Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор
_____А.Л. Шестаков
_____2019 г.

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ МУФТ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ–12.03.01.2019.303. ВКР

Руководитель проекта,
старший преподаватель:
_____С.В. Пашнин
_____ 2019 г.

Автор проекта:
студент группы КЭ-464
_____ И.А. Якимов
_____ 2019 г.

Нормоконтролер, доцент:
_____А.А. Лысова
_____2019г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Якимов И.А. Разработка стенда для исследования свойств муфт. — Челябинск: ЮУрГУ, КЭ–464, 61 с., 52 илл., библиогр. список — 20 наим., 5 прил.

В выпускной квалификационной работе разработан стенд для исследования свойств муфт.

Были выполнены следующие задачи:

- осуществлен информационный поиск по теме;
- составлена математическая модель лабораторного стенда;
- разработана 3D-модель и конструкторская документация лабораторного стенда;
- составлена методика выполнения лабораторной работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7
1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 9
1.1. Анализ технического задания 9
1.2. Классификация муфт 9
1.3. Патентный обзор 12
1.4. Обзор аналогов 13
2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТЕНДА 17
2.1. Исследование муфт в SolidWorks 17
2.2. Математическая модель процесса 31
3. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ 36
3.1. Схема стенда 36
3.2. 3D-моделирование упругой и крестовой муфты 37
3.3. 3D-моделирование корпуса стенда 39
3.5. 3D-моделирование опорной рамы 40
3.6. 3D-моделирование электродвигателя 41
3.7. 3D-моделирование датчика момента 43
3.8. 3D-моделирование датчика угла поворота 45
3.9. 3D-моделирование электромагнитного тормоза 47
3.10. 3D-моделирование дисплея для ДУП 48
3.11. 3D-моделирование сборки стенда 49
4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ НА СТЕНДЕ…...…52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 55
ПРИЛОЖЕНИЯ
ПРИЛОЖЕНИЕ А Спецификация стенда 57
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Сборочный чертеж стенда 59
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Рабочий чертеж рамы 60
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Рабочий чертеж вала 61

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный стенд – это комплекс приборов, созданный для исследования и изученияна на нем физических явлений и технических параметров определенных процессов опытным путем.

Муфта – это устройство, при помощи которого осуществляется передача крутящего момента от одного вала к другому. А также муфты используются для компенсации несоосности валов, предохранения двигателя от перегрузки, уменьшения динамических нагрузок. Муфты входят в состав многих приборных устройств, они являются ответственными узлами, т.к. часто точность работы устройства определяется через ее работу.

Лабораторный стенд для исследования свойств муфт – это комплекс оборудования, при помощи которого экспериментальным путем исследуются свойства определенного типа муфт.

Актуальность данной работы состоит в том, что, например, компенсирующие муфты используются для передачи небольших по величине крутящих моментов в приборостроениии, и от точности передачи зависит работа измерительных приборов. Целью работы является разработка лабораторного стенда для изучения свойств компенсирующих муфт, а именно упругой втулочно-пальцевой и муфтой со звездочкой. Объектом работы является лабораторный стенд для исследования муфт.

Задачи исследования:

- обзорно-аналитическая часть, где рассматриваются найденные аналоги лабораторного стенда;
- проектирование лабораторного стенда и составление его математической модели;
- разработка 3D-модели стенда и конструкторской документации;
- формирование методики выполнения лабораторной работы.

В приведенных далее лабораторных стендах, которые были спроектированы более двух десятков лет назад, используются аналоговые приборы. К тому же весь процесс лабораторной работы не автоматизирован. Поэтому новизна данного

проекта заключается в том, в лабораторный стенд будет добавлен микроконтроллер и ПК, на котором будут показываться ход выполнения лабораторной работы, а также показаны все снимаемые характеристики, необходимые для построения соответствующих графиков и составления выводов по проделанной работе.

1. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Анализ технического задания

По техническому заданию к разрабатываемому стенду предъявляются требования, представленные ниже:

- стенд должен был быть переносным;
- в схеме стенда должен быть микроконтроллер и связь с ПК;
- питание стенда от 220 В, 50 Гц;
- габаритные размеры стенда не должны превышать размеры учебного стола.

