

ООО «СИД» & ФГБОУ ВО РОСБИОТЕХ

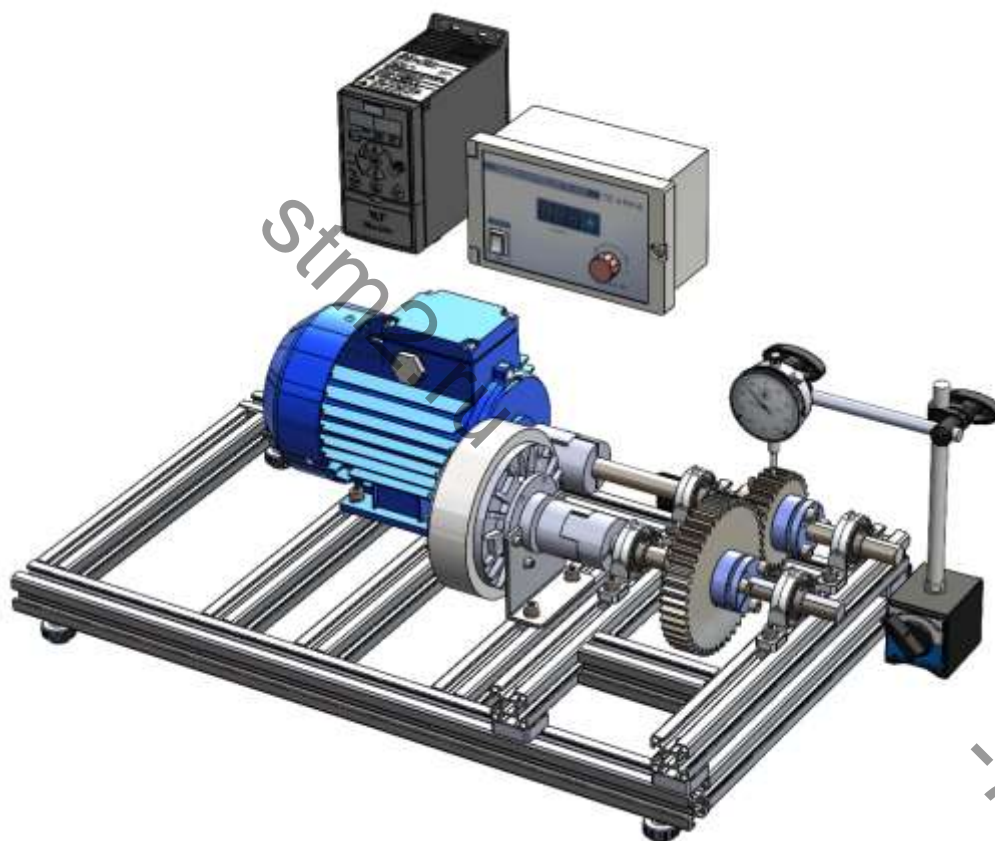
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ
с использованием учебно-лабораторного стенда УЛС-7
по дисциплинам

«Детали машин»

«Ремонт, монтаж и сервис технологического оборудования»

«Техническая диагностика технологических машин»



МОСКВА 2023



ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

0.1. Общие указания по проведению лабораторных работ

Количество лабораторных работ определяется учебным планом специальности, где указывается объем лекционного курса, лабораторных и практических занятий. По усмотрению ведущего преподавателя могут быть внесены коррективы, определяющие количество и перечень лабораторных работ. При этом желательно, чтобы каждой лабораторной работе предшествовал соответствующий лекционный материал.

Традиционно каждая академическая группа разбивается на две подгруппы, которые в свою очередь делятся на звенья по три-четыре студента. В зависимости от оснащения лаборатории оборудованием звенья могут выполнять однотипные или совершенно разные работы. Независимо от характера и объема лабораторной работы необходимо соблюдать следующие требования:

- ознакомление с инструкцией по технике безопасности при проведении лабораторных работ;
- подготовка рабочего места;
- получение описания лабораторной работы и необходимых принадлежностей.

Выполненные лабораторные работы проверяются и контролируются преподавателем с целью оценки качества полученных результатов и заключений, сделанных студентами.

0.2. Порядок выполнения лабораторных работ и составления отчета

Ознакомившись с теоретическими выкладками определения исследуемого параметра, с приборами и инструментами, после предварительной беседы с преподавателем студенты приступают к работе. По мере возникновения неясностей, неисправностей лабораторного оборудования студенты должны обратиться к преподавателю или учебному мастеру.

По мере выполнения каждой лабораторной работы студенты обязаны составить отчет, проиллюстрированный эскизами, таблицами и графиками. Отчет составляется индивидуально на белых листах формата А4 (можно использовать ученическую тетрадь).

Содержание отчета:

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие сведения по изучаемому курсу или разделу.
3. Краткое описание проведенной работы (исследования)
4. Результаты исследований, опытные зависимости, сравнения экспериментальных и расчетных данных.
5. Выводы.

После составления такого отчета студент защищает его и получает допуск к выполнению следующей лабораторной работы.

При выполнении лабораторных работ студенты обязаны использовать номограммы, таблицы, вычислительную технику и другими средствами, интенсифицирующими ход вычислительных работ.

Учет выполнения лабораторных работ ведется в учебном журнале преподавателя. Зачет по лабораторным работам выставляется после сдачи и защиты всех лабораторных работ.

0.3. Учебно-лабораторный стенд

Наличие разнообразных контрольно-измерительных приборов и лабораторных работ позволит не только освоить материал, но и заставит студентов анализировать

процесс монтажа, восстановления, эксплуатации, технического диагностирования и обслуживания с разных позиций. Стенд позволяет исследовать работу механических передач в режиме холостого хода и под нагрузкой при разных частотах вращения и моделировать различные технические состояния.

Стенд позволяет моделировать различные механические дефекты зубчатых и ременных передач, муфт, подшипников качения (дисбаланс, эксцентриситет, несносность, перекос, износ, локальные дефекты поверхности и пр.). С помощью стенда можно проводить тренинги по вибродиагностики для своих технических специалистов во время внутреннего обучения или перееаттестации.

Общий вид и габаритный чертеж стенда представлен на рисунке 1. Стенд состоит из рамы (1), трехфазного асинхронного электродвигателя (2), который посредством кулачковой муфты (3) приводит во вращение быстроходный вал (4). Вал установлен в шариковых подшипниках (5). Зубчатая передача включает шестерню (6) и зубчатое колесо (8) которые закреплены на валу с помощью конусных закрепительных втулок (6). Нагрузка на механическую передачу создается с помощью электромагнитного тормоза (9).

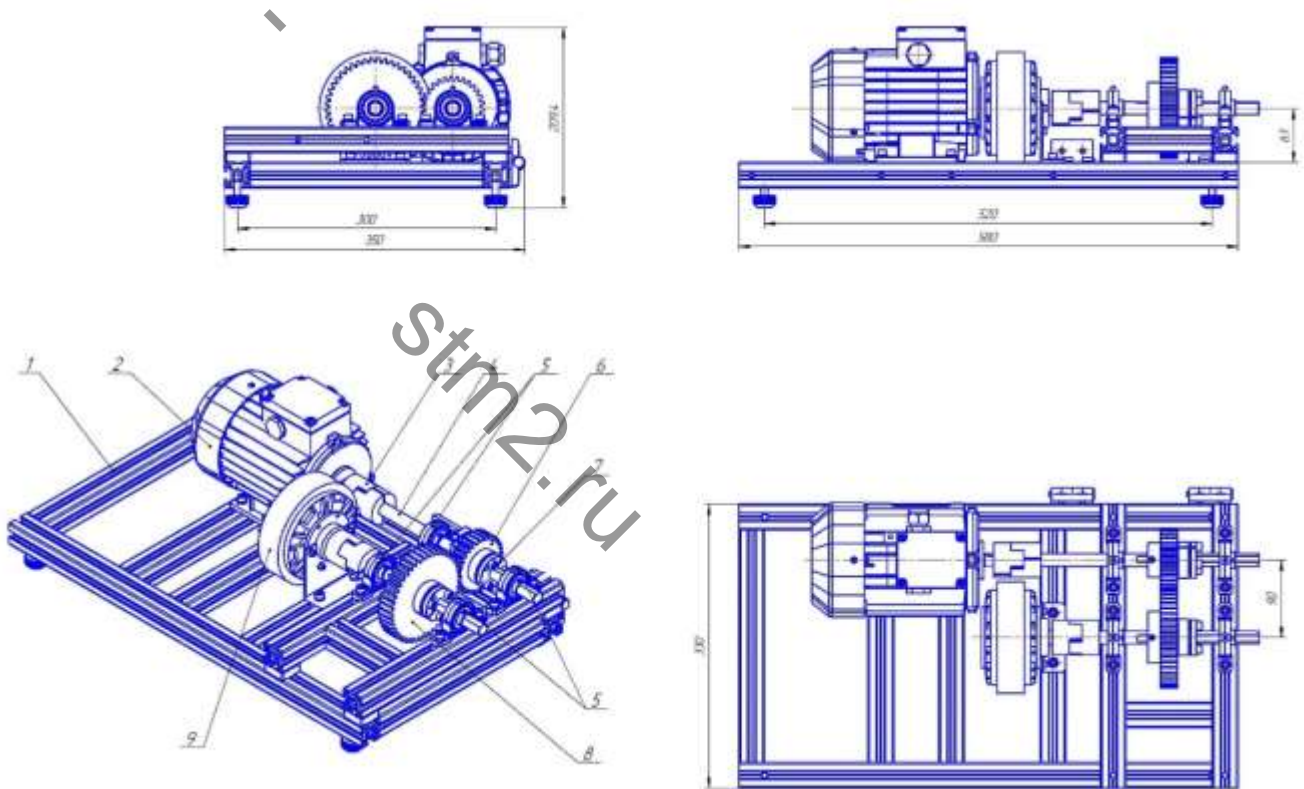


Рисунок 1. – Чертеж стенда в конфигурации с зубчатыми колесами

Общий вид стенда показан на рис. 2. Подключение электронного регулятора переменного тока (1) с выходом на 3 фазы и электронного регулятора тормозного крутящего момента (2) электромагнитного тормоза осуществляется к однофазной сети переменного тока с напряжением 220В, 50 Гц. **Сеть должна иметь защитное заземление!** Дополнительно к металлической раме стенда необходимо подключить защитное заземление согласно ПУЭ п.1.7.29.

При подключении стенда к сети необходимо предусмотреть кнопку экстренного отключения стенда от напряжения питания.

Частота вращения электродвигателя может изменяться путем изменения частоты питающего тока с помощью частотного регулятора. При этом, частота тока 50 Гц

соответствует номинальной частоте вращения электродвигателя (1330 об/мин). Изменение частоты тока приводит к пропорциональному изменению частоты вращения электродвигателя. Рабочий диапазон регулирования частоты вращения вала электродвигателя от 100 до 1500 об/мин. В целях безопасности запрещается превышать частоту вращения электродвигателя 1500 об/мин. (частота переменного тока частотного преобразователя – 57 Гц). Изменение направления вращения вала электродвигателя осуществляется с помощью соответствующего меню частотного преобразователя (см. инструкцию к преобразователю).

