением Международной системы единиц измерения (СИ).

Для замечаний рецензента на каждой странице с правой стороны оставляются поля размером 30 мм.

Задания для выполнения контрольных работ (описать)

Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.

Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, основной и дополнительной литературы; подготовку к практическим и лабораторным занятиям в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.

По курсу «Триботехника при восстановлении ресурса машин» в соответствии с рабочим учебным планом студенты заочного отделения самостоятельно выполняют по одной контрольной работе. Номера вопросов указаны в таблице 1.

Номера вопросов контрольных заданий, на которые должен ответить студент, устанавливаются по двум последним цифрам его шифра в таблице 1 (по горизонтали - предпоследняя цифра, а по вертикали - последняя), помещенных в конце перечня заданий. Например, для студента, имеющего шифр 2537, номера вопросов контрольных заданий указаны на пересечении строки 7 со столбцом 3, т.е. контрольная работа включает задания 24, 55, 73.

Студент выполняет контрольные задания строго в соответствии со своим шифром. Работы, выполненные не по индивидуальному шифру, не рецензируются. Последовательность изложения ответов должна соответствовать порядку задания вопросов в данном практикуме.

Контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 (297×210) с последующей брошюровкой или в обычной (школьной) тетради. При этом написание текста осуществляется в рукописном варианте.

Ответы на вопросы должны излагаться разборчивым почерком и четким изложением исходных сведений, содержания решений, содержать необходимые таблицы, формулы, причем каждая формула должна быть расшифрована, дана размерность каждой величине, входящей в формулу, указан литературный источник.

Результаты расчетов необходимо представить с применением Международной системы единиц измерения (СИ).

Для замечаний рецензента на каждой странице с правой стороны оставляются поля размером 30 мм.

Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.

Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, основной и дополнительной литературы; подготовку к практическим и лабораторным занятиям в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.

По курсу «Триботехника при восстановлении ресурса машин» в соответствии с рабочим учебным планом студенты заочного отделения самостоятельно выполняют по одной контрольной работе. Номера вопросов указаны в таблице 1.

Номера вопросов контрольных заданий, на которые должен ответить студент, устанавливаются по двум последним цифрам его шифра в таблице 1 (по горизонтали - предпоследняя цифра, а по вертикали - последняя), помещенных в конце перечня заданий. Например, для студента, имеющего шифр 2537, номера вопросов контрольных заданий указаны на пересечении строки 7 со столбцом 3, т.е. контрольная работа включает задания 24, 55, 73.

Студент выполняет контрольные задания строго в соответствии со своим шифром. Работы, выполненные не по индивидуальному шифру, не рецензируются. Последовательность изложения ответов должна соответствовать порядку задания вопросов в данном практикуме.

Контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 (297×210) с последующей брошюровкой или в обычной (школьной) тетради. При этом написание текста осуществляется в рукописном варианте.

Ответы на вопросы должны излагаться разборчивым почерком и четким изложением исходных сведений, содержания решений, содержать необходимые таблицы, формулы, причем каждая формула должна быть расшифрована, дана размерность каждой величине, входящей в формулу, указан литературный источник.

Результаты расчетов необходимо представить с применением Международной системы единиц измерения (СИ).

Для замечаний рецензента на каждой странице с правой стороны оставляются поля размером 30 мм.

Самостоятельная работа студентов является составной частью их учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков, поиск и приобретение новых знаний.

Самостоятельная работа студентов включает в себя освоение теоретического материала на основе лекций, основной и дополнительной литературы; подготовку к практическим и лабораторным занятиям в индивидуальном и групповом режиме. Советы по самостоятельной работе с точки зрения использования литературы, времени, глубины проработки темы и др., а также контроль за деятельностью студента осуществляется во время занятий.

По курсу «Триботехника при восстановлении ресурса машин» в соответствии с рабочим учебным планом студенты заочного отделения самостоятельно выполняют по одной контрольной работе. Номера вопросов указаны в таблице 1.

Номера вопросов контрольных заданий, на которые должен ответить студент, устанавливаются по двум последним цифрам его шифра в таблице 1 (по горизонтали - предпоследняя цифра, а по вертикали - последняя), помещенных в конце перечня заданий. Например, для студента, имеющего шифр 2537, номера вопросов контрольных заданий указаны на пересечении строки 7 со столбцом 3, т.е. контрольная работа включает задания 24, 55, 73.

Студент выполняет контрольные задания строго в соответствии со своим шифром. Работы, выполненные не по индивидуальному шифру, не рецензируются. Последовательность изложения ответов должна соответствовать порядку задания вопросов в данном практикуме.

Контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 (297×210) с последующей брошюровкой или в обычной (школьной) тетради. При этом написание текста осуществляется в рукописном варианте.

Ответы на вопросы должны излагаться разборчивым почерком и четким изложением исходных сведений, содержания решений, содержать необходимые таблицы, формулы, причем каждая формула должна быть расшифрована, дана размерность каждой величине, входящей в формулу, указан литературный источник.

Результаты расчетов необходимо представить с применением Международной системы единиц измерения (СИ).

Для замечаний рецензента на каждой странице с правой стороны оставляются поля размером 30 мм.

Таблица 1 – Номера контрольных заданий

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	25, 52, 74	1, 26, 56	2, 27, 57	3, 28, 58	4, 29, 59	5, 30, 60	6, 31, 61	7, 32, 62	8, 33, 63	9, 34, 64
1	10, 35, 65	11, 36, 66	12, 37, 67	13, 38, 68	14, 39, 70	15, 40, 71	16, 41, 72	17, 42, 73	18, 43, 74	1, 19, 44
2	2, 20, 45	3, 21, 46	4, 22, 47	5, 23, 48	6, 24, 49	7, 25, 50	8, 26, 51	9, 27, 52	10, 28, 53	11, 29, 54
3	12, 30, 55	13, 31, 56	14, 32, 57	15, 33, 58	16, 34, 59	17, 35, 60	18, 36, 61	19, 37, 62	20, 38, 63	21, 39, 64
4	22, 40, 65	23, 41, 66	24, 42, 67	25, 43, 68	26, 44, 69	27, 45, 70	28, 46, 71	29, 47, 72	30, 48, 73	31, 49, 74
5	1, 32, 50	2, 33, 51	3, 34, 52	4, 35, 53	5, 36, 54	6, 37, 55	4, 38, 56	8, 39, 57	9, 40, 58	10, 41, 59
6	11, 42, 60	12, 43, 61	13, 44, 62	14, 45, 63	15, 46, 64	16, 47, 65	17, 48, 66	18, 49, 67	19, 50, 68	20, 51, 69
7	21, 52, 70	22, 53, 71	23, 54, 72	24, 55, 73	25, 56, 74	1, 31, 57	2, 32, 58	3, 33, 59	4, 34, 60	5, 35, 61
8	6, 36, 62	7, 37, 63	8, 38, 64	9, 39, 65	10, 40, 66	11, 41, 67	12, 42, 68	13, 43, 69	14, 44, 70	15, 45, 71
9	16, 46, 72	17, 47, 73	18, 48, 74	1, 19, 49	2, 20, 50	3, 21, 51	4, 22, 52	5, 23, 53	6, 24, 54	7, 25, 55

Занятие №1 (лабораторное)
Тема: «ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Изучить основные закономерности изнашивания и методы повышения износостойкости пар трения.
2. Ознакомиться с оборудованием, инструментами и материалами, применяемыми при исследовании износостойкости деталей.
3. Получить практические навыки по ведению испытаний образцов на износостойкость и обработке полученной информации.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рассмотрим связанные с износостойкостью материалов основные понятия и определения в соответствии с ГОСТ 27674-88.

Изнашивание - процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износ деталей - результат их изнашивания, определяемый в установленных единицах (длины, объема, массы и т.д.), проявляющийся в виде отделения и (или) остаточной деформации материала.

К абсолютным характеристикам износа относятся:

линейный износ h_L , измеряемый в мм;

объемный износ h_v , измеряемый в мм³;

износ по массе h_m , измеряемый в граммах.

К относительным характеристикам износа относятся скорость изнашивания и интенсивность изнашивания.

Скорость изнашивания - отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник.

Интенсивность изнашивания - отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы (наработке).

Износостойкость - свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

Общеизвестно, что одним из распространенных является механическое изнашивание, происходящее в результате механических взаимодействий материалов изделия (резание, выламывание частиц, пластическая деформация и т.д.).

Рабочие органы сельскохозяйственных машин, детали ходовой части тракторов и многие другие подвержены абразивному изнашиванию, которое есть не что иное как механическое изнашивание материала, происходящее в результате режущего и царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Механизм этого вида изнашивания заключается в удалении материала с изнашиваемой

поверхности в виде очень мелкой стружки (микрорезание), либо частиц материала по сторонам пластически деформированной царапины (пластическое отеснение), либо в виде частиц, хрупко отделяющихся при однократном или многократном воздействии.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины

(агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

1. Ознакомиться с оснащением рабочего места.
2. Изучить правила по технике безопасности.
3. Изучить принцип действия, устройство и правила эксплуатации машины трения 77МТ-1.
4. Провести сравнительные испытания на износостойкость образцов различной твердости.
5. Составить отчет о работе.

ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Машина трения 77МТ-1.
2. Прибор Роквелла ТК-2М.
3. Весы аналитические ВЛР-200.
4. Микрометр 0-25 мм.
5. Часы и секундомер СМ-60.
6. Лупа.
7. Бензин.
8. Обтирочный материал.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Запрещается работать на машине МИП-100-2 лицам, не изучившим устройство и принцип работы данной машины.
2. Видами опасности при работе на машине являются:
 - поражающее действие электрического тока.
3. Источниками видов опасности на машине являются:
4. Основные требования и необходимые меры для обеспечения безопасности работающих на машине:
 - крышками;
 - на корпусе машины и электрошкафа должны быть установлены

болты заземления для подключения линии защитного заземления.

5. Метод контроля защиты от поражения электрическим током - измерение сопротивления изоляции.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить принцип действия и устройство машины трения 77МТ-1

Установка (рисунок 1.1) имеет следующее устройство (техническая характеристика представлена в таблице 1.1. Станина 2 установлена на основании 1. На станине расположен электропривод, состоящий из двигателя постоянного тока 3 и редуктора 4.

Таблица 1.1 – Техническая характеристика машины трения 77МТ-1

Частота вращения вала эксцентрика	28... 280 мин ⁻¹
Длина хода нижнего образца	52 мм
Нагрузка на образцы	50... 750 Н
Масса и количество гирь нагружающего устройства	1 кг - 3 шт.
	2 кг - 2 шт.
	5 кг - 1 шт.
Максимальная относительная погрешность частоты вращения вала эксцентрика	± 3%
Максимальная относительная погрешность интенсивности изнашивания эталонных образцов, нормированная по среднему значению	± 30%
Потребляемая мощность не более	1,3 кВт
Напряжение переменного тока трехфазной силовой цепи	380 В
Частота переменного тока силовой цепи	50 Гц
Габаритные размеры:	
длина	910 мм
ширина	410 мм
высота	860 мм
Максимальная масса машины	190 кг

На входной вал редуктора насажен эксцентрик кривошипно-шатунного механизма. Шатун 6 приводит в возвратно-поступательное движение ползун 7, на тележке которого закрепляется подвижный образец 11. Неподвижный образец 10 тремя винтами закрепляется в нижней части стакана 9.

Таким образом, образцы приводятся в относительное возвратно-поступательное движение, скорость которого регулируется изменением частоты вращения электродвигателя посредством ручки регулятора 13.

Нагрузка на образцы обеспечивается нагружающим устройством, которое состоит из навески с гирями 12, которые через рычаг 8 и пружину давят на стакан 9, прижимая неподвижный образец 10 к подвижному 11 с усилием равным:

$$F = G_{ст} + 2.5G_{рыч} + 5G_2, \quad (1.8)$$

где $G_{ст}$ - вес стакана, Н;

$G_{рыч}$ - вес рычага, Н;

G_2 - общий вес навески о гирями, Н.