Электромагнитный тормоз служит для создания нагрузки на механическую передачу. Величина тормозного момента задается с помощью электронного регулятора (2). При вращении рукоятки регулятора задается сила тока питания электромагнитного тормоза. Диапазон регулирования – от 0 до 0,6 А. **При регулировании тормозного момента не допускать полной блокировки вращения электродвигателя! Не допускать нагрев электромагнитного тормоза выше температуры 50 °С.**

Стенд комплектуется набором подшипников с различными дефектами (рис. 2 п.п. 1, 2, 3) набором эксцентриковых втулок с различной величиной эксцентриситета (№0, №1, №2) (см. рис. 2 п.п. 4, 5, 6), набором шайб и крепежа для создания дисбаланса (рис. 2 п.п. 7, 8), наборами зубчатых колес, шкивов ременной передачи, электронным штангенциркулем, штативом для крепления микрометра часового типа, микрометром, набором измерительных щупов, набором ключей. Примерная масса шайбы – 2 гр, винта М6х16 – 5,5 гр, винта М6х10 – 4,3 гр.

Дополнительно стенд может комплектоваться системой технического мониторинга и диагностики СТМ-12Т.

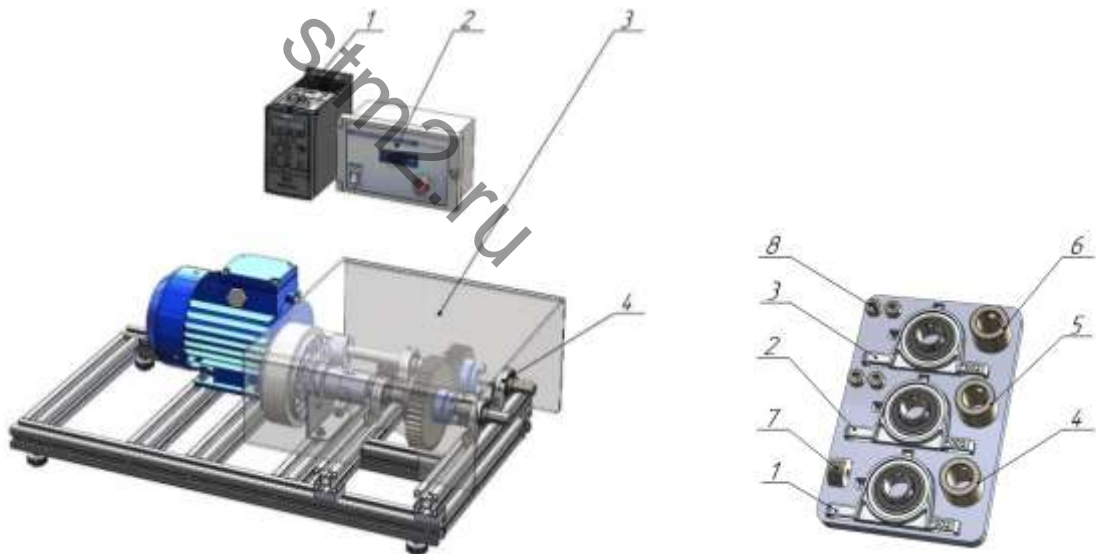


Рисунок 2 – Общий вид стенда и комплект дефектных подшипников, втулок и балансировочных грузов

Настройку стенда осуществлять при полном отключении питания от сети напряжения. Перед включением стенда в электросеть проверить плавность вращения валов, надёжность крепления подшипниковых узлов и отдельных деталей. Включать стенд только в присутствии преподавателя при закрытом защитном экране (рис. 2 п.3). В момент включения стенда частота вращения вала электродвигателя должна быть равна нулю (частота переменного тока на частотном преобразователе - 0 Гц) и плавно увеличена до рабочей частоты вращения. При этом визуально необходимо контролировать правильность работы передачи. В случае наличия сильной вибрации, биений, заеданий – сразу

отключить стенд и провести мероприятия по их устранению при полном отключении стенда от питающей сети.

0.4. Техника безопасности при работе со стендом

При эксплуатации электрических устройств необходимо применять отдельно или в сочетании друг с другом различные способы и средства защиты: защитное заземление, зануление, защитное отключение, блокировку, знаки безопасности и предохранительные приспособления.

1. Требования безопасности перед началом работы.

1.1. Перед началом работы:

а) проверить исправность заземления электрических устройств.

б) проверить исправность электропроводки (визуально), чтобы не было оголенных мест.

1.2. При обнаружении неисправностей, поставить в известность преподавателя.

1.3. Учащихся допускать к работе с электрическими устройствами только после проверки их исправности.

2. Требования безопасности во время работы

2.1. Осуществлять работу на электрических устройствах только после изучения устройства и правил безопасности работы.

2.2. Постоянно следить за исправностью электрооборудования.

2.3. Запрещается: работать на неисправном и не имеющем заземления оборудовании, а также пользоваться неисправными или незаземленными электрическими устройствами. Открывать и снимать защитные кожуха и другие предохранительные ограждения.

Производить самостоятельно подключение к электросети и распределительным щитам.

3. Требование безопасности по окончании работы.

3.1. Отключить электрические устройства.

3.2. Проверить фактическое отключение электрических устройств.

3.3. Если имеются замечания, сообщить преподавателю и сделать запись в журнале о состоянии неисправности оборудования.

Перед подключением к электропитанию следует заземлить приборы. При ремонтных и наладочных работах следует вынимать из сети вилку шнура питания установки. К работе с установкой и ее обслуживанию допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электроустановками и ознакомившиеся с описанием установки.

При работе с лабораторным учебно-испытательным стендом оператор взаимодействует с органами управления модулей не только при остановленном, но и при работающем электроприводе, поэтому опасность захвата рук, одежды и волос оператора движущимися частями агрегата должна быть исключена.

Перед любой манипуляцией по перестройке экспериментальной установки следует удостовериться, что отключено питание стенда, и убедиться в том, что рядом с тумблером питания нет никого, кто мог бы нечаянно или намеренно его включить.

Для предотвращения поломок механизмов необходимо соблюдать следующие меры безопасности.

Электродвигатель. Снижение частоты вращения ниже 10 Гц может привести к перегреву двигателя. Не допускать перегрев двигателя более 50⁰С. В случае перегрева нужно уменьшить нагрузку, отключить электродвигатель, дать ему остыть до комнатной температуры.

Частотный преобразователь. Регулировка частоты вращения электродвигателя осуществляется путем изменения частоты переменного тока с помощью преобразователя. Регулируемый диапазон – от 10 до 60 Гц. Рабочий диапазон регулирования частоты

вращения вала электродвигателя от 100 до 1500 об/мин. В целях безопасности запрещается превышать частоту вращения электродвигателя 1500 об/мин. (частота переменного тока частотного преобразователя – 57 Гц). Изменение направления вращения вала электродвигателя осуществляется с помощью соответствующего меню частотного преобразователя (см. инструкцию к преобразователю). Частота переменного тока 50 Гц соответствует номинальной частоте вращения электродвигателя – 1330 об/мин.

Электромагнитный тормоз. Не следует уровень тока электронного регулятора задавать более 0,6А. Не допускать полную блокировку вращения вала электродвигателя! Долгая работа электромагнитного тормоза на высоких оборотах приводит к его перегреву. Необходимо контролировать температуру корпуса электромагнитного тормоза. В случае повышения температуры корпуса выше 60 °С необходимо отключить тормоз, дать ему остыть до комнатной температуры.

Ременная передача. При слабом натяжении ремня передача пробуксовывает, что приводит к быстрому износу ремня. Признак пробуксовки - остановка ротора электромагнитного тормоза. В этом случае нужно увеличить натяжение ремня.

Конструкция стенда позволяет собрать несколько конфигураций:

- конфигурация №1 «Прямозубая зубчатая передача»;
- конфигурация №2 «Коническая зубчатая передача»;
- конфигурация №3 «Ременная передача»;
- конфигурация №4 «Ротор с дисбалансом»;
- конфигурация №5 «Дефект подшипника»;
- конфигурация №6 «Ременная передача с зубчатым ремнем».
- конфигурация №7 «Цепная передача».



1. КОНФИГУРАЦИЯ №1 «ПРЯМОЗУБАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА»

1.1 Лабораторная работа №1. Сборка учебно-экспериментальной установки

Цель работы: освоение теоретических и практических основ процесса сборки зубчатой передачи (получение навыков в составлении технологических карт и схем сборки)

Продолжительность работы - 2 часа.

Необходимое оборудование (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка.
2. Штангенциркуль и/или штихмас (микрометрический нутромер).
3. Индикатор часового типа ИЧ-1.
4. Комплект свинцовых проволочек толщиной 1...2 мм.
5. Комплект ключей.

1.1.1. Теоретические основы сборки

Процесс сборки – это соединение отдельных деталей в узел (или узлов в машину) таким образом, чтобы основные поверхностей деталей занимали заданное взаимное расположение.

1.1.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежами и техническими условиями на собираемое изделие.
2. Определить звенья сборочных размерных цепей. Номинальные размеры определить с помощью линейки и штангенциркуля.
3. Сделать эскиз экспериментальной установки и ее кинематическую схему по ГОСТ 2.703-2011.
4. Составить технологическую схему сборки. Эту схему следует строить так, чтобы соответствующие узлы (группы), подгруппы и детали были представлены в порядке их введения в процесс сборки. Схема должна начинаться с условного изображения базовой детали. Детали, группы и подгруппы изображают на схеме в виде небольших прямоугольников, в которые вписывают индекс, номера и количество соответствующих частей (рис. 3).

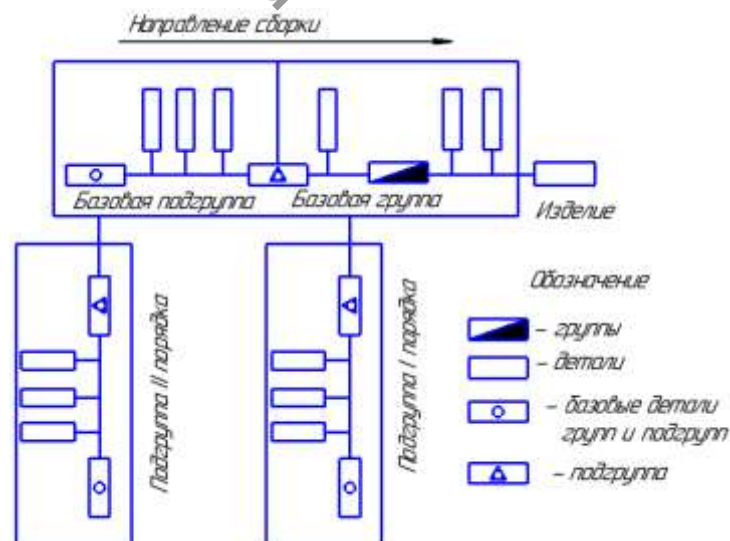


Рисунок 3 - Общая схема комплектования изделий при сборке

Посчитать число зубьев шестерни, колеса, модуль зубьев. Расчетное межосевое расстояние прямозубой передачи определяется по формуле:

$$A=0,5 \cdot (z_1+z_2) \cdot m,$$

где z_1 и z_2 – количество зубьев шестерни и колеса соответственно; m – модуль зубчатых колес.

5. Подготовить детали для сборки. Произвести, если необходимо, пригоночные работы, очистить от грязи, ржавчины, промыть в керосине.
6. Собрать зубчатую передачу согласно чертежу (рис. 1, 2). На валу (1) зубчатое колесо (2) закрепить с помощью конической втулки KLLC015 (3) (рис. 4) в соответствии с технологической схемой. Затяжка втулки осуществляется с помощью трех винтов (4). Необходимо закручивать их последовательно на 1/4-1/8 оборота. Для демонтажа втулки винты выкручиваются из монтажных отверстий и два из них закручиваются в резьбовые демонтажные отверстия (5) до полного демонтажа колеса.