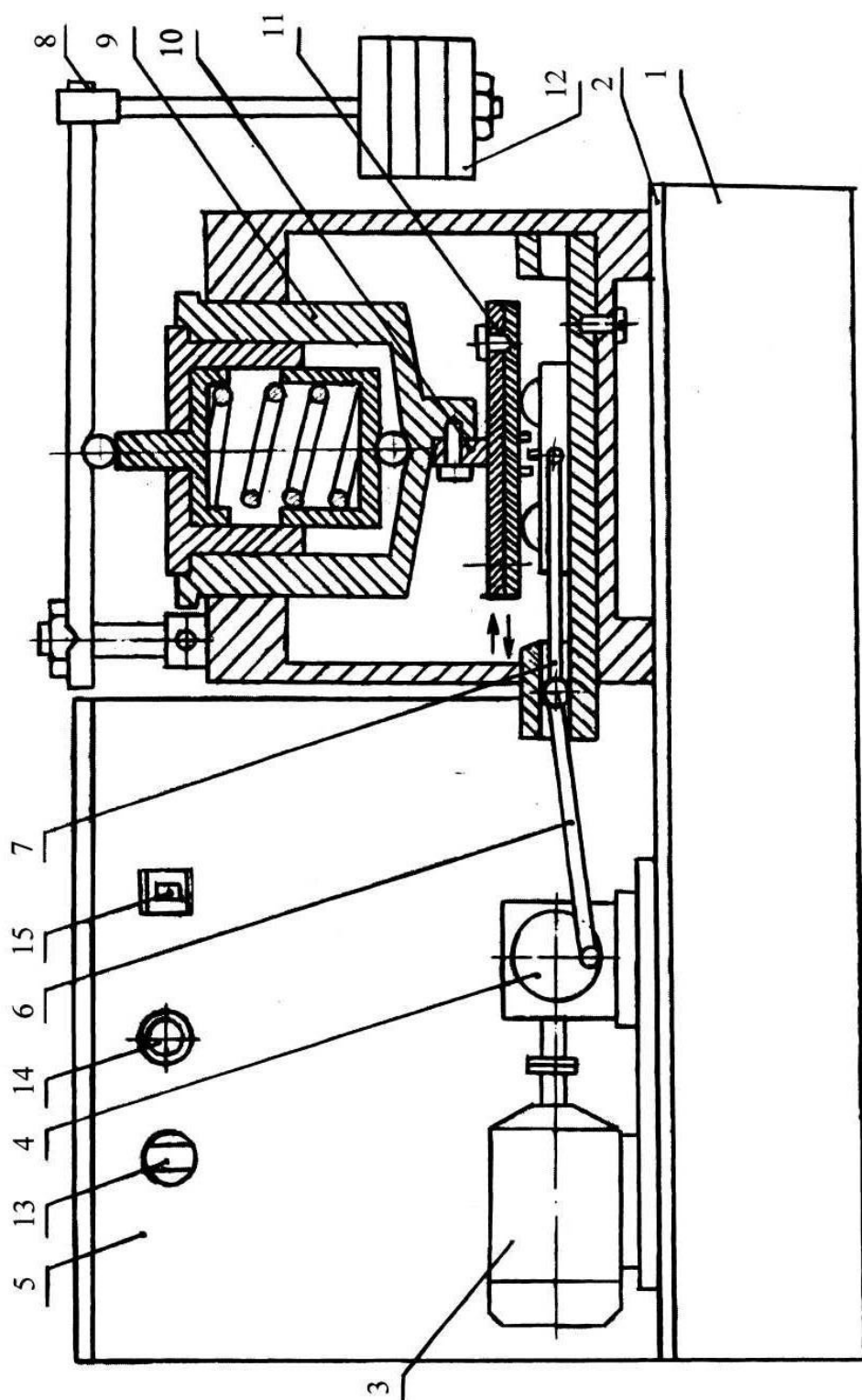


Рисунок 1.1 – Схема машины трения

Здесь i - номер опыта и t_i - числовые значения измеряемых величин (в данном случае - упругость пружины). В таком виде статистические данные не дают наглядности. Поэтому требуется обработка такого ряда, то есть необходимо построить так называемый «статистический ряд». Для этого все имеющиеся значения располагают в порядке возрастания.

Далее определяют зону рассеивания S :

$$S = t_{\max} - t_{\min}, \quad (2.1)$$

где t_{\max} - наибольшее значение случайной величины;

t_{\min} - наименьшее значение случайной величины.

Для характеристики результатов опытов существенно не только их среднее значение и разброс, но и то, какой закономерности подчиняется распределение отдельных результатов. То есть, каких результатов больше, каких меньше и т.д.

Известное представление о характере распределения можно получить, представив результаты опытов в виде графиков.

Чтобы построить график, называемый гистограммой, зону рассеивания разбивают на группы, соответствующие одинаковым интервалам значений опытных данных. Число таких групп (разрядов или интервалов) в зависимости от общей численности результатов колеблется в пределах от 5 до 15 и определяется по формуле:

$$K \cong \sqrt{n}, \quad (2.2)$$

где K – количество разрядов;

n – общее число замеров.

Длина разряда:

$$L = S / K. \quad (2.3)$$

Для построения гистограммы нужно вначале заполнить таблицу 2.4, которая представляет собой статистический ряд.

Здесь i - номер опыта и t_i - числовые значения измеряемых величин (в данном случае - упругость пружины). В таком виде статистические данные не дают наглядности. Поэтому требуется обработка такого ряда, то есть необходимо построить так называемый «статистический ряд». Для этого все имеющиеся значения располагают в порядке возрастания.

Далее определяют зону рассеивания S :

$$S = t_{\max} - t_{\min}, \quad (2.1)$$

где t_{\max} - наибольшее значение случайной величины;

t_{\min} - наименьшее значение случайной величины.

Для характеристики результатов опытов существенно не только их среднее значение и разброс, но и то, какой закономерности подчиняется распределение отдельных результатов. То есть, каких результатов больше, каких меньше и т.д.

Известное представление о характере распределения можно получить, представив результаты опытов в виде графиков.

Чтобы построить график, называемый гистограммой, зону рассеивания разбивают на группы, соответствующие одинаковым интервалам значений опытных данных. Число таких групп (разрядов или интервалов) в зависимости от общей численности результатов колеблется в пределах от 5 до 15 и определяется по формуле:

$$K \cong \sqrt{n}, \quad (2.2)$$

где K – количество разрядов;

n – общее число замеров.

Длина разряда:

$$L = S / K. \quad (2.3)$$

Для построения гистограммы нужно вначале заполнить таблицу 2.4, которая представляет собой статистический ряд.

13. Построить графики:

$$i = f(H),$$

$$i = f(P),$$

$$i = f(t).$$

14. Составить отчет о работе:

- схема машины трения;
- эскиз образца;
- расчетные формулы;
- результаты замеров (табл. 1.2);
- графики зависимостей.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. В чем заключается сущность изнашивания материалов?
2. Что такое износ?
3. В чем заключается различие между понятиями «скорость изнашивания» и «интенсивность изнашивания»?
4. Что такое износостойкость материалов и от каких факторов она зависит?
5. Назовите конструкторские, технологические, эксплуатационные и ремонтные мероприятия по повышению износостойкости пар трения.

Таблица 1.2 – Результаты замеров

№ образца	Материал	НВ, Па	a, мм	b, мм	c, мм	a _t , мм	$h_L=(a - a_t),$ мм	m, мг	m _t , мг	$h_m=m-m_t,$ мг	t, с	n	j_L $\frac{MKM}{M}$	j_m мг/м	i_L $\frac{MKM}{ч}$	i_m мг/ч
1																
2																
3																

Занятие №2 (лабораторное)
Тема: «ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с оборудованием и инструментами, применяемыми при дефектации.
2. Получить практические навыки по дефектации деталей.
3. Научиться определять остаточный ресурс деталей и проводить предварительную математическую обработку полученных при дефектации данных.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Поскольку при капитальном ремонте восстанавливается не только работоспособность, но и ресурс ремонтируемого объекта, то все его детали подвергаются дефектации и те из них, которые вследствие изнашивания не смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, заменяются новыми запасными частями или восстанавливаются. А те детали, которые смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, поступают на сборку.

Дефектация - операция технологического процесса ремонта машины, заключающаяся в определении степени годности бывших в эксплуатации деталей и сборочных единиц к использованию на ремонтируемом объекте.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

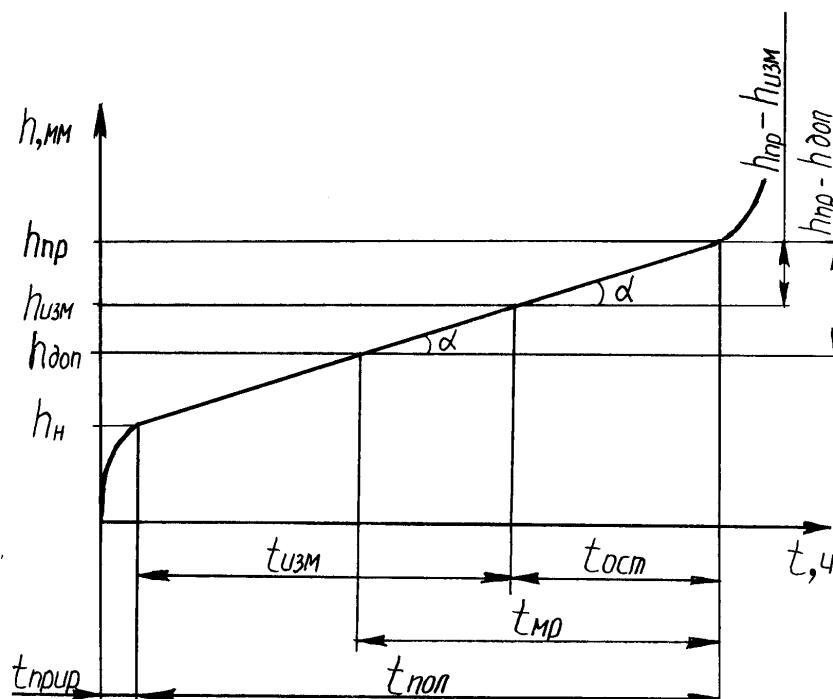
Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.



- $t_{пол}$ - полный ресурс детали;
 $t_{мр}$ - нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), в которую устанавливается деталь;
 $t_{ост}$ - остаточный ресурс детали в момент ее измерения при дефектации;
 $t_{прпр}$ - продолжительность приработки;
 h_n - нормальный размер детали (величина износа или зазора)
 $h_{изм}$ - размер детали в момент ее измерения при дефектации;
 $h_{доп}$ - допустимый размер детали;
 $h_{пр}$ - предельный размер детали;
 $tg\alpha=i$ - скорость изнашивания.

Рисунок 2.1 – Типичная кривая нарастания износа (зазора)

ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

1. Машина для испытания пружин МИП-100-2.
2. Изношенные детали машин в большом количестве (пружины, подшипники и др.).
3. Микрометры 0-25 мм и 25-50 мм.
4. Штангенциркуль с точностью измерения 0,05 мм.
5. Угольник 160x100.
6. Набор щупов №2.
7. Технические условия на дефектацию.
8. Обтирочный материал.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

1. Ознакомиться с оснащением рабочего места.
2. Ознакомиться с правилами техники безопасности при работе на машине для испытания пружин МИП-100-2.
3. Изучить устройство, принцип работы и правила эксплуатации машины МИП-100-2.
4. Ознакомиться с техническими условиями на дефектацию.

5. Продефектовать партию пружин (по заданию преподавателя) и провести предварительную математическую обработку полученных данных.

6. Произвести дефектацию и определить остаточный ресурс подшипника.

7. Оформить отчет о работе.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

6. Запрещается работать на машине МИП-100-2 лицам, не изучившим устройство и принцип работы данной машины.

7. Видами опасности при работе на машине являются:

- воздействие подвижных элементов;
- поражающее действие электрического тока.

8. Источниками видов опасности на машине являются:

- открытые движущиеся части машины (нагружающая каретка);
- токоведущие элементы машины.

9. Основные требования и необходимые меры для обеспечения безопасности работающих на машине:

- все токоведущие элементы электрооборудования должны быть изолированы от корпуса машины, и иметь необходимую величину сопротивления изоляции;

- все токоведущие части должны быть закрыты ограждениями и крышками;

- на корпусе машины и электрошкафа должны быть установлены болты заземления для подключения линии защитного заземления.

10. Метод контроля защиты от поражения электрическим током - измерение сопротивления изоляции.

11. Запрещается:

- работать при нагрузках, превышающих 1000 Н;
- работать на механическом приводе со скоростью нагружения больше 600 Н/с, то есть испытывать пружины с жесткостью $C > 850 \text{ Н/см}$;
- работать при снятом ограждении;
- работать с числом двойных ходов в минуту более 8;
- допускать удары по машине и циферблатному указательному прибору.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Дефектация пружин и обработка полученных данных

1.1 Подготовка МИП-100-2 к работе

Проверить наличие масла в редукторе и демпфере. В случае отсутствия залить 0,25 л масла «Индустриальное И-50» в редуктор и 0,15 л масла И-12 - в демпфер.

Посредством штепсельных разъемов подключить машину к электрошкафу, а электрошкаф - к сети, предварительно поставив пакетный выключатель «СЕТЬ» в положение «ВЫКЛЮЧЕНО».

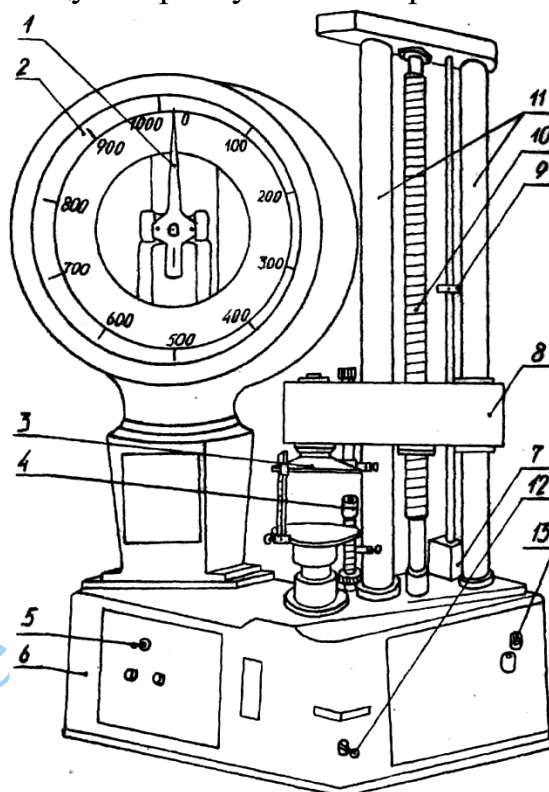
Включить установку, поставив пакетный выключатель «СЕТЬ» в положение «ВКЛЮЧЕНО».

Подводку изолировать и предохранить от возможных механических повреждений, корпус машины и электрошкафа заземлить через специальные заземляющие болты, находящиеся на корпусе машины рядом с электродвигателем, а на электрошкафу - на панели со стороны пакетного выключателя.

1.2 Порядок работы

Поставить пакетный выключатель «СЕТЬ» в положение «ВКЛЮЧЕНО». В зависимости от вида испытания выбрать необходимое приспособление.

Поместить испытываемую пружину на рабочую платформу и ручкой 12 установить показывающую стрелку силоизмерителя на нуль (рис. 2.2).