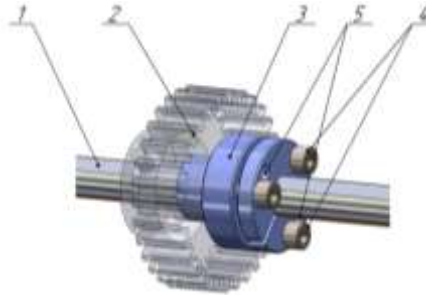


Рисунок 4 – Схема закрепления зубчатого колеса с помощью конической закрепительной втулки KLLC015: 1 – вал; 2 – зубчатое колесо; 3 – коническая втулка KLLC015; 4 – винты для затяжки втулки; 5 – отверстия с резьбой для демонтажа втулки

7. Измерить с помощью индикатора часового типа величину осевого перемещения валов, радиальное и торцевое биение зубчатых колес. Данные занести в протокол. На рис. 5 показана схема измерения радиального (а) и бокового (б) биения зубчатых колес и осевого смещения валов с помощью микрометра часового типа (2), установленного на магнитной стойке (3).

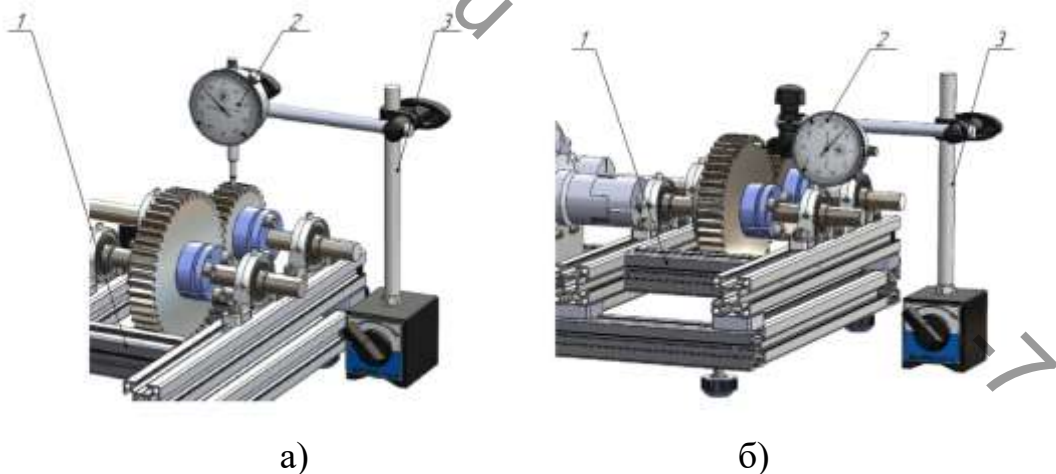


Рисунок 5 – Схема измерения радиального (а) и бокового (б) биения зубчатых колес

Измерить действительное межцентровое расстояние a_w с помощью штангенциркуля (рис. 6) или штихмаса и сравнить с расчетным значением. Определить параллельность валов. Выставление и контроль межосевого расстояния, проверка параллельности осей осуществляется с помощью штангенциркуля (рис. 6).

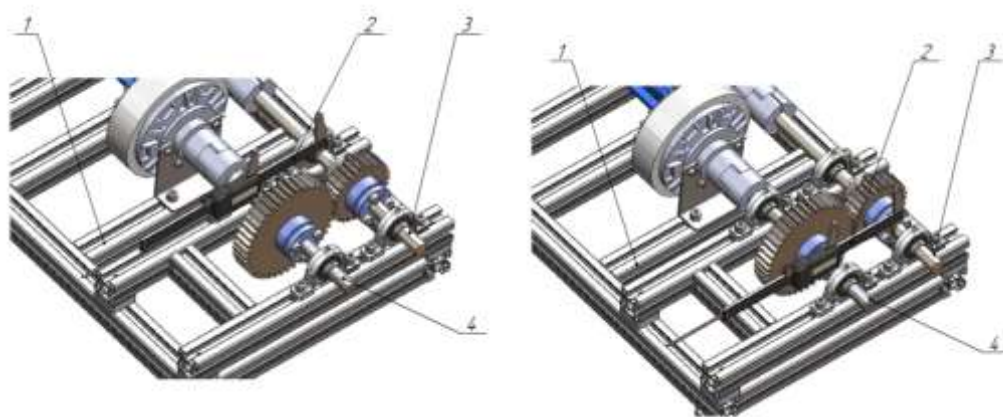


Рисунок 6 – Схема измерения межосевого расстояния между валами

8. При выполнении всех требований произвести окончательную сборку передачи.
9. Проверить правильность сборки путем ручного прокручивания ведущего вала на 2 оборота. Валы должны свободно вращаться, без заедания.
10. В присутствии преподавателя или мастера, при опущенном защитном щитке, включить установку постепенно повышая частоту вращения электродвигателя с помощью частотного преобразователя (изменяя частоту питающего тока от 0 до 50 Гц). Визуально оценить правильность работы передачи, оценить уровень шума и вибрации.
11. Нагрузить передачу путем включения электромагнитного тормоза. Плавно изменить нагрузку от 0 до 0,6А. При этом не допускать полной остановки вращения вала электродвигателя.
12. Оформить отчет, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

1.2. Лабораторная работа №2 Определение параметров прямозубой передачи

Цель работы: Определение назначения отдельных узлов зубчатой передачи, ознакомление со способами регулировки, производства замеров и вычисление основных параметров зубчатого зацепления.

Продолжительность работы – 2 часа.

Необходимое оборудования (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка в конфигурации №1 «Прямозубая передача».
2. Электронный штангенциркуль и/или штихмас.
3. Индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм.
4. Щупы (ГОСТ 882-75) L=100 мм, набор №2.
5. Зубомер (ГОСТ 4446-811).
6. Профиломер (ГОСТ 19300-73).
7. Комплект ключей.

1.2.1. Теоретические основы механических передач

Механические устройства, применяемые для передачи энергии от ее источника к потребителю с изменением угловой скорости или вида движения, называют *механическими передачами*. Передавая механическую энергию, передачи одновременно могут выполнять следующие функции:

- *понижать и повышать* угловые скорости, соответственно повышая или понижая вращающие моменты;
- *преобразовывать* один вид движения в другой (вращательное в возвратно-

- поступательное, равномерное в прерывистое и т.д.);
- *регулировать* угловые скорости рабочего органа машины;
 - *реверсировать* движение (прямой и обратный ход);
 - *распределять* работу двигателя между несколькими исполнительными органами машины.

В современном машиностроении применяются механические, пневматические, гидравлические и электрические передачи. В настоящем лабораторном практикуме рассматриваются наиболее распространенные из механических передач: *передачи зацеплением* – зубчатые; *передачи трением* – ременные. В передачи зацеплением входят и *цепные передачи*.

Особенности каждой передачи и ее применения определяются следующими основными характеристиками:

1. Мощностью на ведущем P_1 и ведомом P_2 валах.
2. Угловой скоростью ведущего ω_1 и ведомого ω_2 валов (рис.7).

Эти две основные характеристики необходимы для выполнения проектного расчета любой передачи.

Дополнительными характеристиками являются:

1. *Механический КПД* передачи η :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1 \cdot u},$$

где P_1 – мощность на быстроходном валу;

P_2 – мощность на тихоходном валу;

T_1 и T_2 – вращающие моменты соответственно на ведущем и ведомом валах;

u – передаточное отношение соответственно на ведущем и ведомом валах.

Для многоступенчатой передачи, состоящей из нескольких отдельных последовательно соединенных передач, общий КПД

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_n,$$

где $\eta_1, \eta_2 \dots \eta_n$ – КПД каждой передачи (зубчатой, червячной, ременной).

2. *Окружная скорость* V ведущего или ведомого звена, м/с:

$$v = \frac{\omega \cdot D}{2 \cdot 1000},$$

где D – диаметр колеса, катка, шкива и т.д., мм.

Окружные скорости обоих звеньев при отсутствии скольжения равны, т.е. $v_1 = v_2$.

3. *Окружное усилие передачи* F (рис. 7), Н:

$$F = \frac{2 \cdot T_1}{D_1},$$

где T_1 – вращающий момент ведущего вала, Н·мм;

D_1 – диаметр ведущего звена, мм.

4. *Вращающий момент* T , Н·мм:

$$T = \frac{F \cdot D}{2} \quad \text{или} \quad T = 10^6 \frac{P}{\omega},$$

где F – окружное усилие, Н;

D – диаметр звена, мм;

P – мощность, кВт.

5. *Передаточное число и передаточное отношение*.

Передаточным числом называется отношение угловой скорости ведущего вала к угловой скорости ведомого вала:

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

Отношение угловых скоростей валов передачи, независимо от направления силового потока, называется передаточным отношением.

Передаточное отношение также обозначается буквой u , но с индексами, обозначающими соответствующие угловые скорости валов передачи:

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1};$$

$$u_{21} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}.$$

Передача, понижающая угловые скорости, имеет $u > 1$ и называется *редуктором*. При повышении угловых скоростей $u < 1$, передача называется *мультипликатором*.

Передаточному отношению обычно приписывают знак: плюс, если направления угловых скоростей ведущего и ведомого валов одинаковы, и минус, если они противоположны.

Передаточное отношение можно выразить через вращающие моменты на ведущем и ведомом валах и КПД:

$$u = \frac{T_2}{\eta \cdot T_1}.$$

Для многоступенчатой передачи общее передаточное отношение

$$u_{\text{общ}} = u_1 \cdot u_2 \dots u_n,$$

где u_1, u_2, \dots, u_n – передаточные отношения каждой ступени.

При изучении механических передач необходимо помнить следующее:

1. **Момент движущих сил** T_1 всегда приложен к ведущему валу передачи и имеет направление, совпадающее с направлением вращения этого вала ω_1 .

2. **Момент сил сопротивления** T_2 всегда приложен к ведомому валу передачи и имеет направление, противоположное направлению этого вала ω_2 .

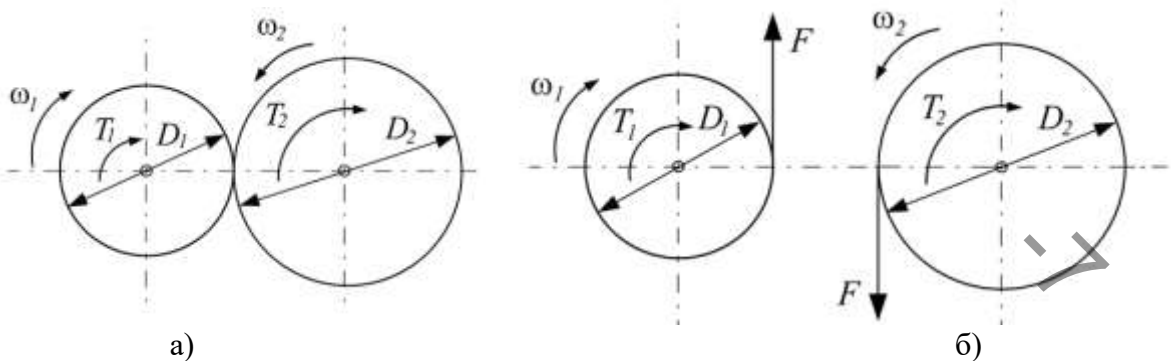


Рисунок 7 – Схема для определения направления вращающих моментов в передаче:
а – колеса в рабочем положении; б – колеса, условно раздвинутые

Для определения параметров зубчатой передачи необходимо провести ряд точных замеров с помощью штангенциркуля и вычислить параметры зацепления. Для определения передаточного числа передачи необходимо сосчитать количество зубьев шестерни и колеса. Величины основных параметров m, a_w округляют до стандартных значений (по ГОСТ 9563-80, ГОСТ 2185-66), если эти величины находятся в пределах отклонений от

номинала, обусловленных неточностью замера. По результатам замеров и по произведенным расчетам величин (по формулам) заполняется табл. 1, которая входит в содержание отчета.