1- стрелка; 2 - циферблат; 3 - упор траверса; 4 - подвижный упор; 5 - тумблер режима работы; 6 - станина; 7 - микропереключатель; 8 - каретка; 9 - цанговый зажим; 10 - винт; 11 - направляющие стойки; 12 - ручной привод настройки силоизмерителя; 13 - ручной привод каретки.

Рисунок 2.2 – Машина для испытания пружин МПП-100-2

С помощью ручного привода деформировать пружину до заданной величины.

Подвести подвижный упор 4 под упор на каретке 8, при этом должен сработать микропереключатель 7.

На циферблатном приборе 2 установить с помощью указателей допуск по нагрузке.

Поставить в нужное положение ограничитель верхнего хода каретки.

Каретку 8 поднять ручным приводом 13.

Машина работает в периодическом и непрерывном режимах.

Выключить ручной привод. Поставить тумблер рода работы 5 в положение «ПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ». Нажатием на кнопку «ПУСК» включить машину, при этом каретка 8 должна двигаться вниз.

В случае движения каретки вверх, выключить машину и сменить чередование фаз питающего напряжения двигателя.

Время, на которое должна остановиться стрелка силоизмерителя, достаточное для снятия показаний, а также число двойных ходов каретки регулировать при помощи реле времени, находящегося в электрошкафу.

1.3 Дефектация пружин

Наружные дефекты пружин выявляются осмотром. Упругость определяется измерением усилия пружины, сжатой до рабочей длины. Для измерения используют прибор МИП-100-2. Пружины считаются годными, если поверхность витков ровная и гладкая, без следов коррозии, трещин и надломов, а опорные торцы плоские и перпендикулярные к оси пружины. Отклонение от перпендикулярности для пружин клапанов, муфт сцепления и регулятора пускового двигателя допускается не более 2 мм на 100 мм длины, а для остальных пружин - не более 3 мм на длину 100 мм; неравномерность шага витков пружины не должна превышать 20 % .

Усилия пружин, сжатых до рабочей высоты, приводятся в технических требованиях на дефектацию деталей и сопряжений по отдельным маркам машин. В таблице 2.1 приведены технические требования на дефектацию клапанных пружин, а в таблице 2.2 – технические требования на дефектацию пружин муфт сцепления различных двигателей.

Таблица 2.1 – Упругость и длина клапанных пружин

Марка двигателя	Клапанная пружина	Упругость пружины на рабочей длине, Н		Длина пружины, мм	
		нормальное	допустимое	в свободном состоянии	в рабочем состоянии
ЯМЗ-240	внутренняя	241...271	220	63	37
ЯМЗ-238Н	наружная	419...473	380	74	42
А-01М	внутренняя	128±7,5	102	63	50
А-41	наружная	250±15	212	74	56
СМД-60	внутренняя	256±15	220	63	37
СМД-62	наружная	446±26,7	380	74	42
СМД-18	внутренняя	60±4,5	50	73	52,5
	наружная	190±14	158	77	55,0
Д-240	внутренняя	88,6±7,0	77	58,5	48,5
	наружная	174±14	152	64	54

Таблица 2.2 – Упругость и длина пружин муфт сцепления

Марка двигателя	Длина в рабочем состоянии, мм	Упругость при сжатии до длины рабочего состояния, Н	
		нормальная	допустимая
СМД-60, СМД-62	54,0	524±60	450
А-01М	48,5 ^{1*}	550 ⁻⁵⁰ +110	475 ^{1*}
	63,0 ^{2*}	235 ⁻¹⁰ +35	220 ^{2*}
А-41	48,5 ^{1*}	370±56	260 ^{1*}
	48,5 ^{2*}	188±28	148 ^{2*}
СМД-18 и его модификации	47,6 ^{3*}	410 ⁻¹⁰ +30	390 ^{3*}
	47,5 ^{4*}	150±15	130 ^{4*}
Д-240, Д-240Л	48,0	690 ⁻⁸⁰ +50	580
Д-37М, Д-37Е	82,0	570±70	475

1* - наружная пружина

2* - внутренняя пружина

3* - деталь 14-2144-2А

4* - деталь 14-2146-А

1.4 Методика предварительной обработки полученных при дефектации данных

По заданию преподавателя каждый студент проводит дефектацию партии деталей (20...50 шт.). Полученные данные необходимо записывать в рабочую тетрадь (таблица 2.3).

Таблица 2.3- Простой статистический ряд

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	...	n
<i>t_i</i>	22,4	26,7	26,3	24,1	25,0	23,9	22,5

Здесь *i* - номер опыта и *t_i* - числовые значения измеряемых величин (в данном случае - упругость пружины). В таком виде статистические данные не дают наглядности. Поэтому требуется обработка такого ряда, то есть необходимо построить так называемый «статистический ряд». Для этого все имеющиеся значения располагают в порядке возрастания.

Далее определяют зону рассеивания *S*:

$$S = t_{max} - t_{min}, \quad (2.1)$$

где *t_{max}* - наибольшее значение случайной величины;

t_{min} - наименьшее значение случайной величины.

Для характеристики результатов опытов существенно не только их среднее значение и разброс, но и то, какой закономерности подчиняется распределение отдельных результатов. То есть, каких результатов больше, каких меньше и т.д.

Известное представление о характере распределения можно получить, представив результаты опытов в виде графиков.

Чтобы построить график, называемый гистограммой, зону рассеивания разбивают на группы, соответствующие одинаковым интервалам значений опытных данных. Число таких групп (разрядов или

интервалов) в зависимости от общей численности результатов колеблется в пределах от 5 до 15 и определяется по формуле:

$$K \cong \sqrt{n}, \quad (2.2)$$

где K – количество разрядов;

n – общее число замеров.

Длина разряда:

$$L = S / K. \quad (2.3)$$

Для построения гистограммы нужно вначале заполнить таблицу 2.4, которая представляет собой статистический ряд.

Таблица 2.4 – Определение частоты и частоты

Разряды от и до	21...22	22...23	23...24	24...25	25...26
m_i – частота или число событий в разряде	3	7	10	3	2
m_i/n , частость	0,12	0,28	0,4	0,12	0,08

Здесь n – общее число замеров (опытов).

Далее строят прямоугольники одинаковой ширины с высотой, пропорциональной числу результатов в каждом разряде. Это есть гистограмма, а если соединить между собой середины верхних оснований прямоугольников, то получится **ПОЛИГОН**.

Масштаб удобно выбрать так, чтобы наибольшая высота равнялась примерно ширине графика. Пример построения гистограммы и полигона показан на рисунке 2.3.

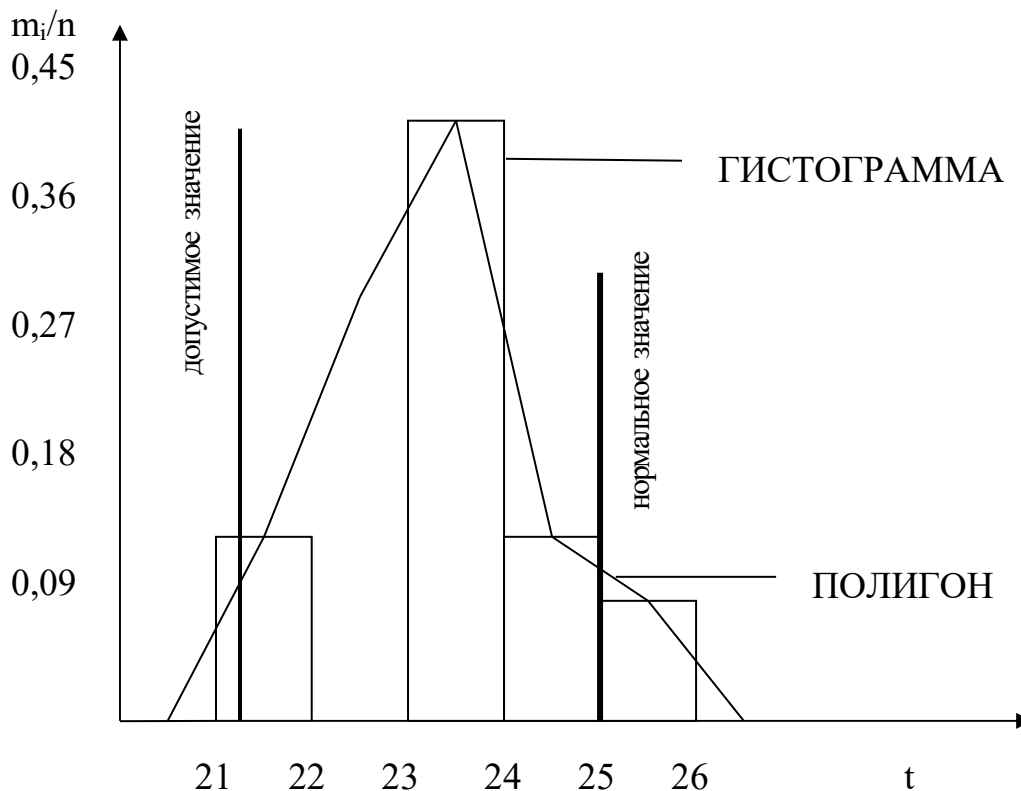


Рисунок 2.3 – Пример построения гистограммы и полигона

После построения графиков необходимо нанести на них нормальное и допустимое значения измеряемых величин и сделать заключение.

2 Дефектация подшипников качения и определение остаточного ресурса

2.1 Последовательность дефектации

Перед дефектацией подшипники необходимо тщательно промыть в бензине или дизельном топливе. Порядок контроля следующий - осмотр, проверка на шум и легкость вращения, измерение радиального зазора и размеров колец.

Осмотром выявляется наличие трещин, усталостных разрушений, забоин, вмятин, коррозии, износа.

Не допускаются к сборке подшипники, имеющие трещины или выкрашивание металла на кольцах и телах качения; цвета побежалости; выбоины и отпечатки (лунки) на беговых дорожках колец; коррозию, шелушение металла, чешуйчатые отслоения, раковины, глубокие риски и забоины на беговых дорожках колец и телах качения; надломы сквозные трещины на сепараторе; отсутствие или ослабление заклепок сепаратора; забоины и вмятины на сепараторе, препятствующие плавному вращению подшипника; неравномерный износ беговых дорожек, образование "ёлки" в упорных и радиально-упорных подшипниках; заметную на глаз и на ощупь ступенчатую выработку рабочей поверхности колец. Допускаются к сборке подшипники, имеющие царапины, риски на посадочных поверхностях колец, матовую поверхность беговых дорожек колец и тел качения.

Годные по результатам наружного осмотра подшипники подвергают проверке на легкость вращения, предварительно окунув в 10%-ный раствор дизельного масла в бензине. Проверку производят, вращая наружное кольцо и удерживая внутреннее. Наружное кольцо исправного подшипника должно вращаться легко, без заметных местных притормаживаний и заеданий, останавливаться плавно, без рывков и стука. При вращении кольца должен быть слышен глухой шипящий звук, резкий металлический и дребезжащий звук не допускается. Неравномерность вращения подшипника определяется по отдаче в руку. Рывки указывают на наличие в подшипниках механических или абразивных частиц, а стуки - на вмятины и коррозионные раковины на телах и дорожках качения, большой износ сепараторов. При торможении, заедании подшипник следует еще раз промыть и повторить проверку. Если при повторной проверке дефект не исчезает, подшипник бракуют.

Все подшипники, кроме упорных и конических, успешно прошедшие контроль наружным осмотром и выдержавшие испытание на шум и легкость вращения, проверяются на радиальный зазор. У конических подшипников замеряют монтажную высоту. При этом выступание роликов из-за наружного кольца не допускается. Для замера радиального зазора используют прибор КИ-1223 (рис.2.4). Проверяемый подшипник укладывают на плиту и конусом прижимают к ней внутреннее кольцо.

Затем осуществляют перемещение индикатора до соприкосновения его ножки с наружным кольцом подшипника. Стрелка индикатора должна при этом повернуться на один-два оборота, после чего индикатор фиксируется. Для определения радиального зазора наружное кольцо необходимо переместить вдоль оси ножки индикатора сначала в одну, а затем в противоположную сторону. По отклонению стрелки индикатора определяют величину радиального зазора в подшипнике. Для более точного и надежного определения зазора необходимо повторить проверку, предварительно провернув наружное кольцо подшипника на 90°. Усилие на кольцо должно составлять 50...100 Н.

При отсутствии прибора КИ-1223 радиальный зазор можно определить, замерив штангенциркулем размеры a и b при прижатом к одной стороне внутреннем кольце подшипника (рис.2.5). Радиальный зазор при этом будет равен:

$$h_{изм} = b - a. \quad (2.4)$$

Диаметр колец следует измерять только в тех случаях, когда имеются следы сдвига их относительно вала и корпуса (светлые, блестящие пятна, риски на посадочных поверхностях), а также при наличии следов коррозии, ожогов и черноты.

Технические требования на дефектацию некоторых подшипников приведены в таблице 2.5.

Величина предельного и допустимого зазоров зависит не только от размеров подшипника, но и от места его установки. Например, у подшипника № 407, устанавливаемого в поддерживающем ролике трактора ДТ-75М, допустимый и предельный радиальные зазоры равны 0,40 и 1,00 мм соответственно.