1.2.2. Составление эскизов

Ознакомившись с устройством передачи, назначением его узлов и выполнив геометрический расчет, составляют эскизы зубчатых колес.

На эскизах указать установочные, габаритные, присоединительные и посадочные размеры.

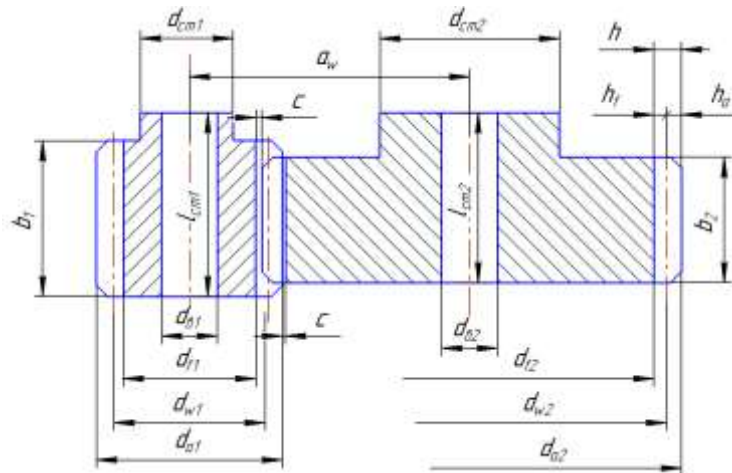


Рисунок 8 – Эскиз зубчатого зацепления

Таблица 1 – Измеренные параметры зубчатого зацепления

№	Параметры	Обозначение	Значение
1.	Вид зубчатой передачи		
2.	Межосевое расстояние передачи, мм	a_w	
3.	Количество зубьев шестерни, шт.	z_1	
4.	Количество зубьев колеса, шт.	z_2	
5.	Ширина венца зубчатого шестерни, мм	b_1	
6.	Ширина венца зубчатого колеса, мм	b_2	
7.	Ширина ступицы шестерни, мм	l_{cm1}	
8.	Ширина ступицы колеса, мм	l_{cm2}	
9.	Диаметр ступицы шестерни, мм	d_{cm1}	
10.	Диаметр ступицы колеса, мм	d_{cm2}	
11.	Диаметр вершин зубьев шестерни, мм	d_{a1}	
12.	Диаметр вершин зубьев колеса, мм	d_{a2}	
13.	Диаметр отверстия ступицы шестерни, мм	d_{e1}	
14.	Диаметр отверстия ступицы колеса, мм	d_{e2}	

Определить основные параметры зацепления. На основании выполненных замеров вычислить основные параметры зубчатого зацепления. Рассчитать КПД передачи (КПД пары зубчатых колес $\eta_{3,n} = 0,98$; КПД учитывающий потери пары подшипников качения $\eta_{3,n} = 0,99$). Результаты записать в табл. 2.

Таблица 2 – Рассчитанные параметры зацепления

№	Параметры	Обозначение	Значение
1.	Передаточное число	U	
2.	Угол зацепления, град	α	
3.	Расчетные модули, мм: - окружной	m_t	
4.	- нормальный	m_n	
5.	Стандартный нормальный мо-	m_n^{cm}	
6.	Высота зуба, мм	h	
7.	Диаметр делительной окружности, мм: - шестерни	d_{w1}	
8.	- колеса	d_{w2}	
9.	Диаметр окружности вершин зубьев, мм:	d_{a1}	
10.	- колеса	d_{a2}	
11.	Диаметр окружности впадин колеса, мм:	d_{f1}	
12.	- колеса	d_{f2}	
13.	Межосевое расстояние, мм	a_w	
14.	Коэффициент ширины зуба по	Ψ_{ba}	
15.	Коэффициент ширины зуба по диаметру делительной окружно-	Ψ_{bd}	
16.	Коэффициент ширины зуба по	Ψ_{bm}	
17.	Радиальный зазор, мм	c_1, c_{11}	
18.	КПД редуктора	η_p	

1.2.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежами и техническими условиями на собираемое изделие.
2. Определить звенья сборочных размерных цепей. Номинальные размеры определить с помощью линейки и штангенциркуля.
3. Сделать эскиз экспериментальной установки и ее кинематическую схему по ГОСТ 2.703-2011.
4. По результатам измерений сделать эскиз зубчатого зацепления (рис. 8), заполнить табл. 1.
5. Рассчитать параметры зубчатого зацепления, заполнить табл. 2.
6. Рассчитать силы, действующие в зацеплении, величину крутящего момента для номинальных параметров электродвигателя.
7. Оформить отчет, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

1.3. Лабораторная работа №3 Контроль качества сборки зубчатой передачи

Цель работы: приобретение практических навыков контроля качества сборки зубчатых передач, закрепление сообщаемых в лекционном курсе сведений об определении вида погрешности зацепления, практическое применение методов контроля правильности относительного расположения валов.

Продолжительность работы – 2 часа.

Необходимое оборудования (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка.
2. Электронный штангенциркуль и/или штихмас.
3. Индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм.
4. Поводок.
5. Щупы (ГОСТ 882-75) L=100 мм, набор №2.
6. Свинцовая проволока d=1...2 мм.
7. Краска (ультрамарин) (ГОСТ 6-10-404-77).
8. Растворитель (ГОСТ 7931-76 Олива натуральная).
9. Ветошь.
10. Зубомер (ГОСТ 4446-81).
11. Профиломер (ГОСТ 19300-73).

1.3.1. Теоретические основы сборки зубчатых передач

К монтажу цилиндрических зубчатых передач предъявляются следующие требования:

- а) обеспечения заданного межосевого расстояния, параллельности осей вала и отсутствие перекоса;
- б) обеспечения радиального биения зубчатых колес в установленных пределах;
- в) обеспечения допустимых зазоров в зацепления - радиального и бокового в соответствии с принятой плотностью зацепления;
- г) обеспечения ненадлежащего контакта в зацеплении.

При отклонении межосевых расстояний от расчетных зацепление будет неправильным: глубоким - в случае уменьшения этих расстояния и мелким - в случае их увеличения.

Глубокое зацепление приводит к недопустимому уменьшению радиальных зазоров, выжиманию смазки, увеличению трения в зацеплении, прогибу валов и тугому ходу передачи. При мелком зацеплении увеличиваются радиальные зазоры, возникают удары и быстро изнашиваются вершины (головки) зубьев. Межосевые расстояния и параллельность осей валов проверяют электронным штангенциркулем, штихмасами или мерными скалками. При сборке передач предельное отклонение межосевого расстояния должно укладываться в пределы, установленные ГОСТ - 1643-81.

Радиальные биения происходят вследствие искривления валов или в результате неправильной расточки посадочного отверстия по отношению к окружности выступов.

При слишком больших радиальных зазорах появляются усилия, раздвигающие шестерни, что может привести к быстрому износу зубьев или изгибу валов. Внешним признаком малого радиального зазора являются гудение и скрип при работе зубчатой передачи.

Замер радиального биения производят индикатором часового типа, установленным на магнитной опоре (рис. 5). Нормы на радиальные биения зубчатого колеса приведены в ГОСТ 1643-81.

Зазоры между зубьями колес необходимы во избежание заклинивания зубьев, при компенсации неточности межосевых расстояний и размеров зубьев, для компенсации тепловых деформаций, а также для сохранения в зубчатом зацеплении слоя смазки.

Расстояние между окружностью выступов одного колеса и окружностью впадин другого называют радиальным зазором j_r . Он зависит от межосевого расстояния передачи. Наименьшее расстояние по нормам между соседними нерабочими поверхностями зубьев называют боковым зазором j_n (рис. 10). Он зависит от толщины зубьев.

В соответствии с исходным контуром зубчатой рейки боковой зазор между зубьями

колес теоретически равен нулю. Практически при изготовлении зубчатых колес предусматривается определенный минимальный размер бокового зазора, который оказывает большое влияние на плавность работы зубчатой передачи и на силу ударов.

Зазоры в зацеплении собранного узла зубчатых колес проверяют на ощупь и путем замера. При проверке на ощупь одно из зубчатых колес покачивается в обе стороны в качестве зацепления судят по плавности хода. Этот способ очень неточный и имеет ограниченное применение. Более точно радиальный и боковой зазоры проверяют щупом, индикатором (рис. 9) или свинцовой проволокой, прокатываемой между зубьями парных колес (рис. 10).

На рис. 9 представлена схема контроля бокового зазора в зубчатом зацеплении (1,2) с помощью поводка (3) и микрометра часового типа (4). На валу одного из зубчатых колес укрепляют поводок (3), конец которого упирается в ножку индикатора (4), устанавливаемого на корпусе или плите. Если второе зубчатое колесо удерживать от вращения, а поводок слегка поворачивать в том или другом направлении, то поворот будет возможен лишь на величину зазора в зубьях. Зазор может быть определен по показанию индикатора, приведенному к радиусу $0.5 \cdot d_w$ начальной окружности по формуле:

$$j_n = \frac{A \cdot 0.5 d_{w1}}{l},$$

где A – показания микрометра, мкм; l – плечо поводка, мм; d_{w1} – диаметр делительной окружности шестерни, мм.

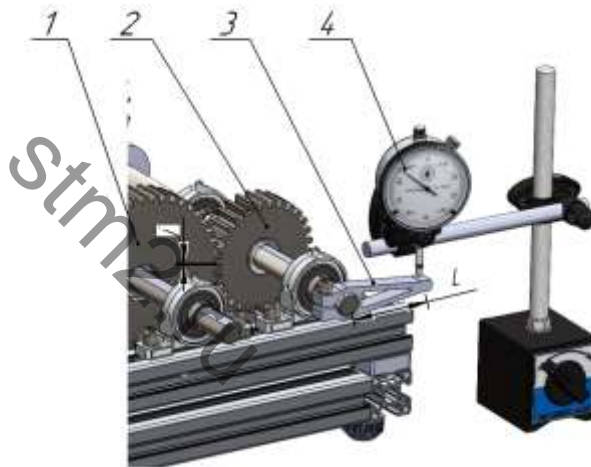


Рисунок 9 – Схема измерения бокового зазора в зубчатом зацеплении с помощью индикатора

Для измерения бокового зазора свинцовой проволокой на зубья шестерни накладывают два равных по длине отрезка проволоки диаметром 1-3 мм и замеряют расстояние – l между проволоками, как показана на рис. 10, 11. Затем, поворачивая от руки колесо, пропускают проволоку через зацепление, при этом проволока сплющивается. Полученные оттиски бокового 1 и радиального 2 зазоров будут представлять полоски с переменной толщиной. Меньшая толщина, a соответствуют зазору с рабочей стороны зуба, а большая b - с нерабочей.