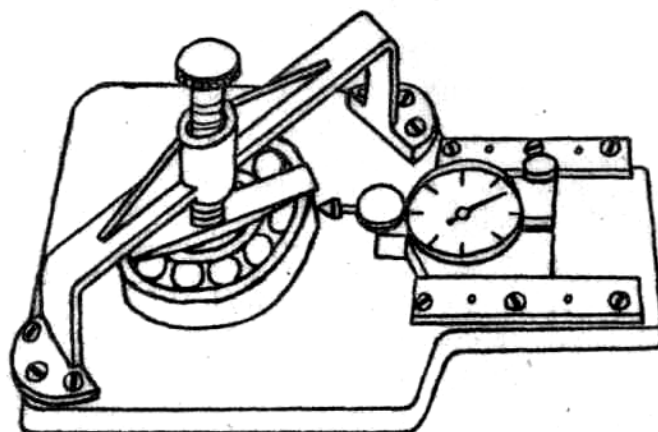


Рисунок 2.4 – Прибор КИ-1223 для дефектации подшипников

Измерив радиальный зазор подшипника (по заданию преподавателя), нужно сделать заключение о возможности его дальнейшего использования и определить величину остаточного ресурса.

На рисунке 2.5 представлена схема для замера радиального зазора в подшипнике.

Таблица 2.5 – Технические требования на дефектацию подшипников качения

Номер подшипника	Радиальный зазор, мм			Допустимый диаметр колец, мм	
	нормальный (чертежный)	допустимый	предельный	внутреннего	наружного
200	0,008...0,022	0,05	0,20	10,01	29,99
204	0,010...0,024	0,10	0,30	20,01	46,98
205	0,010...0,024	9,10	0,30	25,01	51,98
206	0,010...0,024	0,10	0,30	30,01	61,98
307	0,012...0,026	0,10	0,30	35,02	79,97
208	0,012...0,026	0,15	0,40	40,02	79,97
308	0,012...0,026	0,15	0,40	40,02	89,97
210	0,013...0,033	0,15	0,40	50,02	89,97
311	0,013...0,033	0,15	0,40	55,02	99,97
411	0,013...0,033	0,15	0,40	55,02	139,97
317	0,018...0,042	0,20	0,50	85,02	179,97
102605M	0,010...0,024	0,15	0,30	30,01	61,98
12210	0,020...0,055	0,25	0,40	50,02	89,97
32216	0,030...0,070	0,25	0,50	80,02	139,97
Монтажная высота					
7608K4	35,0...35,5	34,0	33,0	40,02	89,97
Монтажная высота					
7609K	36,0...38,5	37,0	36,0	45,02	99,97
7909K	—	—	-	45,02	99,97

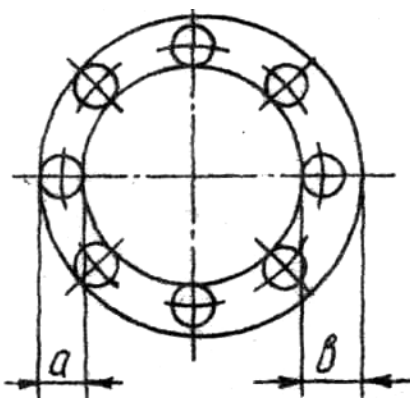


Рисунок 2.5 – К замеру радиального зазора

Из рисунка 2.5 видно, что:

$$\frac{h_{i\delta} - h_{e\zeta i}}{t_{i\tilde{n}\delta}} = \operatorname{tg}\alpha, \text{ откуда } t_{i\tilde{n}\delta} = \frac{h_{i\delta} - h_{e\zeta i}}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

Так как $tg\alpha = i = \frac{h_{i\delta} - h_{ai\bar{i}}}{t_{i\delta}}$, то остаточный ресурс будет равен:

$$t_{i\tilde{n}\delta} = \frac{(h_{i\delta} - h_{e\bar{c}i}) t_{i\delta}}{h_{i\delta} - h_{ai\bar{i}}}. \quad (2.5)$$

При $h_{изм} \leq h_{дон}$ и $t_{ост} \geq t_{мр}$, значит подшипник способен проработать до следующего капитального ремонта и его считают годным и отправляют на сборку машины (агрегата).

А при $h_{изм} > h_{дон}$ и $t_{ост} < t_{мр}$, в этом случае подшипник бракуется, так как он не сможет проработать до следующего капитального ремонта машины (агрегата) и выйдет из строя раньше, чем машина (агрегат) выработает свой межремонтный ресурс.

Произведя замеры, следует построить в масштабе кривую износа подшипника, показывающую закономерность изменения его радиального зазора в процессе работы. Поскольку нормальный размер всегда получается с предельными отклонениями (верхним и нижним), то за основу берется наихудший вариант, а именно: для деталей типа «вал» за нормальный размер принимается нижний предел, а для «отверстия» или «зазора» - верхний предел. Например, нормальный зазор подшипника №206 (таблица 2.5) равен 0,010...0,024 мм. Для расчетов и построения кривой мы принимаем верхний предел ($h_n = 0,024$ мм).

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

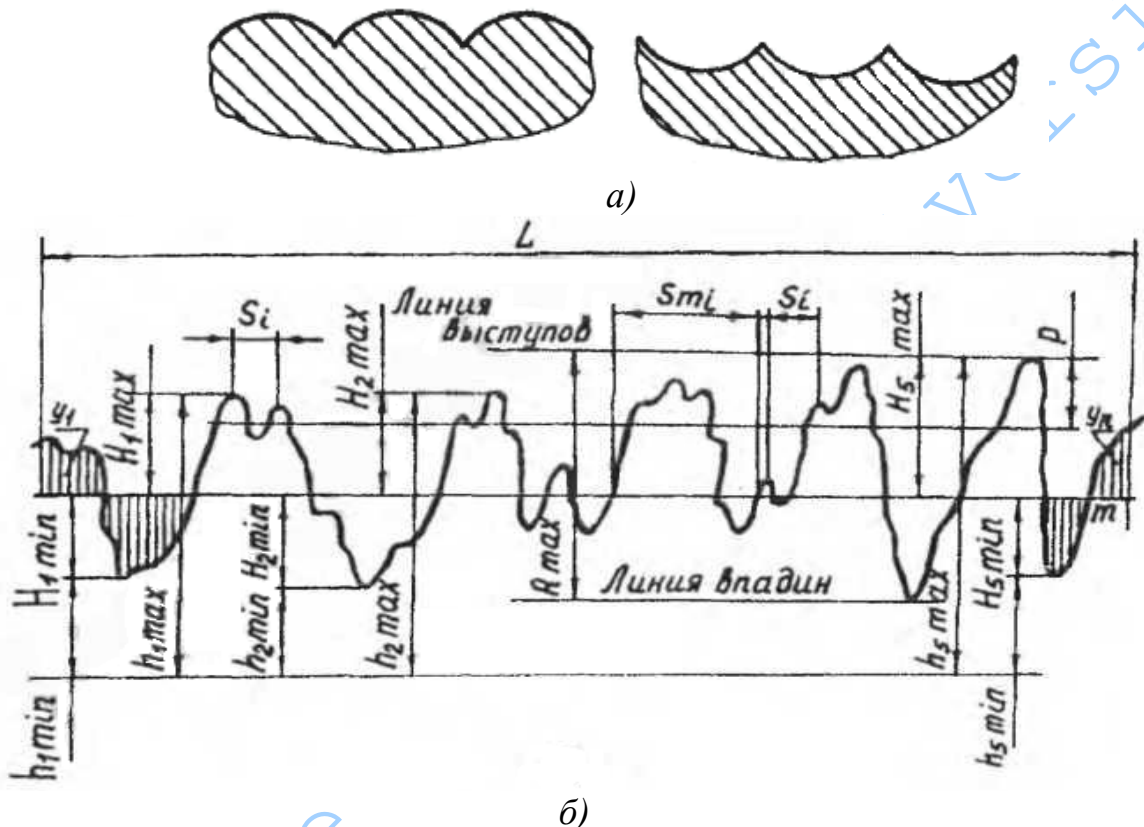
1. Наименование и цель работы.
2. Типичная кривая нарастания износа (рис. 2.1).
3. Простой статистический ряд (табл.2.3).
4. Статистический ряд (табл.2.4).
5. Гистограмма и полигон (рис.2.3), заключение о годности пружин.
6. Расчет остаточного ресурса с построением кривой износа и заключением о годности подшипника.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Что такое дефектация деталей и сопряжений?
2. Дать определение нормального, допустимого и предельного размеров.
3. В каких случаях (по каким признакам) пружины признаются не годными?
4. Опишите порядок дефектации подшипников качения.
5. В каких случаях (по каким признакам) подшипники качения признаются негодными?

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить параметры шероховатости поверхности детали в соответствии с профилограммой (рис. 3.1), приняв исходные данные расшифровки профилограммы из табл. 3.1.
2. Обозначить шероховатость поверхности на чертежах (рис. 3.2) в соответствии с ГОСТ 2.309-73.



а - два профиля поверхности с одинаковыми высотными параметрами;
б - параметры шероховатости поверхности
Рисунок 3.1 – Профили поверхности

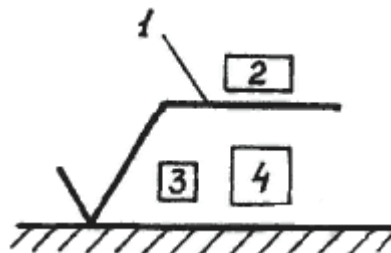


Рисунок 3.2 – Обозначения шероховатости поверхностей

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Шероховатость поверхности - размерная характеристика поверхности. Количественно шероховатость можно оценить показателями. ГОСТ 2789-73 предусматривает шесть параметров, характеризующих шероховатость поверхности (см. рис. 3.1): три высотных - R_a , R_z и R_{max} , два шаговых - S и S_m и относительная опорная длина профиля t_R .

Таблица 3.1 – Исходные данные для определения параметров шероховатости поверхностей деталей

Параметры	Варианты задания							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Вид обработки деталей	Торцовое фрезерование	Строгание	Точение	Растачивание	Плоское шлифование	Круглое шлифование	Развертывание	Протягивание
Материал	Сталь							
l	140	145	150	155	145	140	160	170
U_1	0,63	0,68	0,75	0,32	0,16	0,08	0,16	0,32
U_2	0,65	0,65	0,70	0,40	0,20	0,10	0,20	0,38
U_3	0,68	0,70	0,65	0,45	0,28	0,15	0,30	0,36
U_4	0,70	0,75	0,32	0,40	0,30	0,20	0,40	0,40
U_5	0,60	0,90	0,40	0,50	0,32	0,25	0,35	0,50
U_6	0,65	0,95	0,45	0,60	0,60	0,40	0,63	0,60
U_7	0,90	0,98	0,50	0,80	0,70	0,50	0,70	0,70
U_8	0,95	0,92	0,85	0,90	0,80	0,60	0,90	0,80
U_9	1,25	1,50	0,95	1,50	1,25	0,80	1,10	0,85
U_{10}	2,00	2,50	1,25	2,50	1,50	0,95	1,25	0,90
b_1	0,30	0,42	0,35	0,40	0,16	0,08	0,16	0,30
b_2	0,32	0,46	0,36	0,42	0,17	0,10	0,18	0,38
b_3	0,38	0,38	0,40	0,50	0,18	0,12	0,20	0,32
b_4	0,42	0,54	0,42	0,55	0,20	0,14	0,21	0,36
b_5	0,50	0,20	0,54	0,38	0,23	0,20	0,28	0,42
b_6	0,55	0,26	0,60	0,40	0,20	0,18	0,26	0,40
b_7	0,58	0,60	0,38	0,42	0,32	0,40	0,30	0,48
b_8	0,45	0,54	0,42	0,36	0,30	0,38	0,34	0,52
b_9	0,65	0,70	0,40	0,60	0,44	0,50	0,48	0,65
b_{10}	0,70	0,42	0,45	0,70	0,48	0,56	0,50	0,70
S_1	0,60	0,84	0,70	0,80	0,32	0,16	0,32	0,60
S_3	0,76	0,76	0,80	1,00	0,36	0,24	0,40	0,64
S_5	1,00	0,40	1,08	0,76	0,46	0,40	0,56	0,84
S_7	1,16	1,20	0,76	0,84	0,64	0,80	0,60	0,96
S_9	1,30	1,40	0,80	1,20	0,88	1,00	0,96	1,30
S_{m1}	0,60	0,84	0,70	0,80	0,32	0,16	0,32	0,60
S_{m2}	0,80	0,82	0,86	1,10	1,00	0,60	0,80	1,25
S_{m3}	0,76	0,76	0,80	1,00	0,36	0,24	0,40	0,04
S_{m4}	0,84	1,08	0,84	1,10	0,40	0,28	0,45	0,80
S_{m5}	1,20	0,80	1,28	1,50	0,92	0,85	1,12	1,68
S_{m6}	1,10	0,56	1,20	0,80	0,50	0,40	0,52	0,85
S_{m7}	1,20	1,40	1,50	1,70	1,30	1,60	1,20	2,00
S_{m8}	0,92	1,10	0,84	0,76	0,60	0,76	0,68	1,04
S_{m9}	1,50	1,45	1,10	1,40	1,70	1,00	1,80	2,50
S_{m10}	1,40	0,84	0,95	1,50	0,96	1,12	1,20	1,40

Средним арифметическим отклонением профиля R_a называют

среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины l (см. рис. 3.1):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y(x)| dx$$

или

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i| \quad (3.1)$$

На профилограмме положение средней линии профиля определяют так, чтобы площади F по обе стороны от нее до контура профиля были равны, т.е. чтобы:

$$\int_0^l |Y(x)| dx = 0$$

или

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_n, \quad (3.2)$$

где $F_i = Y_i b_i$.

Длину базовой линии, используемую для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, называют *базовой длиной* l .

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z представляет собой сумму средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины (см. рис. 3.1):

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |Y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |Y_{vi}| \right). \quad (3.3)$$

где Y_{pi} и Y_{vi} – высота (нечетные) и глубина (четные) наибольших i -тых выступов и впадин.

Наибольшая высота неровностей профиля R_{max} является полной высотой профиля, т.е. расстоянием между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

Средний шаг местных выступов профиля S – среднее значение шагов местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (3.4)$$

Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}. \quad (3.5)$$

Параметры S и S_m дают представление о расстояниях между характерными точками пересечения профиля со средней линией.