Сумма толщин обоих оттисков равна боковому зазору зацепления $j_n = a + b$

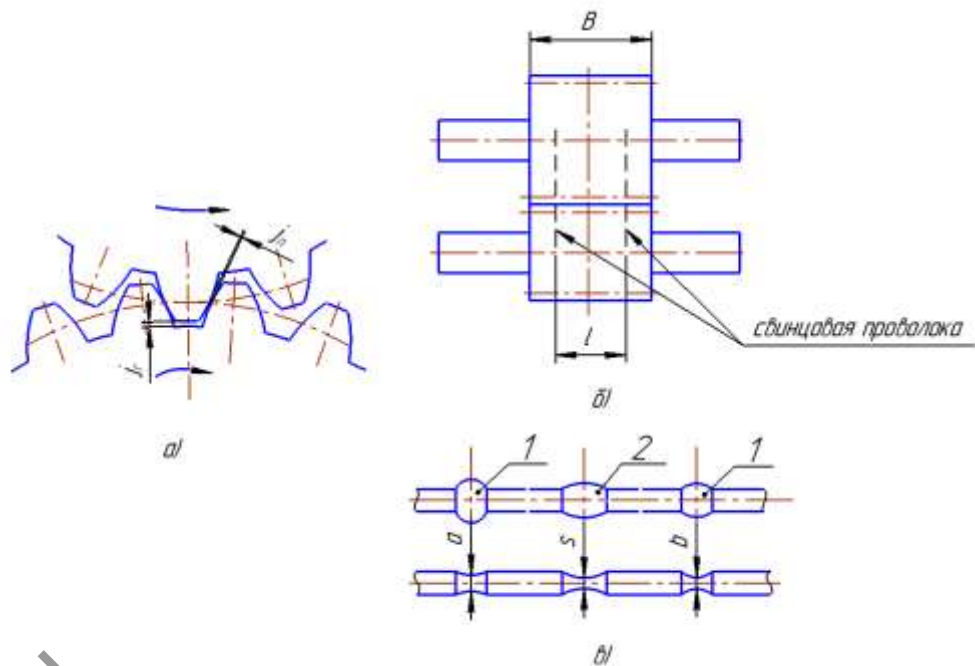


Рисунок 10 – Схемы образования и проверки бокового и радиального зазоров: а) образование зазоров; б) схема наложения проволоки на зубья; в) форма оттисков

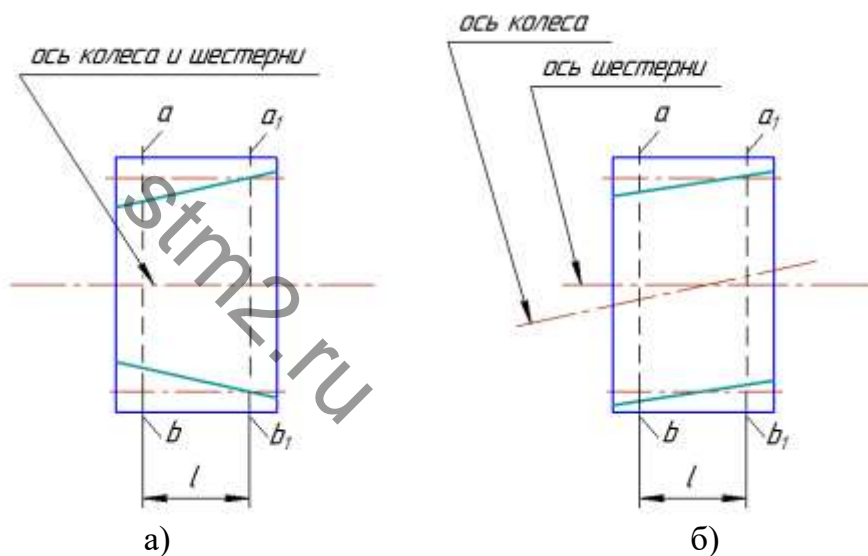


Рисунок 11 – Схема соотношения боковых зазоров: а - непараллельные; в - пересекаются

Нормы гарантированного бокового зазора приведены в ГОСТ 1643-81.

Если толщины соответствующих оттисков неравны, например $a > a_1$ и/или $b > b_1$, как представлено на рис. 11, то оси валов непараллельные на величину ΔX , равную

$$\Delta X = ((a+b) - (a_1+b_1)) / 2 \cdot \sin \alpha,$$

где α – угол зацепления (обычно 20°)

Относительную величину отклонения от параллельности определяют делением ΔX на l .

При $a > a_1$ и/или $b > b_1$ оси валов скрещиваются. Тогда $a+b = a_1+b_1$.

Относительную величину скрещивания определяют делением разности $a-a_1$ и/или $b-b_1$ на l .

Средний оттиск s (рис. 10) на свинцовой проволоке дает полную величину радиального зазора. Если размер радиального зазора равен $j_n - 0,2m$, то его колебание должно

соответствовать нормам отклонения межосевого расстояния.

Допуски на параллельность и перекося осей колес приведены в ГОСТ. Перечисленные операции называют центровкой зубчатых колес.

После центровки контакт зацепления проверяют на краску. Для этого зубья ведущего колеса покрывают тонким слоем краски /ультрамарин/ и проворачивают передачу от руки, чтобы зубьях появились следы от краски. Площадь контакта должна быть расположена в середине рабочей поверхности зуба, как представлена на рис. 12.

Определяются относительные размеры пятна контакта в процентах: по длине зуба - отношения расстояния a между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов c , превосходящих величину модуля в мм, к длине зуба b :

$$((a-c)/b) \cdot 100\%$$

По высоте зуба - отношение средней (по высоте зуба) высоты следов прилегания h_m к высоте зуба h_p , соответствующей активной боковой поверхности:

$$(h_m / h_p) \cdot 100\%$$

Степень точности сборки зубчатой передачи в зависимости от размера пятна контакта приводится в табл. 3.

Таблица 3. Степень точности сборки передачи в зависимости от площади пятна контакта

Степень точности	5	6	7	8	9	10
Размер пятна контакта в % по высоте и длине, не менее	75	70	60	50	40	30

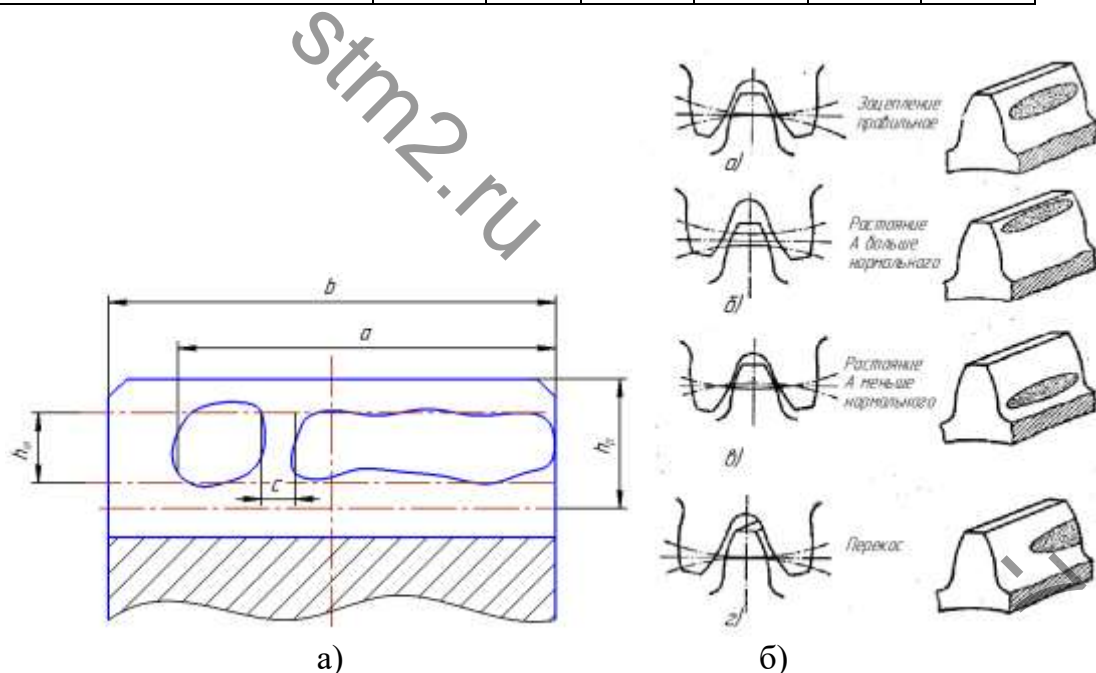


Рисунок 12 – Проверка правильности монтажа по пятну на поверхности контакта зуба: а) схема измерения пятна контакта; б) правильное и неправильное зацепление зацепления зубчатых колес

На рис. 13 представлены схемы контроля осевого смещения и углового перекося зубчатых колес (1, 2) с помощью линейки, транспорта (3), набора щупов.

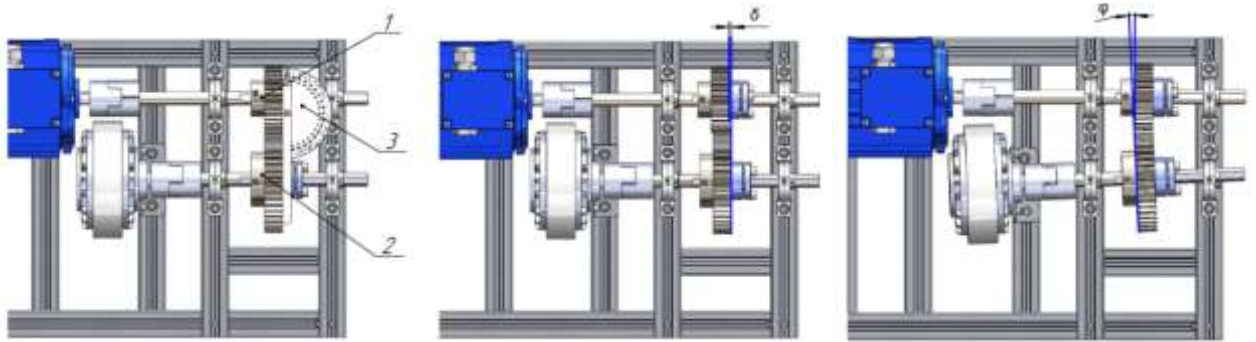


Рисунок 13 – Схема контроля осевого смещения и углового перекоса колес

Степень точности передачи определяется при сопоставлении результатов замеров основных параметров зубчатого зацепления с требованиями ГОСТ 1643-81.

1.3.2. Порядок выполнения работы

1. Определить основные параметры зубчатого зацепления путем обмера зубчатых колес и расчета. Расчетные величины определяются по формулам, приведенным в курсе Детали машин. Данные занести в таблицу 4.
2. Проверить межосевое расстояние a_w .
3. Проверить параллельность осей валов.
4. Определить радиальное биение зубчатых венцов и шестерни колеса.
5. Определить с помощью свинцовых проволочек величину радиального и бокового зазоров в зацеплении.
6. Нанести на поверхность зубьев колеса тонкий слой краски (ультрамарин), повернуть передачу вручную, определить площадь пятна контакта и сравнить с допустимыми нормами.
7. Определить радиальный j_r и боковой j_n зазор с помощью микрометра.
8. Провести проверку зацепления по пятну контакта.
9. Оформить отчет. Провести анализ результатов и сделать выводы по работе.

Таблица 4. Данные замеров, необходимые для определения степени точности передачи

№	Определяется	Величина			Степень точности
		А	Б	В	
1	2	3	4	5	6
1.	Межосевое расстояние				
2.	Не параллельность				
3.	Перекося				
4.	Радиальное биение зубчатого венца - шестерни - колеса				
5.	Радиальный зазор				
6.	Боковой зазор				
7.	Относительные размеры пятна контакта по длине и высоте зуба				
8.	Условное обозначение степени точности передач				
9.	Относительные по длине зуба размеры пятна по высоте зуба контакта				

Примечание: А, Б, В - различные способы замеров.

1.4. Лабораторная работа №4. Акустическая диагностика прямозубой передачи

Цель работы: приобретение практических навыков акустической диагностики различных дефектов зубчатой передачи.

Продолжительность работы - 2 часа.