Относительная опорная длина профиля t_p - отношение опорной длины профиля, равной сумме длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантной средней линии в пределах базовой длины, к базовой длине;

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} . \quad (3.6)$$

Дефектация - операция технологического процесса ремонта машины, заключающаяся в определении степени годности бывших в эксплуатации деталей и сборочных единиц к использованию на ремонтируемом объекте.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.



ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Перечислите свойства поверхности деталей и дайте им пояснения.
2. Что такое геометрия поверхности? Какие параметры его определяют? Дайте им определения.
3. Каким образом осуществляется контроль микроотклонений поверхности деталей?
4. Что такое поверхностный слой детали? Каким образом изменяется структура поверхностного слоя детали при ее обработке?

Занятие №4 (практическое)

Тема: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В ПАРАХ ТРЕНИЯ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить распределение контактных напряжений при линейном контакте (рис. 4.1) и распределение напряжений и относительных деформаций при сжатии шара с плоскостью (рис. 4.2).

2. Определить контактные напряжения при упругом сжатии тел под действием нормальных сил в соответствии с вариантами заданий (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Варианты заданий для определения контактных напряжений при упругом сжатии тел под действием нормальных сил

Параметры	Варианты задания							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Модуль упругости	$E_1=E_2=21 \cdot 10^4 \text{ МПа}$							
Коэффициент Пуассона	$\mu_1=\mu_2=0,3$							
$\rho_1, \text{мм}$	17	18	19	20	21	22	23	24
$\rho_2, \text{мм}$	20	20	21	21	23	23	25	27
$L, \text{мм}$	19	19	19	20	20	20	21	21
$F, \text{Н}$	675	675	675	700	700	750	750	750

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Под контактными напряжениями понимают напряжения на поверхностях касания двух тел при передаче усилия от одного к другому. Задачу о напряженном состоянии контактирующих под нагрузкой тел называют контактной. Первоначальное (при отсутствии сжимающей силы) касание тел по криволинейным поверхностям бывает линейное и точечное. Под нагрузкой касание тел происходит по площадке.

Согласно теории Г.Р. Герца при контактировании двух неподвижных с параллельными осями круговых цилиндров из изотропных материалов давление на площадке контакта по ее ширине изменяется по эллиптическому закону (рис. 4.1). Полуширина площадки:

$$a = 1,128 \sqrt{\frac{F\eta}{Lk}}, \quad (4.1)$$

где F - усилие, сжимающее цилиндры;

L - длина образующей;

η - упругая постоянная соприкасающихся тел, вычисляемая по формуле:

$$\eta = \frac{1-\mu_1^2}{E_1^2} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2^2}; \quad (4.2)$$

k - сумма главных кривизн или приведенная кривизна сопряженных цилиндров.

E_1, E_2, μ_1 и μ_2 - соответственно модули упругости при растяжении и

коэффициенты Пуассона материалов цилиндров.

$$k = \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}. \quad (4.3)$$

где ρ_1, ρ_2 – радиусы цилиндров, $\rho_1 < \rho_2$.

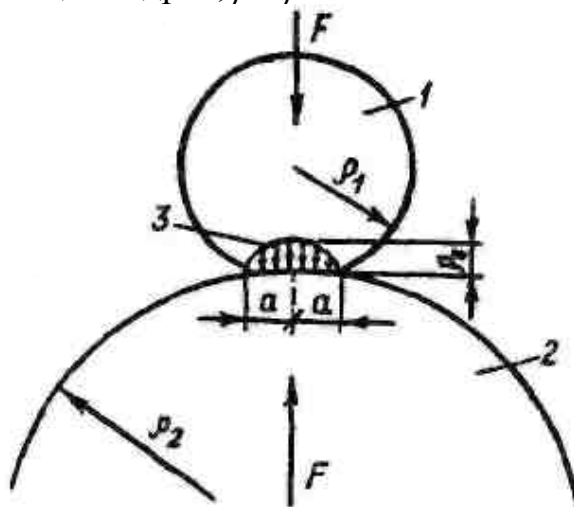


Рисунок 4.1 – Схема контактирования двух цилиндров

Наибольшее давление по Г.Р. Герцу:

$$P_0 = \frac{2F}{\pi a L} \quad (4.4)$$

Главные напряжения в точке, лежащей по оси давления на глубине y (рис. 4.2)

$$\sigma_x = - \left(\frac{a^2 + 2y^2}{a\sqrt{a^2 + y^2}} - \frac{2y}{a} \right) P_0; \quad (4.5)$$

$$\sigma_y = - \frac{a}{\sqrt{a^2 + y^2}} P_0; \quad (4.6)$$

$$\sigma_x = \mu(\sigma_x + \sigma_y). \quad (4.7)$$

$$\tau_{\max} = \frac{y}{a} \left(1 - \frac{y}{\sqrt{a^2 + y^2}} \right) P_0. \quad (2.8)$$

Поскольку при капитальном ремонте восстанавливается не только работоспособность, но и ресурс ремонтируемого объекта, то все его детали подвергаются дефектации и те из них, которые вследствие изнашивания не смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, заменяются новыми запасными частями или восстанавливаются. А те детали, которые смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, поступают на сборку.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

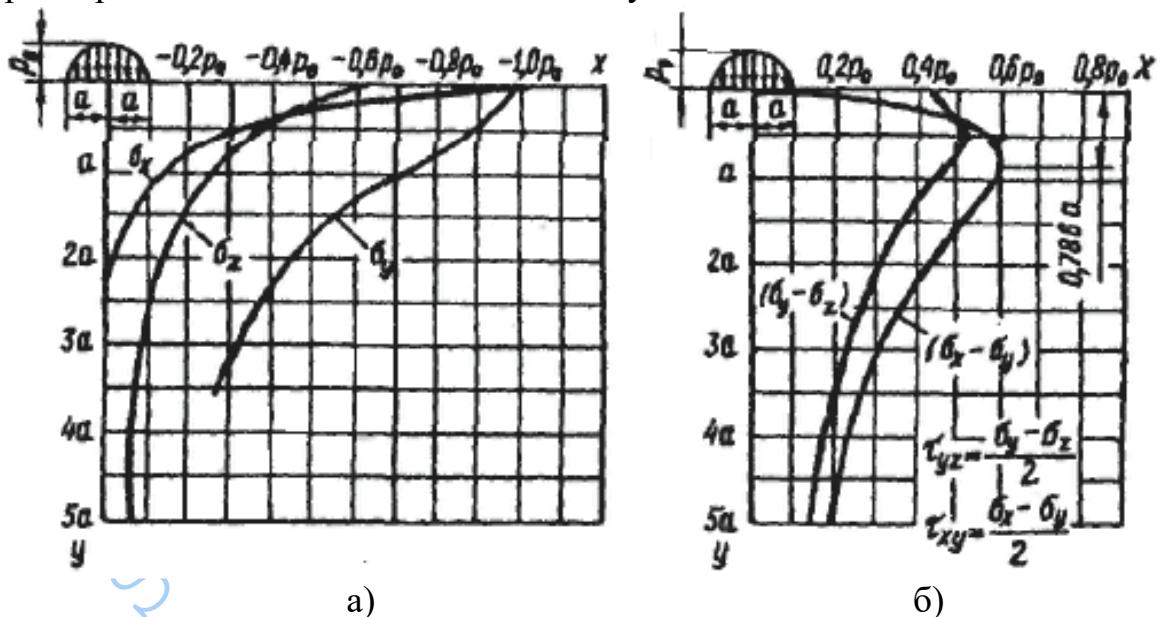
Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.

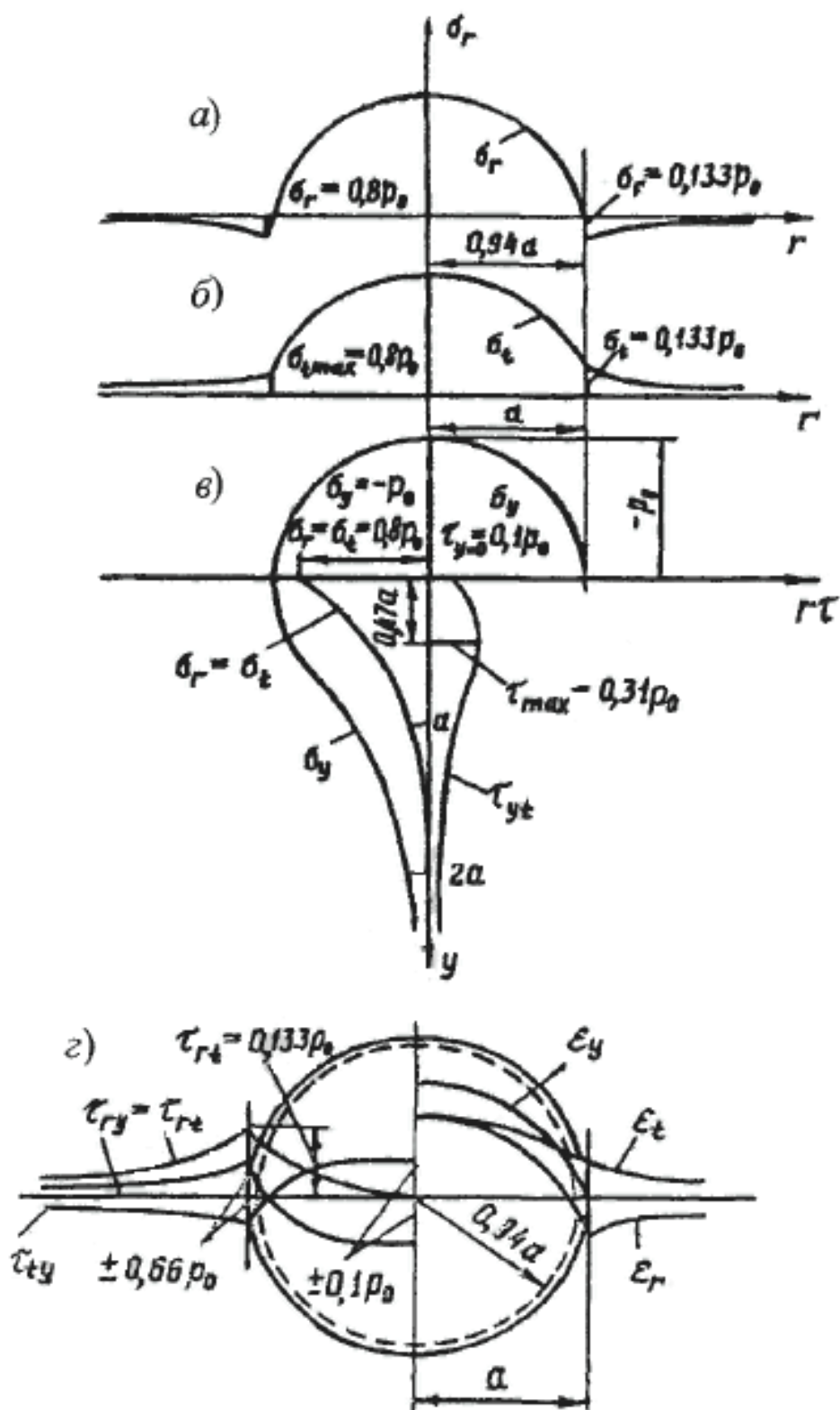


а - нормальное напряжение; б - касательные напряжения

Рисунок 4.2 – Распределение контактных напряжений в цилиндре при начальном линейном контакте в точках, лежащих на оси давлений

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Что такое цикл перемены напряжений? Характеристики цикла и соотношения между ними. Что называют пределом выносливости?
2. Что называют усталостным разрушением и каковы его причины?
3. При каких обстоятельствах и где действуют контактные напряжения?
4. В чем сущность усталостного выкрашивания хорошо смазываемых контактирующих под нагрузкой рабочих поверхностей? Как повысить сопротивляемость поверхностей выкрашиванию?



а - распределение радиального напряжения σ_r вдоль по диаметру круговой площадки касания; б - изменение кольцевого нормального напряжения σ_t по диаметру площадки касания

Рисунок 4.3 – Распределение напряжений и относительных деформаций при сжатии шара с плоскостью

Занятие №5 (практическое)
**Тема: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЕНИЙ
ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ»**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучить назначение и устройство уплотнений подвижных соединений (рис. 5.1-5.9).

2. Определить максимальное давление и необходимый объем жидкости гидравлического центробежного уплотнения и основные параметры уплотнения поршней и поршневых колец в соответствии с вариантом (табл.5.1).

Таблица 5.1 – Варианты задания для определения максимального давления и необходимого объема жидкости гидравлического центробежного уплотнения и основные параметры уплотнения поршней и поршневых колец

Параметры	Варианты задания							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ρ , кг/м ³	870	875	880	880	882	885	890	890
n , мин ⁻¹	1700	1720	1730	1750	1800	1820	1850	1900
D_0 , мм	180	185	185	190	190	192	195	200
d_0 , мм	70	72	75	76	76	77	78	80
b , мм	40	40	45	45	45	50	50	50
D_2 , мм	150	155	155	160	160	160	165	168
D_1 , мм	100	100	100	106	106	107	110	112
D_{out} , мм	S2	82	92	02	100	130	130	120
D , мм	85	85	95	95	105	135	135	125
b_K , мм	4,0	4,0	4,4	4,4	5,0	6,7	6,0	5,5

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Поскольку при капитальном ремонте восстанавливается не только работоспособность, но и ресурс ремонтируемого объекта, то все его детали подвергаются дефектации и те из них, которые вследствие изнашивания не смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, заменяются новыми запасными частями или восстанавливаются. А те детали, которые смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, поступают на сборку.

Детали и сопряжения теряет свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.