Необходимое оборудования (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка в конфигурации с прямозубой передачи с набором дефектных деталей;
2. Электронный штангенциркуль;
3. Индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм;
4. Щупы (ГОСТ 882-75) L=100мм, набор №2;
5. Шумомер с функцией анализатора спектра звука (типа шумомеров ОКТАВА 101А, АССИСТЕНТ);
6. Стетоскоп.

1.4.1. Теоретические основы акустической диагностики.

Акустический шум и колебания механизмов давно используются для оценки технического состояния. В механических устройствах в качестве степени повреждений выступает зазор между деталями. Наличие зазора вызывает соударение деталей во время работы. Физическое проявление этого процесса реализуется в виде распространения упругих волн акустического диапазона, возникновения вибрации и ударных импульсов. Несмотря на единую физическую природу, каждое из этих проявлений имеет свои особенности и по-разному отображает происходящие процессы. Поэтому целесообразно контролировать совокупность этих параметров. Упругие волны, порождающие акустические колебания, имеют частотный диапазон 20...16000 Гц и легко распространяются по корпусным деталям механизма. Вследствие этого прослушивание акустических шумов, возникающих при работе механизма, наиболее распространенный метод определения состояния работающего оборудования. Для этого используется технический стетоскоп, состоящий из металлической трубки и наушника. Один конец инструмента прижимается к корпусу подшипника, а наушник — к уху. Этот метод настолько доказал свою надежность, что требования по прослушиванию шумов механизмов включены во все правила технического обслуживания и инструкции по эксплуатации оборудования. Наиболее эффективным является сочетание полученной качественной картины технического состояния с количественной оценкой параметров вибрации. Это позволяет соединить субъективное мнение с объективной информацией, что обеспечивает достаточную точность при постановке диагноза. Сейчас при прослушивании шумов используют электронные стетоскопы (рис. 14а). Щуп прибора устанавливается на корпусе механизма. Электрический сигнал, снимаемый с пьезоэлектрического датчика, подается на усилитель звуковой частоты, а затем в наушники. По частоте и силе звука судят о наличии повреждений в контролируемом механизме и об их характере. В любом случае, наиболее сложной задачей является процесс распознавания шумов и определения видов дефектов. Этот процесс трудно формализовать. Многие зависят от квалификации и опыта человека, использующего этот метод. Основные достоинства метода: получение качественной информации о техническом состоянии механизма. Сигналы, возбуждаемые колебаниями работающих механизмов, носят импульсный характер. Увеличение зазора между сопрягаемыми деталями приводит к перераспределению энергии по частотным диапазонам, повышению уровня сигнала на более высоких частотах. Амплитуда колебаний характеризует динамику работы кинематической пары, а также размер дефекта, частота — источник колебаний. Решение задачи

распознавания шумов и видов повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизма. Граф причинно-следственных связей шумов и повреждений механизма приведен на рис. 15. Виды повреждений приведены в нижней части графа, выше указаны характерные шумы, определяющие данный диагностический признак.



Рисунок 14 – Приборы для измерения и анализа шумов: а) электронный стетоскоп; б) шумомер-анализатор АССИСТЕНТ

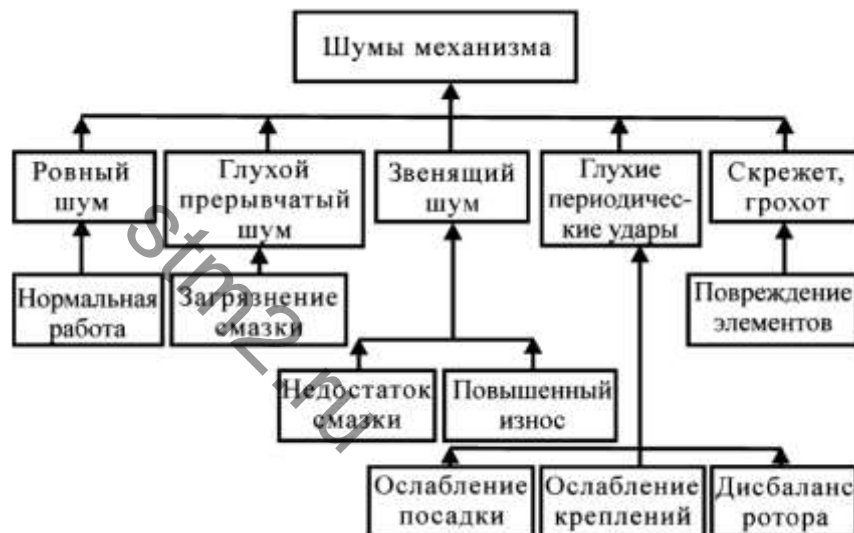


Рисунок 15 – Граф причинно-следственных связей шумов и повреждений механизма

Шумы зубчатых передач:

1. Ровный жужжащий шум низкого тона характерен для нормальной работы зубчатой передачи. Косозубая передача в этом случае имеет ровный воющий шум низкого тона.

2. Шум высокого тона, переходящий с увеличением частоты вращения в свист и вой, и непрерывный стук в зацеплении происходят при искажении формы работающих поверхностей зубьев или при наличии на них местных дефектов.

3. Дребезжащий металлический шум, сопровождающийся вибрацией корпуса, возможен вследствие малого бокового зазора или несоосности колёс, при износе посадочных мест редуктора.

4. Циклический (периодический) шум, появляющийся с каждым оборотом колеса, то ослабевающий, то усиливающийся, указывает на эксцентричное расположение зубьев относительно оси вращения. Устранить такой шум в редукторе практически невозможно.

5. Циклические удары, грохот, глухой стук — излом зуба.

Объективные методы оценки технического состояния зубчатой передачи

базируются на приборных методах измерения и анализа уровня звука, излучаемого машиной. Наиболее простым и доступным является метод оценки общего уровня звука работающей машины, измеренного с помощью шумомера. В таблице 5 приводятся примерная оценка зубчатого зацепления по уровню звука (dB), излучаемой механизмом во время работы.

Более точную оценку технического состояния механизма дает метод спектрального анализа акустического сигнала, измеренного с помощью измерительного микрофона на расстоянии 1 метр от работающего агрегата. Измерение акустического сигнала и его спектральный анализ проводится с помощью электронных приборов – шумомеров-анализаторов. Амплитудно-частотный состав звуковых колебаний детерминирован с техническим состоянием передачи. При этом частота колебаний определяется видом дефекта, а амплитуда – степенью его развития дефекта. Сравнительный анализ спектров акустических сигналов исправного механизма с дефектным позволяет определить вид дефекта и степень его развития. Более подробная информация по методам и средствам акустического диагностирования приводится с специализированной литературе.

Таблица 5. Примерная характеристика нормы шумности зубчатых передач

Окружная скорость, на венцах зубчатых колес в м/сек	Характеристика норм шумности	
	шумность в децибелах (dB)	оценка
5—6,5	80–85	Отлично
	86–90	Хорошо
	91–95	Удовлетворительно
6,6-8	85–90	Отлично
	91–95	Хорошо
	96–100	Удовлетворительно
8,1—9,5	90–95	Отлично
	96–100	Хорошо
	101–105	Удовлетворительно

Технические состояния прямозубой зубчатой передачи, которые могут быть смоделированы в процессе выполнения экспериментальных исследований, представлены в табл. 6. При этом частота вращения ведущего вала может меняться в диапазоне от 100 до 1000 об/мин, крутящий момент на выходном валу от 0 до 6 Н·м.

На рис. 16 представлены схемы установки зубчатых колес (1, 2) с использованием цилиндрических (3) и конических закрепительных втулок (4). Величину эксцентриситета δ_0 , δ_1 , δ_2 зубчатых колес при использовании конических и цилиндрических втулок №0, №1, №2, входящих в набор, необходимо проконтролировать с помощью индикатора часового типа (рис. 5). Величину уменьшения толщины зуба дефектной шестерни по делительной окружности измерить с помощью электронного штангенциркуля.

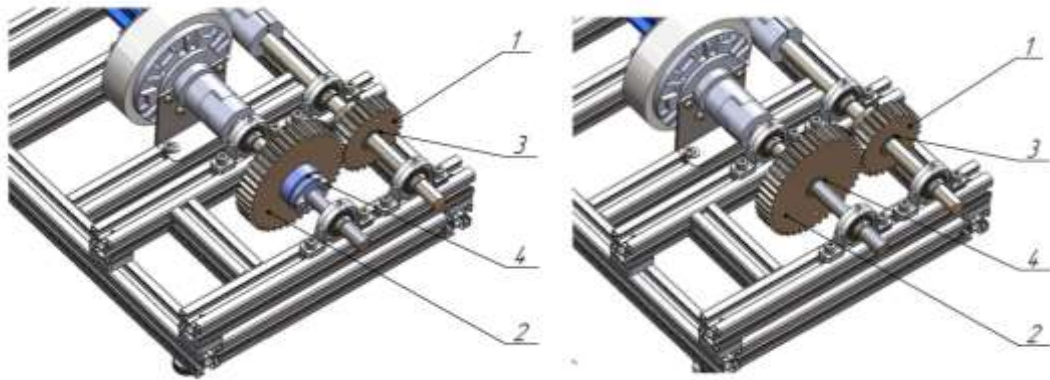


Рисунок 16 – Установка зубчатых колес с использованием конических закрепительных втулок и цилиндрических втулок

На рис. 17 показаны схемы установки грузов для моделирования дисбаланса шестерни (а), зубчатого колеса (б), одновременно шестерни и колеса (в). Дисбаланс создается с помощью шайб и винтов (входят в состав стенда). Примерная масса шайбы – 2 гр, винта М6х16 – 5,5 гр, винта М6х10 – 4,3 гр. Более точные данные можно получить путем взвешивания деталей на ювелирных весах.

Величина дисбаланса рассчитывается по формуле:

$$D = m_r \cdot R,$$

где m_r – масса грузов, гр; R – радиус установки грузов, см.

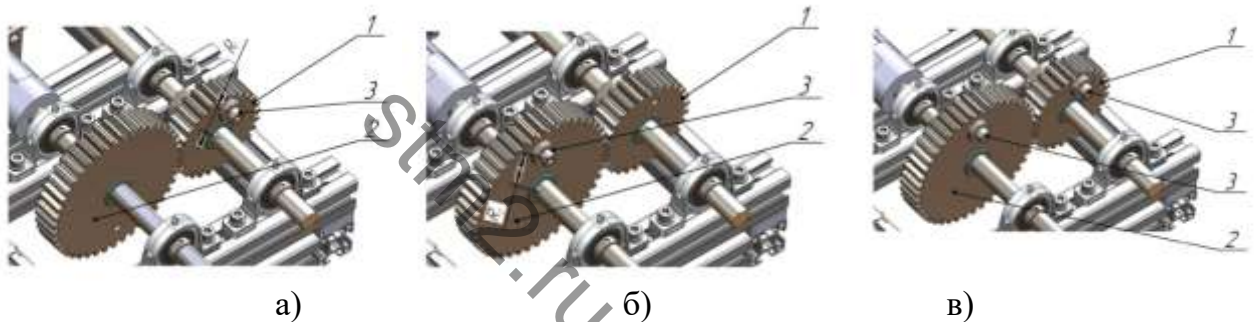


Рисунок 17 – Схемы моделирования дисбаланса зубчатых колес: а) дисбаланс шестерни; б) дисбаланс колеса; в) дисбаланс шестерни и колеса

Для моделирования локального дефекта зуба необходимо использовать шестерню с дефектным (входит в состав стенда). При этом предварительно необходимо определить измерением величину уменьшения толщины зуба по делительной окружности – μ (см. рис. 18). В процессе работы передачи зубья шестерни (1) и колеса (2) должны сопрягаться со стороны локального дефекта (3). Если направление вращения противоположное, то необходимо изменить направление вращения вала электродвигателя с помощью соответствующей функции частотного преобразователя (см. инструкцию к частотному преобразователю).