Поскольку при капитальном ремонте восстанавливается не только работоспособность, но и ресурс ремонтируемого объекта, то все его детали подвергаются дефектации и те из них, которые вследствие изнашивания не смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, заменяются новыми запасными частями или восстанавливаются. А те детали, которые смогут проработать до следующего капитального ремонта объекта, поступают на сборку.

Детали и сопряжения теряют свою годность в основном вследствие изнашивания, которое приводит к изменению их первоначальных размеров. Типичная кривая нарастания износа представлена на рисунке 2.1.

Нормальный размер - размер, соответствующий рабочим чертежам.

Предельный размер - такой размер, при котором наступает предельное состояние детали и исчерпывается ее полный ресурс.

Если при дефектации сравнивать измеренные значения с нормальными размерами, то все детали будут признаны негодными.

Если же результаты измерения сравнивать с предельными размерами, то многие детали, признанные годными, не смогут проработать до следующего капитального ремонта изделия, так как их остаточный ресурс может оказаться меньше межремонтного ресурса изделия (см. рисунок 2.1). Поэтому вводится понятие допустимого размера.

Допустимый размер - такой размер, при котором остаточный ресурс детали равен установленному межремонтному ресурсу машины (агрегата).

Если теперь сравнивать результаты измерения с допустимыми размерами, то на сборку попадут только те детали, остаточный ресурс у которых не меньше, чем нормативный межремонтный ресурс машины (агрегата), и значит, все признанные годными детали проработают до следующего капитального ремонта машины (агрегата).

Итак, процесс дефектации состоит в сравнении результатов измерения параметров изношенных деталей с их допустимыми значениями.

набивки (рис. 5.2, V, VI), или с автоматической затяжкой с помощью

пружины (рис. 5.2, VII, VIII); конструкции сдвоенных сальников с пружинной затяжкой (рис. 5.2, IX-XI).

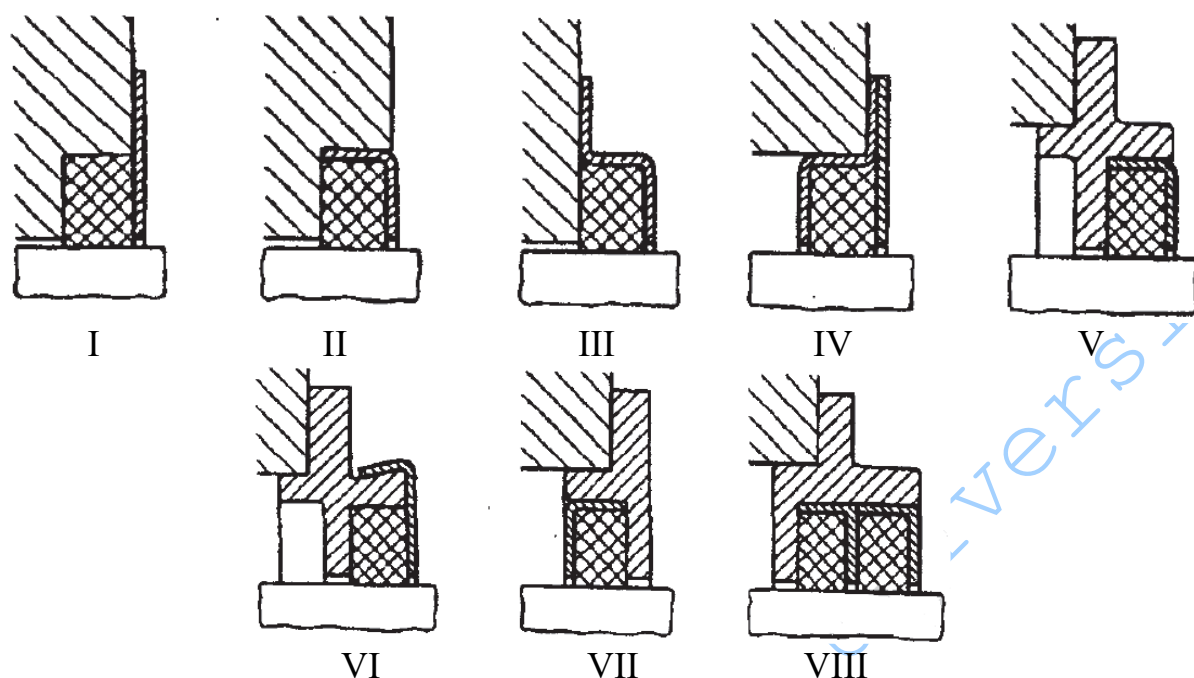


Рисунок 5.1 – Установка сальников в цилиндрических канавках

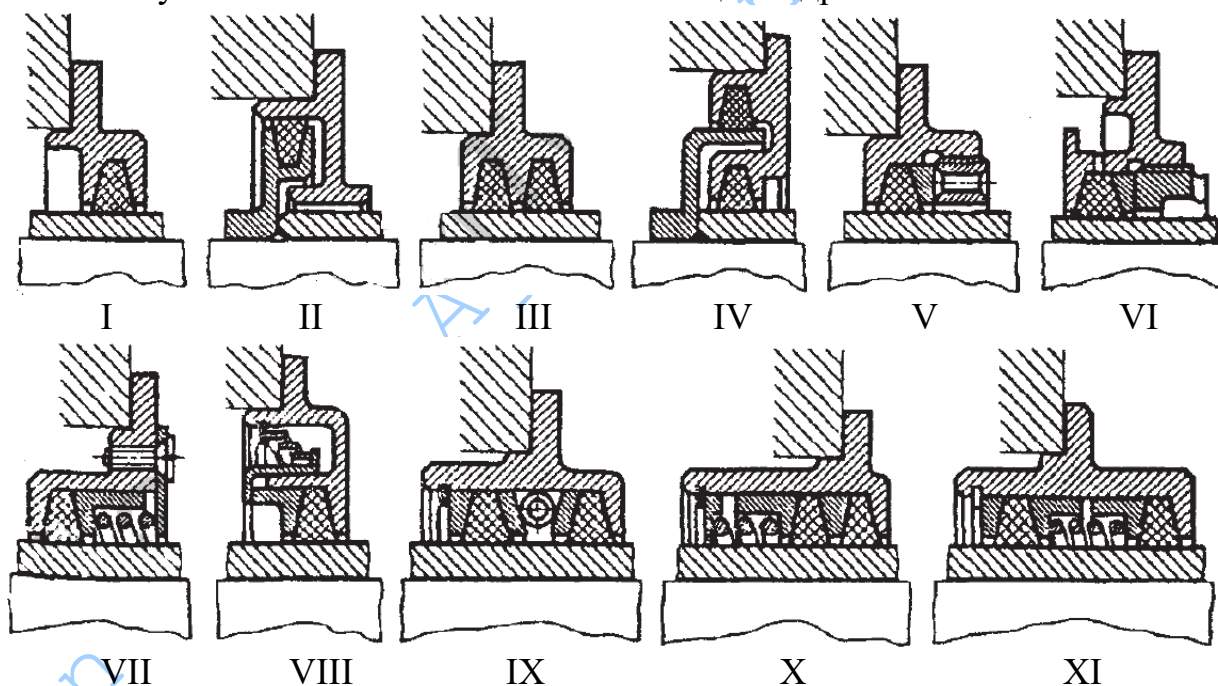
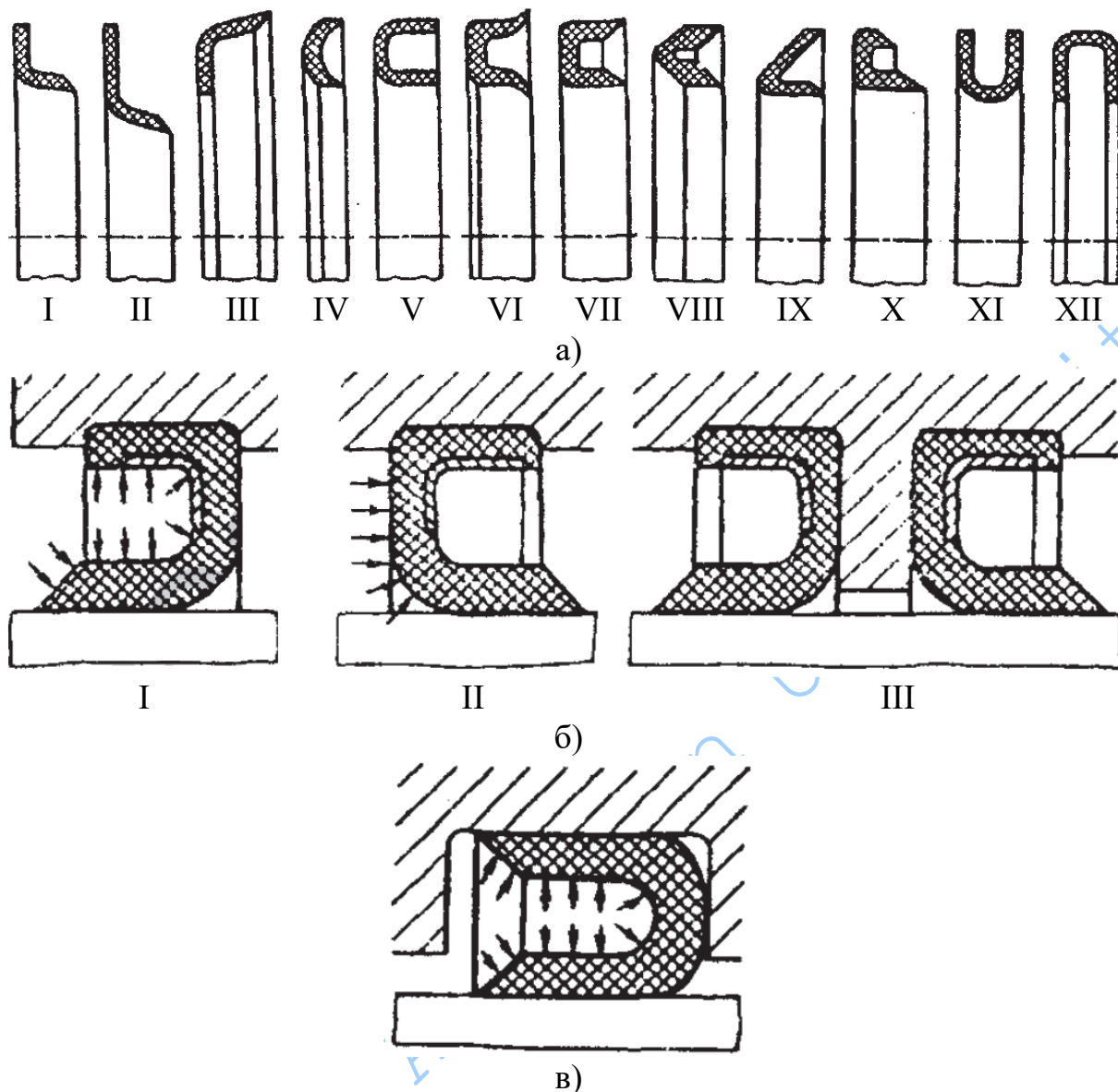


Рисунок 5.2 – Установка сальников в конических канавках

Манжетное уплотнение представляет собой выполненное из мягкого упругого материала кольцо с воротником, охватывающим вал (рис. 5.3).

Уплотнения разрезными пружинными кольцами (рис. 5.4, б) надежно, оно может держать большие перепады давления и при правильном подборе материалов долговечно.



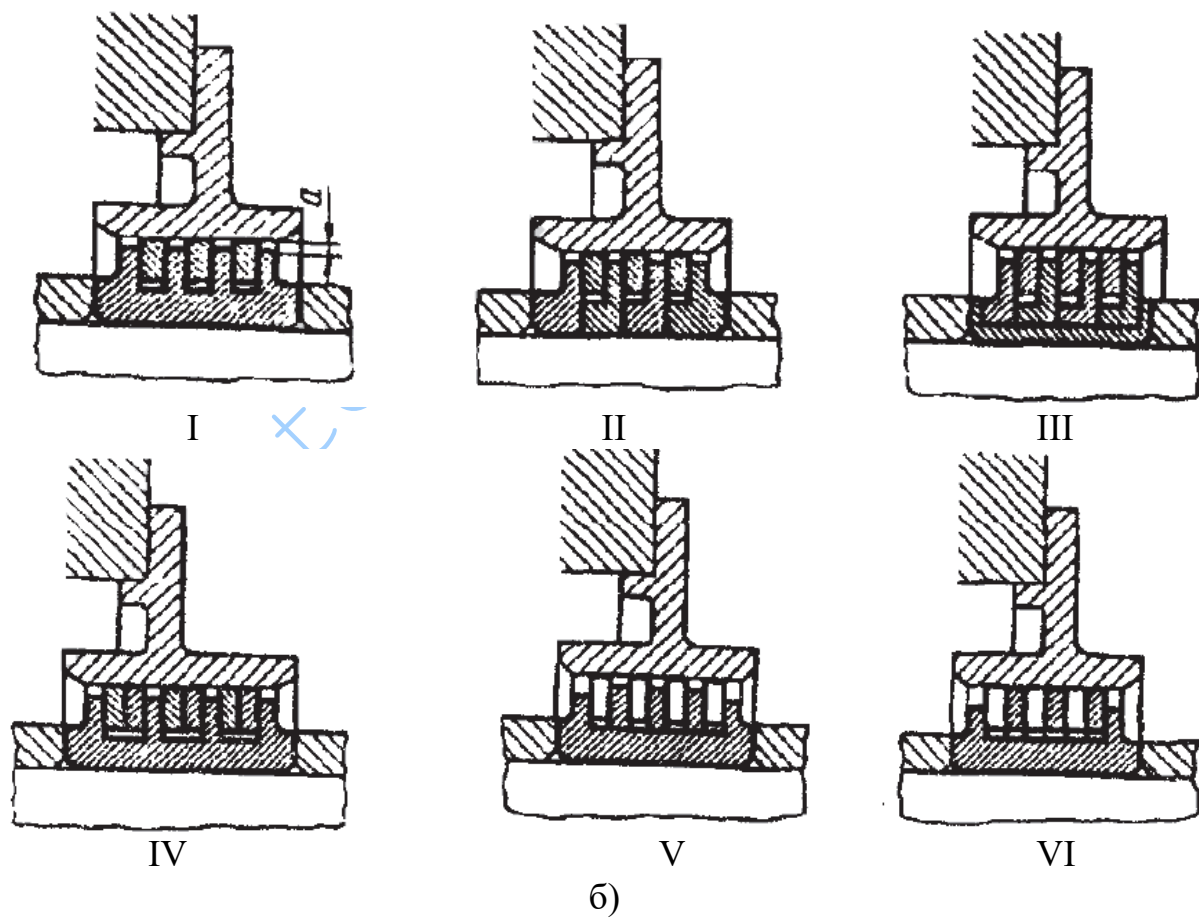
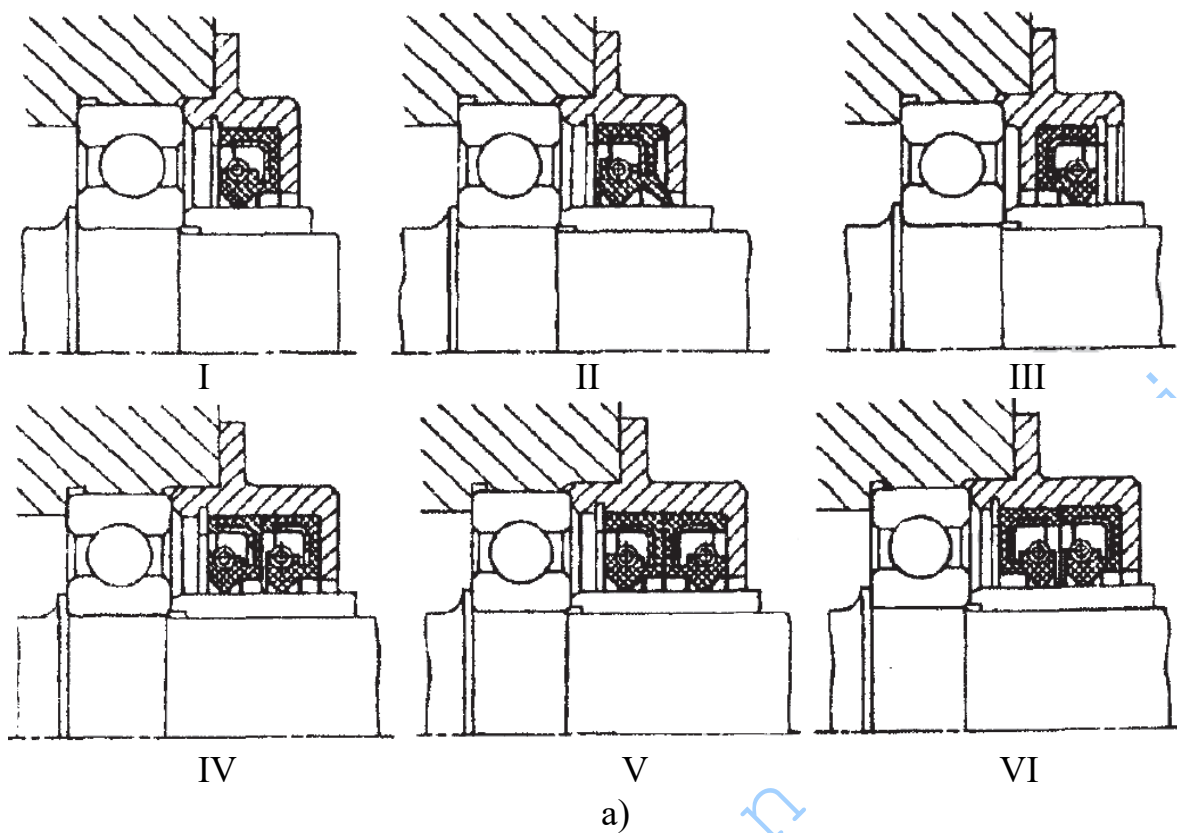
а) формы манжет; б) схема действия манжеты; в) манжета с двумя воротниками

Рисунок 5.3 – Манжетные уплотнения

Щелевые уплотнения - разновидность бесконтактного уплотнения, образует кольцевую щель между валом и корпусом (рис. 5.5) или лабиринт («лабиринтное уплотнение» - рис. 5.6). Кольцевые канавки могут быть выполнены на валу (рис. 5.6 I), во втулке (рис. 5.6, II) или одновременно на валу и во втулке (рис. 5.6, III), для радиальной сборки (рис. 5.6, IV).

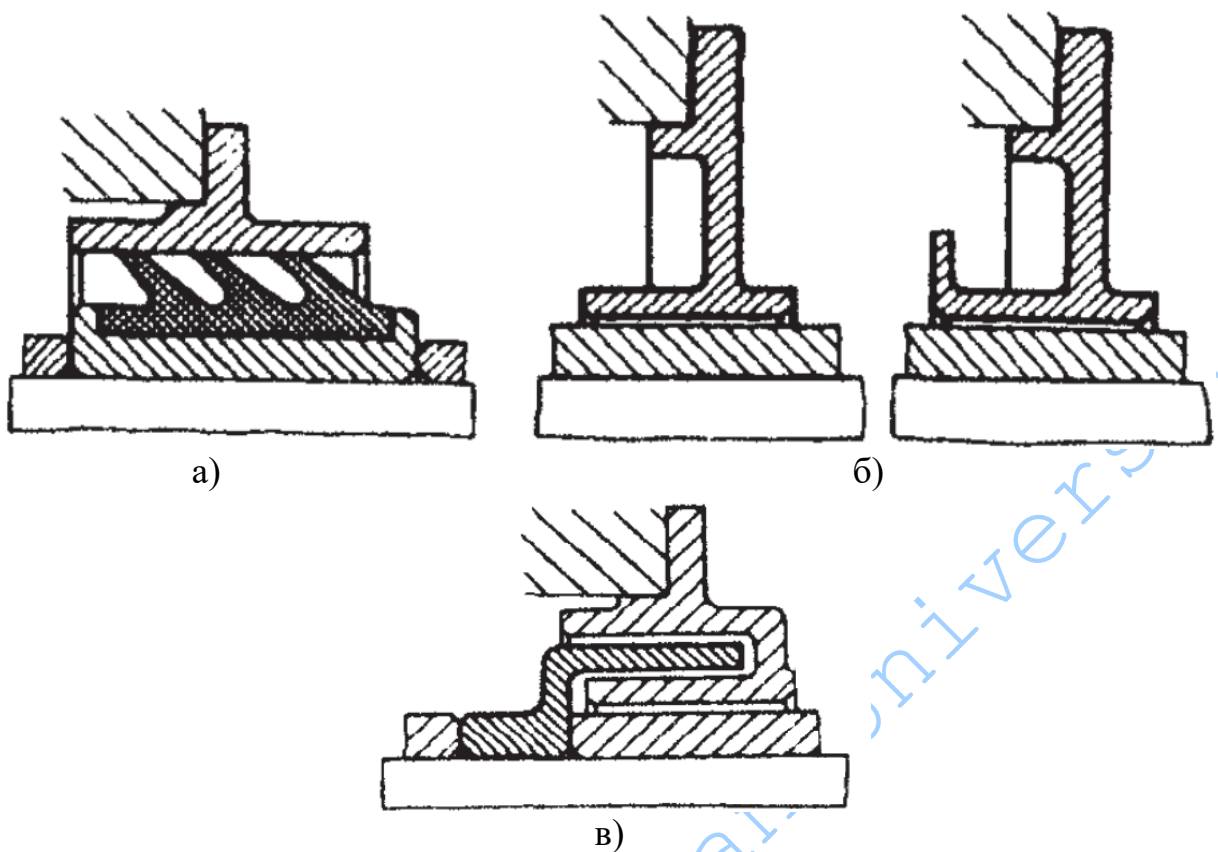
Уплотнения отгонной резьбой (рис. 5.7) применяют для герметизации полостей, содержащих жидкости. Направление резьбы должно быть согласовано с направлением вращения вала так, чтобы витки отгоняли уплотняющую жидкость в корпус. Уплотнение - нереверсивное.

Гидравлическое центробежное уплотнение (рис. 5.8) состоит из крыльчатки, вращающейся в замкнутой кольцевой полости, в которую залита уплотняющая жидкость (масло, вода и т.д.). Центробежной силой жидкость прижимается к периферии полости. Если с одной стороны на уплотнение действует давление, то жидкость занимает в полости положение, показанное на рис. 5.8.



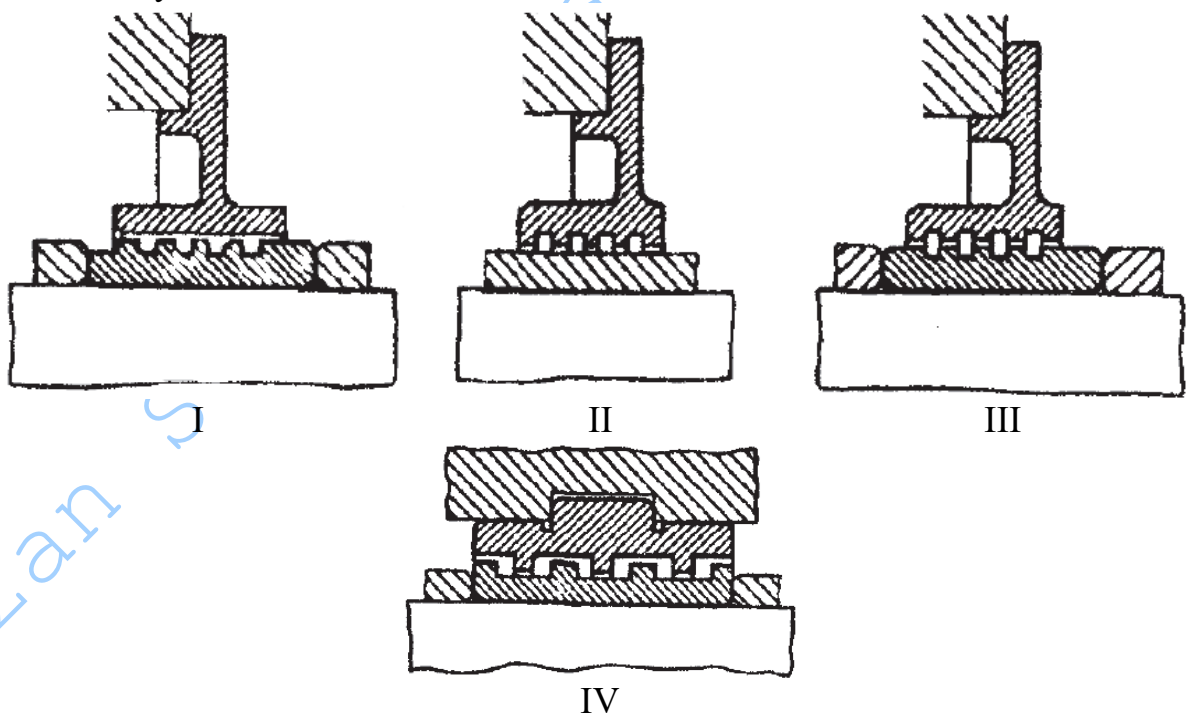
а - примеры установки манжетных уплотнений (I, II, IV - при повышенном давлении в корпусе; III - при вакууме в корпусе; V, VI - двусторонняя установка); б - уплотнения разрезными пружинными кольцами