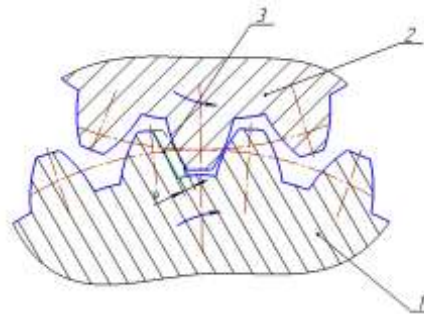


Рисунок 18 – Схема зубчатого зацепления при наличии локального дефекта шестерни

Таблица 6 — Описание моделируемых состояний прямозубой передачи

№ состояния	Описание
1.	Исправная и выверенная передача
2.	Перекос осей валов зубчатых колес на угол φ от 0 до 3 градусов
3.	Радиальное смещение осей валов до 2 мм
4.	Осевое смещение осей валов до 2 мм
5.	Эксцентриситет ведущего колеса δ_1
6.	Эксцентриситет ведущего колеса δ_2
7.	Эксцентриситет ведущего колеса δ_1 и эксцентриситет ведомого колеса δ_2
8.	Локальный дефект зуба шестерни (ведущего колеса) (уменьшение толщины зуба по делительной окружности на μ)
9.	Дисбаланс шестерни D_1
10.	Дисбаланс зубчатого колеса D_2
11.	Дисбаланс шестерни D_1 и дисбаланс колеса D_2
12.	Дефект подшипника качения «Дефект №1»
13.	Дефект подшипника качения «Дефект №2»
14.	Дефект подшипника качения «Дефект №3»

1.4.2. Порядок выполнения работы

- Собрать лабораторную установку в конфигурации №1 «Прямозубая передача». Зубчатые колеса закрепить на валах с помощью конических закрепительных втулок KLLC015 (рис. 4) и / или втулки №0 из набора.
- Проверить правильность сборки путем ручного прокручивания ведущего вала на 2 оборота. Валы должны свободно вращаться, без заедания.
- В присутствии преподавателя или мастера, при опущенной защитной крышке, включить установку постепенно повышая частоту вращения электродвигателя с помощью частотного преобразователя (изменяя частоту питающего тока от 0 до 50 Гц). Визуально оценить правильность работы передачи, оценить уровень шума и вибрации.
- Нагрузить передачу путем включения электромагнитного тормоза. Плавно изменить нагрузку от 0 до 0,6А. При этом не допускать полной остановки вращения вала электродвигателя.
- Выставить с помощью частотного преобразователя частоту вращения электродвигателя в диапазоне от 100 до 1500 об/мин, согласно индивидуальному заданию.
- Нагрузить передачу путем включения электромагнитного тормоза. Плавно увеличивать нагрузку от 0 А до значения, согласно индивидуальному заданию (не более 0,6А). При этом не допускать полной блокировки вала электродвигателя.
- Шумомером-анализатором измерить общий уровень звука (dB A) с помощью измерительного микрофона, установленного на расстоянии один метр от источника звука. Результаты измерений занести в протокол.
- Шумомером-анализатором измерить акустический сигнал и построить спектр уровня звука в частотном диапазоне от 10 Гц до 20 000 Гц. Спектр звукового сигнала распечатать, приложить к протоколу.
- Отключить установку от сети переменного тока, смоделировать различные

дефекты передачи согласно табл. 6. Повторить пункты 1-8 для каждого моделируемого технического состояния, согласно табл. 6.

10. Оформить отчет, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

1.5. Лабораторная работа №5. Вибрационная диагностика прямозубой передачи

Цель работы: приобретение практических навыков вибрационного диагностирования различных дефектов зубчатой передачи.

Продолжительность работы - 2 часа.

Необходимое оборудования (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка в конфигурации с прямозубой передачи с набором дефектных деталей.
2. Электронный штангенциркуль.
3. Индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм.
4. Щупы (ГОСТ 882-75) L=100мм, набор №2.
5. Датчики вибрации, виброанализатор (типа Vibro Vision-2 НПО «Виброцентр», г. Пермь или СТМ-12Т ФГБОУ ВО «БИОТЕХ»).

1.5.1. Теоретические основы вибрационной диагностики.

Наиболее информативным методом получения данных о техническом состоянии механического оборудования в настоящее время является анализ параметров вибрационного сигнала. Для решения различного уровня практических и исследовательских задач используются: анализ шумов механизмов, измерение общего уровня вибрации, измерение параметров вибрации, анализ спектра вибрационного сигнала и анализ временных реализаций. Предварительно рассмотрим природу возникновения механических колебаний на примере одномассовой системы. Параметрами данной системы являются: масса — m , жесткость — c , коэффициент демпфирования — h . Колебания системы возможны при воздействии силы — F , переменной относительно направления колебаний. Сила F может быть и постоянной, однако параметры контактирующих поверхностей могут служить причиной ее периодического изменения. Например, сила тяжести при взаимодействии с изношенной поверхностью подшипника при вращении вала служит источником колебаний. Частотная характеристика колебаний укажет на характер повреждения. Параметры колебательного процесса определяются следующим уравнением, в котором k — частота собственных колебаний системы, ε — параметр, определяющий демпфирующие свойства системы:

$$m \cdot \ddot{x} + h \cdot \dot{x} + c \cdot x = F;$$

$$k = \sqrt{\frac{c}{m}}; \quad \varepsilon = \frac{h}{2m}.$$

Повреждения в механической системе могут приводить к изменению жесткости (например, износ деталей, ослабление резьбовых соединений), изменению коэффициента демпфирования (в случае появления трещин), изменению воздействующих сил (при изменении шероховатости контактирующих поверхностей).

Параметры периодических колебаний:

1. Частота вибраций $f = 1/T$ (Гц), где T — период (время полного цикла колебаний), $\omega = 2\pi f$ — угловая скорость. Позволяет идентифицировать источник вибрации, повреждения.

2. Виброперемещение S (мкм) — составляющая перемещения, описывающая вибрацию. Виброперемещение как диагностический параметр представляет интерес в тех

случаях, когда необходимо знать относительное смещение элементов объекта или деформацию.

3. Виброскорость V (мм/с) — производная виброперемещения по времени. Виброскорость используют при определении технического состояния машин при измерении общего уровня вибрации. Этот параметр связывают с энергией механических колебаний, направленной на разрушение деталей.

4. Виброускорение a (м/с²) — производная виброскорости по времени. Виброускорение используют при определении степени повреждения и силы ударов в подшипниках качения и зубчатых передачах.

Основные характеристики колебательных, вибрационных процессов:

Размах колебаний — разность между наибольшим и наименьшим значениями колеблющейся величины в рассматриваемом интервале времени (двойная амплитуда).

Пиковое значение — определяется как наибольшее отклонение колебательной величины от среднего положения. Среднеарифметическое мгновенных значений вибрации характеризует общую интенсивность вибрации.

Среднее квадратичное значение — квадратный корень из среднего арифметического или среднего интегрального значения квадрата колеблющейся величины в рассматриваемом периоде времени.

Измерение общего уровня вибрации. При определении значений общего уровня вибрации проводят измерение среднеквадратичного значения виброскорости в частотном диапазоне 10...1000 Гц. Это соответствует требованиям стандарта ИСО 10816. Регламентируется проведение измерений в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтальном и осевом. При нормальной работе горизонтальная составляющая имеет максимальное, а осевая — минимальное значение. Виброскорость — для большего количества механизмов не должна превышать 4,5 мм/с.

Значения виброскорости, определяющие границы состояний: до 4,5 мм/с — удовлетворительное; 4,5...10,0 мм/с — плохое; свыше 10,0 мм/с — аварийное. Значения приведены для работы под нагрузкой. Для оценки состояния подшипников качения проводят измерения пикового и среднеквадратичного значений виброускорения в частотном диапазоне 10...4000 Гц. В общем случае: 1) хорошее состояние характеризуется значением пикового значения виброускорения — до 10,0 м/с²; 2) удовлетворительное состояние — среднеквадратичное значение не превышает 10,0 м/с²; 3) плохое состояние наступает при превышении 10,0 м/с² среднеквадратичного значения; 4) если пиковое значение превышает 100,0 м/с² — состояние становится аварийным. Одним из признаков наличия значительных повреждений является присутствие в спектре виброускорения составляющих со значениями свыше 9,8 м/с².

Для более детальной диагностики агрегата используется метод спектрального анализа вибрации подшипниковых узлов в процессе функционирования механизма. Амплитудно-частотный состав колебаний несет в себе информацию о виде и месте дефекта, степени его развития. Сравнительный анализ спектров заведомо исправного агрегата с текущим позволяет определять вид дефекта. Более подробная информация по методам и средствам вибрационного диагностирования приводится в специализированной литературе.

1.5.2. Порядок выполнения работы

1. Собрать лабораторную установку в конфигурации №1 «Прямозубая передача». Зубчатые колеса закрепить на валах с помощью конических крепежных втулок KLLC015 (рис. 4) и / или втулки №0 из набора.

2. Перед включением электродвигателя проверить правильность сборки путем ручного прокручивания ведущего вала на 2 оборота. Валы должны свободно вращаться, без заедания.
 3. В присутствии преподавателя или мастера, при опущенной защитной крышке, включить установку постепенно повышая частоту вращения электродвигателя с помощью частотного преобразователя (изменяя частоту питающего тока от 0 до 50 Гц). Визуально оценить правильность работы передачи, оценить уровень шума и вибрации.
 4. Нагрузить передачу путем включения электромагнитного тормоза. Плавно изменить нагрузку от 0 до 0,6А. При этом не допускать полной остановки вращения вала электродвигателя.
 5. Выставить с помощью частотного преобразователя частоту вращения электродвигателя в диапазоне от 100 до 1500 об/мин, согласно индивидуальному заданию.
 6. Нагрузить передачу путем включения электромагнитного тормоза. Плавно увеличивать нагрузку от 0 А до значения, согласно индивидуальному заданию (не более 0,6А). При этом не допускать полной блокировки вала электродвигателя.
 7. Установить датчик вибрации (акселерометр) на подшипниковый узел с помощью установочной шпильки М5. Датчик накручивается рукой, без усилий. С помощью виброанализатора провести измерения общего уровня вибрации (СКЗ виброскорости в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц) при работе передачи на холостом ходу и под нагрузкой. Результаты измерений занести в протокол.
 8. С помощью виброанализатора измерить и записать в память прибора различные параметры спектров вибросигналов, измеренных на корпусах подшипников:
 - а) виброперемещение в диапазоне частот от 1 до 100 Гц;
 - б) виброскорость в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц;
 - в) виброускорение в диапазоне частот от 100 до 10 000 Гц.
- Спектры вибрационного сигнала распечатать, приложить к протоколу.
9. Отключить установку от сети переменного тока, смоделировать различные дефекты передачи согласно табл. 6. Повторить пункты 1-8 для каждого моделируемого технического состояния, согласно табл. 6.
 10. Оформить отчет, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.



2. КОНФИГУРАЦИЯ №2 «КОНИЧЕСКАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА»

2.1 Лабораторная работа №6. Сборка учебно-экспериментальной установки

Цель работы: освоение теоретических и практических основ процесса сборки конической зубчатой передачи (получение навыков в составлении технологических карт и схем сборки).

Продолжительность работы - 2 часа.

Необходимое оборудование (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка.
2. Штангенциркуль и/или штихмас (микрометрический нутромер).
3. Индикатор часового типа ИЧ-1 со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм.
4. Комплект свинцовых проволочек.
5. Комплект ключей.