Рисунок 5.4 – Установка уплотнений



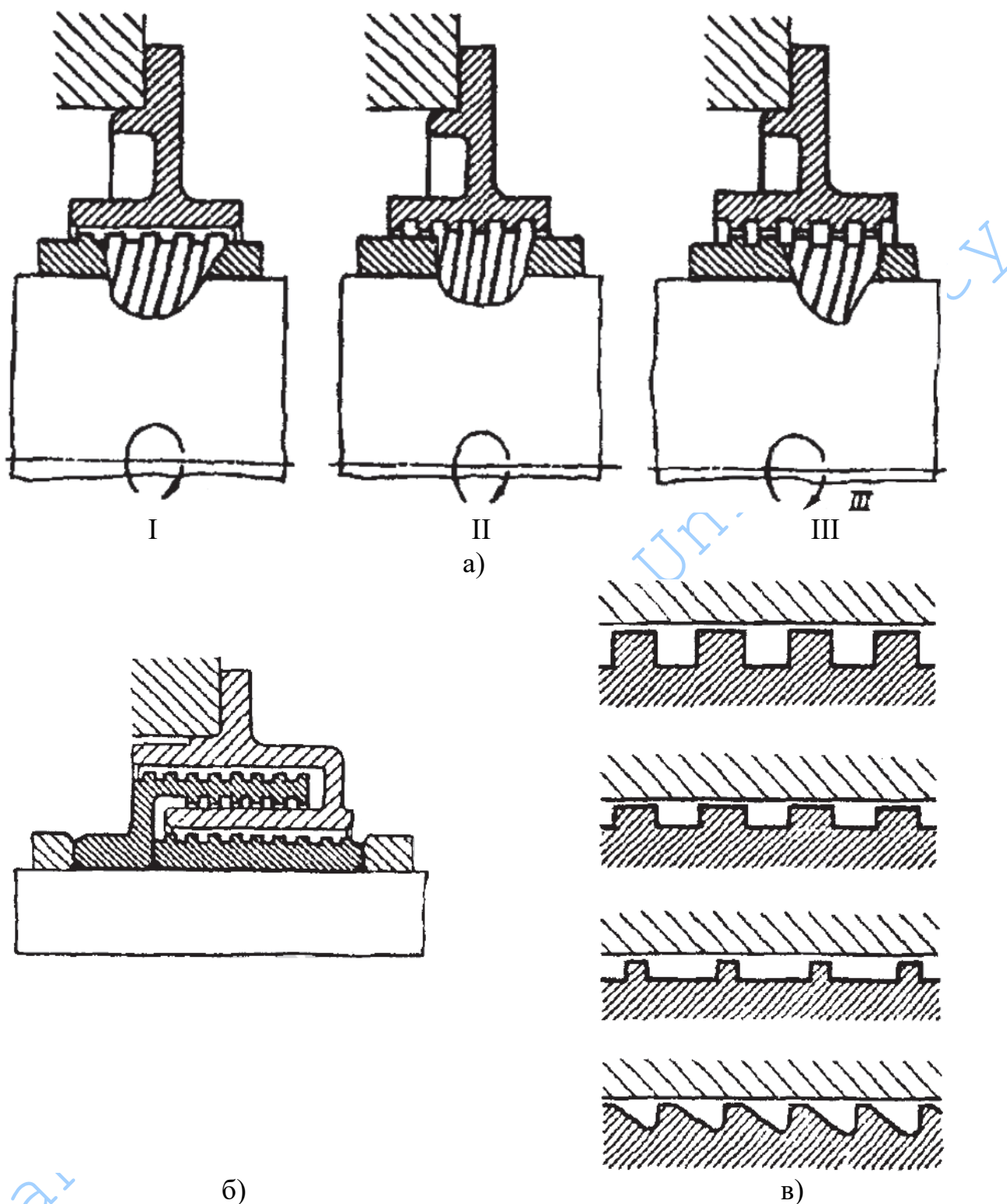
а - резиновым кольцом с использованием центробежного эффекта; б - щелевые; в — двухрядное щелевое

Рисунок 5.5 – Уплотнения



I - кольцевые канавки на валу; II - канавки выполнены во втулке; III - канавки выполнены одновременно на валу и во втулке; IV - уплотнение для радиальной сборки

Рисунок 5.6 – Лабиринтные уплотнения



а - выполнение отгонной резьбы (I - на валу, II - на втулке, III - одновременно на валу и втулке); б - многоярусное уплотнение; в - профили отгонных резьб

Рисунок 5.7 – Уплотнение отгонной резьбой

Разность центробежных сил, действующих на жидкость с одной и с другой стороны крыльчатки, определяет давление (МПа), которое держит уплотнение:

$$p = 10^{-13} \frac{\omega^2 \rho}{4} (D_2^2 - D_1^2), \quad (5.1)$$

где ω - угловая скорость крыльчатки, рад/с;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 D_1 и D_2 - диаметры колец жидкости по одну и другую сторону крыльчатки, мм.

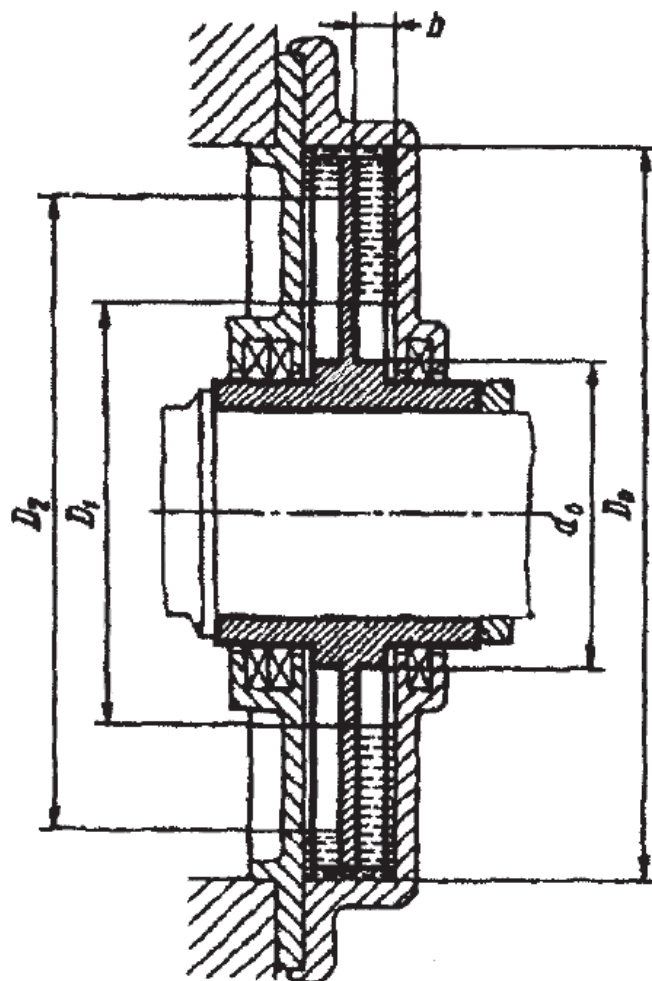


Рисунок 5.8 – Схема гидравлического центробежного уплотнения
 Максимальное давление, удерживаемое уплотнением (предельный случай, когда почти вся жидкость переходит на одну сторону крыльчатки):

$$p = 10^{-13} \frac{\omega^2 \rho}{4} (D_0^2 - d_0^2), \quad (5.2)$$

где D_0 и d_0 - соответственно наружный и внутренний диаметры крыльчатки, мм.

Минимальный необходимый объем жидкости, который должен быть залит в уплотнение:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_0^2 - d_0^2) b, \quad (5.3)$$

где b - ширина лопаток крыльчатки, мм.

Следовательно,

$$p_{\max} = 10^{-13} \frac{\omega^2 \rho}{\pi b} Q. \quad (5.4)$$

Гидравлические уплотнения могут выдерживать довольно

значительные давления. Например, уплотнение с крыльчаткой диаметром около 200 мм при частоте вращения 2000 мин^{-1} (уплотняющая жидкость - масло) выдерживает избыточное давление около 0,3 МПа. Применяя тяжелые жидкости, например, ртуть, можно довести давление в рассматриваемом случае до 5 МПа.

В конструкции гидравлического уплотнения должна быть предусмотрена циркуляция уплотняющей жидкости с отводом теплоты, выделяющейся при вращении крыльчатки. В противном случае уплотняющая жидкость перегревается через короткое время работы.

Уплотнение поршней. Поршни небольшого диаметра (плунжеры гидравлических, масляных, топливных насосов и т.д.) уплотняют притиркой к поверхностям цилиндров. Уплотнение улучшают введением лабиринтных канавок.

Поршневое кольцо представляет собой разрезное металлическое кольцо (обычно прямоугольного сечения), устанавливаемое в канавках поршня. Диаметр кольца в свободном состоянии больше диаметра цилиндра. При вводе в цилиндр кольцо сжимается и благодаря собственной упругости плотно прилегает к стенкам цилиндра по его окружности, за исключением узкого канала, образованного разрезом (замком) кольца.

Поршневые кольца при работе прижимаются к стенкам цилиндра не только силами собственной упругости, но и давлением рабочей жидкости (или газа), проникающей в поршневые канавки и действующей на тыльную поверхность поршневого кольца. Для увеличения надежности уплотнения устанавливают последовательно несколько колец (обычно три).

Кольца устанавливают в канавках (рис. 5.9) с торцовым зазором:

$$\Delta = (0,05 \dots 0,1) h. \quad (5.5)$$

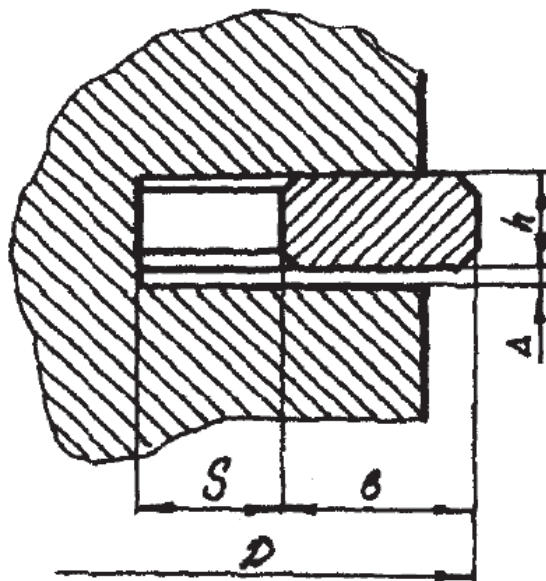


Рисунок 5.9 – Схема установки поршневого кольца в канавке

Зазор S между тыльной поверхностью кольца и днищем поршневой

канавки:

$$S = (0,2...0,25)b. \quad (5.6)$$

Зазор в замке для компенсации температурных деформаций:

$$t = (0,002...0,005)D_0, \quad (5.7)$$

где D_0 - диаметр цилиндра.

В цилиндрах компрессоров и двигателей к зазору в замке t следует прибавить Δt - удлинение кольца при нагреве:

$$\Delta t = \pi D_0 \left[a_K (t_K - t_0) - a_{\text{ц}} (t_{\text{ц}} - t_0) \right], \quad (5.8)$$

где a_K и $a_{\text{ц}}$ - коэффициенты линейного расширения соответственно материалов кольца и цилиндра (для стали $a_c = 13 \cdot 10^{-6}$; для чугуна $a_{\text{ч}} = 11 \cdot 10^{-6}$; для сплавов алюминия $a_a = 25 \cdot 10^{-6}$);

t_K и $t_{\text{ц}}$ - рабочие температуры соответственно кольца и цилиндра, °C ($t_K = 50^\circ\text{C}$ и $t_{\text{ц}} = 100^\circ\text{C}$);

t_0 - исходная температура (температура сборки), $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Максимальное напряжение в рабочем состоянии:

$$\sigma_{\max} = E \frac{b}{D_0} \left(1 - \frac{D_0}{D} \right), \quad (5.9)$$

где D_0 - диаметр цилиндра, мм;

D - наружный диаметр кольца в свободном состоянии, мм;

b - ширина сечения кольца, мм;

E - модуль упругости материала кольца ($E = 21 \cdot 10^4$ МПа).

Максимальное напряжение при надевании кольца на поршень:

$$\sigma_{\max i} = 2E \left(\frac{b}{D_0} \right)^2 - \sigma_{\max}, \quad (5.10)$$

где $\sigma_{\max i} = a\sigma_{\max}$ (в среднем $a = 1,5...2$).

Подставляя a в уравнение (5.9), получим:

$$\frac{D_0}{D} = \frac{1}{1 - \frac{b}{D_0} \frac{2}{1+a}}. \quad (5.11)$$

Значения b/D_0 для колец из различных материалов приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Значения b/D_0 для колец из различных материалов

Материал	$[\sigma]$, МПа	$E \cdot 10^4$, МПа	b/D_0
Чугун	120	8	1/21
Сталь	350	22	1/20
Бронза	150	11	1/22

Из уравнения (5.11) можно найти:

$$\frac{b}{D_0} = \sqrt{\frac{\sigma_{\max} (1 + a)}{2E}}. \quad (5.12)$$

Давление кольца на стенки цилиндра:

$$P = \frac{\sigma_{\max}}{3} \left(\frac{b}{D_0} \right)^2. \quad (5.13)$$

Высота h кольца:

$$h = 2 + (0,01 \dots 0,03) D_0, \quad (5.14)$$

где D_0 – диаметр цилиндра, мм.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Какие элементы входят в структурную схему совершенных и несовершенных уплотнений?
2. Приведите простейший пример контактного совершенного уплотнения.
3. Какой из структурных элементов отсутствует в конструкции поршневых колец?
4. В чем состоит конструктивная особенность бесконтактных уплотнений?
5. Какие конструктивные виды диафрагм (мембран) используют для создания разделительных уплотнений?

ЛИТЕРАТУРА

Основная учебная литература:

1. Доценко, А. И. Основы триботехники: учебник / А.И. Доценко, И.А. Буяновский. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 336 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/>
2. Дунаев А.В., Шарифуллин С.Н. Модернизация изношенной техники с применением трибопрепаратов / А.В.Дунаев, С.Н. Шарифуллин.- Казань: Казан. ун-т, 2013. - 272 с.
3. Смоляк А.Н. Триботехника: учебно-методическое пособие для студентов / А.Н. Смоляк. – Минск: БНТУ, 2010. – 77 с.
4. Технический сервис транспортных машин и оборудования: Учебное пособие / С.Ф. Головин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 282 с.

Дополнительная учебная литература:

5. Лисунов Е.А. Практикум по надежности технических систем: учеб. пособие. - М.: Изд-во «Лань», 2015. –240 с.
6. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов [Электронный ресурс] : монография / А.Т. Лебедев, О.П. Наумов, Р.А. Магомедов и др. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2015. – 332 с. Режим доступа: <http://znanium.com/>
7. Основы работоспособности технических систем [Электронный ресурс]: Учебник для вузов /В. А. Зорин. - М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с. Режим доступа: <http://znanium.com/>
8. Пучин Е.А. и др. Надежность технических систем. - М.: УМЦ «Триада», 2005. - 353 с.
9. Соловьев Р.Ю.. Безизносная эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: монография /Р.Ю. Соловьев, С.Н. Шарифуллин, и др.- М: ФГБНУ ГОСНИТИ, 2015. – 272 с.
10. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т. 2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
11. Фасхутдинов Х.С., Шайхутдинов Р.Р. Повышение срока службы гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания: монография /Х.С.Фасхутдинов, Р.Р. Шайхутдинов; М-во образ. и науки РФ, Казан. гос. ун-т. – Казань: КГТУ, 2011.-188с.

Kazan State Agrarian University