2.1.1. Теоретические основы сборки

Процесс сборки – это соединение отдельных деталей в узел (или узлов в машину) таким образом, чтобы основные поверхностей деталей занимали заданное взаимное расположение.

Общий вид стенда с конической зубчатой передачей представлен на рис. 19. Преобразователь частоты переменного тока (1) позволяет задавать частоту вращения электродвигателя (4) в диапазоне от 100 до 1000 об/мин. Зубчатая передача монтируется на раме (3). Валы (6) зубчатых колес соединены с валом электродвигателя (4) и электромагнитного тормоза (12) посредством кулачковых муфт (5). Конические шестерни (7, 8) устанавливаются на валах с помощью соосных или эксцентриковых втулок (8). Для задания нагрузки на передачу используется электромагнитный тормоз модели FZ-6-K (12) с устройством регулирования тормозного момента (2) от 0 до 6 Н·м. Валы вращаются в подшипниковых опорах (9), в которых установлены шариковые радиальные подшипники типа 6002-2RS. Схема сборки рамы для конфигурации №2 «Коническая зубчатая передача» показана на рис. 19б.

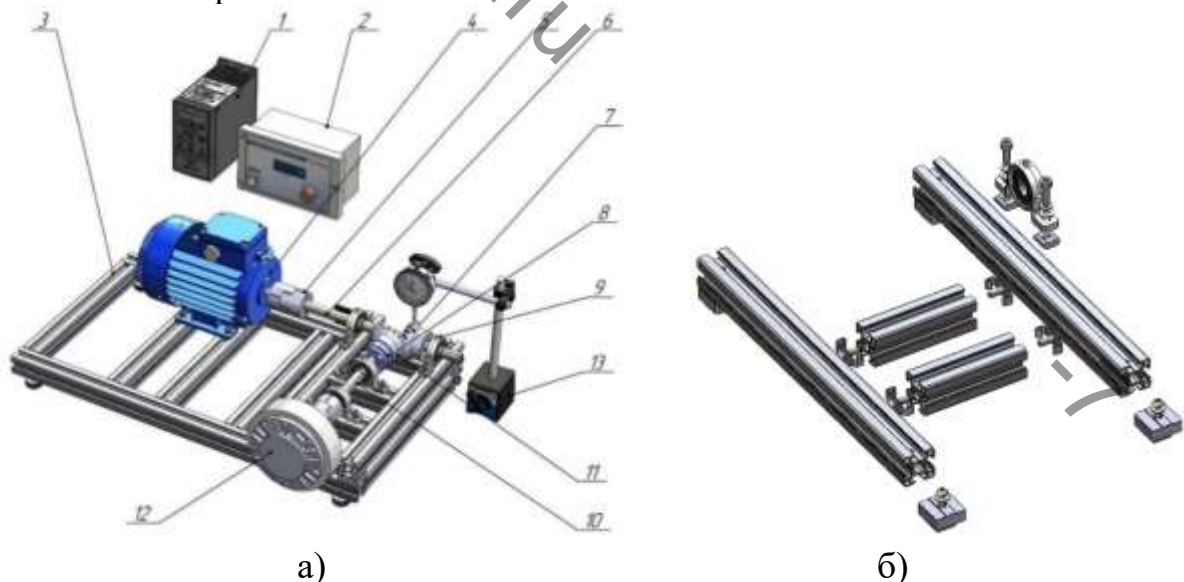


Рисунок 19 – Конфигурация №2 «Коническая зубчатая передача»: а) общий вид установки; б) Схема сборки рамы для конфигурации №2

2.1.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежами и техническими условиями на собираемое изделие.

2. Определить звенья сборочных размерных цепей. Номинальные размеры определить с помощью линейки и штангенциркуля.
3. Сделать эскиз экспериментальной установки и ее кинематическую схему по ГОСТ 2.703-2011.
4. Составить технологическую схему сборки (рис. 4).
5. Посчитать число зубьев шестерни, колеса, модуль зубьев, расчетное межосевое расстояние.
6. Подготовить детали для сборки. Произвести, если необходимо, пригоночные работы, очистить от грязи, ржавчины, промыть в керосине.
7. Собрать зубчатую передачу согласно рисунку (рис. 19). На ведущем валу шестерню закрепить с помощью цилиндрической втулки №0 из набора. На ведомом валу (10) зубчатое колесо (2) закрепить с помощью конической втулки KLLC015 (3) (рис. 5) в соответствии с технологической схемой. Затяжка втулки осуществляется с помощью трех винтов (4). Необходимо закручивать их последовательно на 1/4-1/8 оборота. Для демонтажа втулки винты выкручиваются из монтажных отверстий и два из них закручиваются в резьбовые демонтажные отверстия (5) до полного демонтажа колеса.
8. Измерить с помощью индикатора часового типа величину осевого перемещения валов, радиальное и торцевое биение зубчатых колес. Биение валов, муфты, торцевое и радиальное биение зубчатых колес контролируется с помощью микрометра, закрепленного на штативе (13). На рис. 20 показана схема установки микрометра часового типа (2) на магнитном штативе (3) при измерении радиального и осевого биения зубчатых колес. Данные занести в протокол.
9. Оформить отчет, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

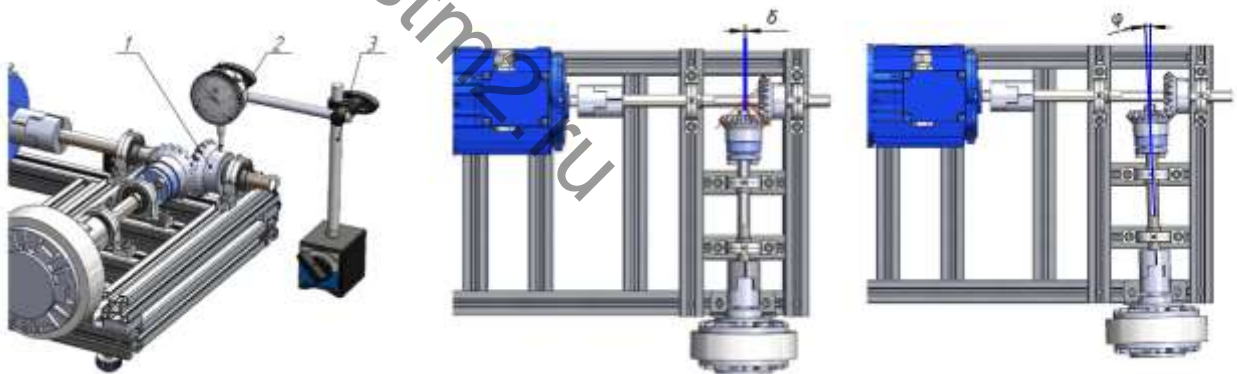


Рисунок 20 – Схемы контроля биения, осевого смещения и углового перекоса колес

2.2. Лабораторная работа №7. Определение параметров конической зубчатой передачи

Цель работы: определение назначения отдельных узлов зубчатой передачи, ознакомление со способами регулировки, производства замеров и вычисление основных параметров зубчатого зацепления.

Продолжительность работы – 2 часа.

Необходимое оборудование (инструменты, материалы):

1. Лабораторная установка в конфигурации №2 «Коническая передача».
2. Электронный штангенциркуль.
3. Индикатор часового типа со штативом (ГОСТ 577-68), цена деления 0,01 мм.
4. Щупы (ГОСТ 882-75) L=100мм, набор №2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	2
0.1. Общие указания по проведению лабораторных работ	2
0.2. Порядок выполнения лабораторных работ и составления отчета	2
0.3. Учебно-лабораторный стенд	2
0.4. Техника безопасности при работе со стендом	5
1. КОНФИГУРАЦИЯ №1 «ПРЯМОЗУБАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА»	7
1.1. Лабораторная работа №1. Сборка учебно-экспериментальной установки	7
1.1.1. Теоретические основы сборки	7
1.1.2. Порядок выполнения работы	7
1.2. Лабораторная работа №2 Определение параметров прямозубой передачи	9
1.2.1. Теоретические основы механических передач	9
1.2.2. Составление эскизов	12
1.2.3. Порядок выполнения работы	13
1.3. Лабораторная работа №3 Контроль качества сборки зубчатой передачи	13
1.3.1. Теоретические основы сборки зубчатых передач	14
1.3.2. Порядок выполнения работы	18
1.4. Лабораторная работа №4. Акустическая диагностика прямозубой передачи	19
1.4.1. Теоретические основы акустической диагностики	19
1.4.2. Порядок выполнения работы	23
1.5. Лабораторная работа №5. Вибрационная диагностика прямозубой передачи	24
1.5.1. Теоретические основы вибрационной диагностики	24
1.5.2. Порядок выполнения работы	25
2. КОНФИГУРАЦИЯ №2 «КОНИЧЕСКАЯ ЗУБЧАТАЯ ПЕРЕДАЧА»	27
2.1. Лабораторная работа №6. Сборка учебно-экспериментальной установки	27
2.1.1. Теоретические основы сборки	27
2.1.2. Порядок выполнения работы	27
2.2. Лабораторная работа №7. Определение параметров конической зубчатой передачи	28
2.2.1. Теоретические основы конических передач	29
2.2.2. Порядок выполнения работы	29
2.3. Лабораторная работа №8. Вибрационная диагностика конической зубчатой передачи	30
2.3.1. Теоретические основы	30
2.3.2. Порядок выполнения работы	31
3. КОНФИГУРАЦИЯ №3 «РЕМЕННАЯ ПЕРЕДАЧА»	33
3.1. Лабораторная работа №9. Сборка и определение параметров ременной передачи	33

3.1.1. Теоретические основы ременной передачи	33
3.1.2. Порядок выполнения работы	36
3.2. Лабораторная работа №10. Вибрационная диагностика ременной передачи	36
3.2.1. Теоретические основы	37
3.2.2. Порядок выполнения работы	37
4. КОНФИГУРАЦИЯ №4 «ДИСБАЛАНС РОТОРА»	39
4.1. Лабораторная работа №11. Центровка валов	39
4.1.1. Теоретические основы центровки валов	39
4.1.2. Методика и порядок выполнения работы	42
4.2. Лабораторная работа №12. Вибрационная диагностика дисбаланса ротора	43
4.2.1. Теоретические основы	43
4.2.2. Порядок выполнения работы	44
5. КОНФИГУРАЦИЯ №5 «ДЕФЕКТНЫЙ ПОДШИПНИК»	45
5.1. Лабораторная работа №13. Определение параметров подшипника качения	45
5.1.1. Теоретические основы	45
5.1.2. Порядок выполнения работы	47
5.2. Лабораторная работа №14. Вибрационная диагностика дефектов подшипника ...	48
5.2.1. Теоретические основы	48
5.2.2. Порядок выполнения работы	49
6. КОНФИГУРАЦИЯ №6 «РЕМЕННАЯ ПЕРЕДАЧА С ЗУБЧАТЫМ РЕМНЕМ»	50
6.1. Лабораторная работа №15. Определение параметров ременной передачи с зубчатым ремнем	50
6.1.1. Порядок выполнения работы	51
6.2. Лабораторная работа №16. Вибрационная диагностика ременной передачи	52
6.2.1. Теоретические основы	52
6.2.2. Порядок выполнения работы	52
7. КОНФИГУРАЦИЯ №7 «ЦЕПНАЯ ПЕРЕДАЧА»	53
7.1. Лабораторная работа №17. Определение параметров цепной передачи	53
7.2. Лабораторная работа №18. Вибрационная диагностика цепной передачи	55
7.2.1. Теоретические основы	
7.2.2. Порядок выполнения работы	56