Исходя из полученных параметров, нужно обеспечить надёжную работу установки в обычных учебных условиях, т.к. для данного типа стендов не нужны какие-либо особые температурные условия или условия влажности воздуха и т.п.

После информационного поиска по теме «Стенд для исследования свойств муфт» будет сформирована схема стенда, которая устраняет недостатки существующих на данный момент аналогов.

Далее будет сформирована математическая модель процесса, происходящего во время работы стенда. Затем будут произведены поэтапный подбор комплектующих деталей и 3D-моделирование отдельных частей стенда. После этого будет составлена конструкторская документация, состоящая из нескольких рабочих чертежей, спецификации и сборочного чертежа.

Последним этапом будет сформирована методика выполнения лабораторной работы, и в заключении будут сделаны выводы по проделанной работе.

1.2. Классификация муфт

Муфтами называют приборные устройства, предназначенные для передачи крутящего момента между валами. Муфты используются для различных целей: для компенсации несоосности валов, для создания следящих систем, в качестве предохранительного элемента [1].

По принципу действия различают электромагнитные и механические муфты. Рассмотрим муфты механического действия [2].

Постоянные механические соединительные муфты применяют для соединения валов, которые могут быть соосными и несоосными с ведомыми элементами приборных устройств, а также для более простой и быстрой сборки длинных валов и осей, устанавливаемых в трудных для доступа местах приборов.

Во многих приборных устройствах встречаются такие ситуации, когда валы по конструктивным причинам не соосны. В таких ситуациях используют в конструкции прибора муфты различного типа.

Упругая муфта состоит из фланцев или полумуфт 1, на каждом из которых есть так называемые пальцы. Между полумуфтами устанавливают промежуточный упругий элемент 2 [2]. Его обычно делают из специальной резины (Рисунок 1).

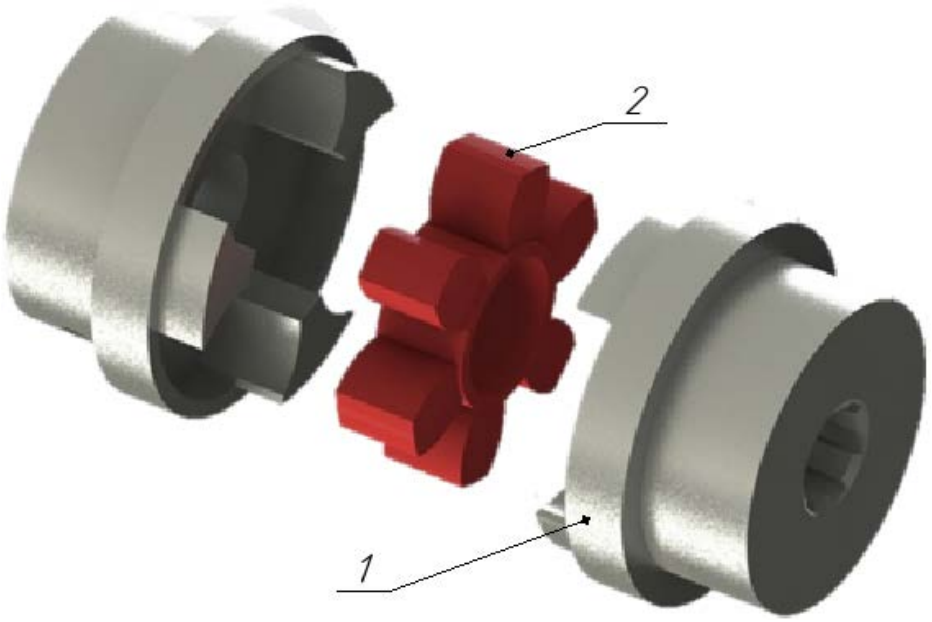

Рисунок 1 – Упругая муфта со звездочкой

В процессе передачи момента упругой муфтой возможны погрешности. Они возникают из-за радиального или продольного смещения валов, появления зазора между пальцем и отверстием в упругом элементе или из-за деформации упругого элемента между пальцами [3].

Благодаря легкости изготовления и замены резиновых элементов втулочно-пальцевая муфта получила распространение, особенно в приборостроении для передачи малых и средних по величине крутящих моментов. Размеры таких муфт

стандартизованы для диаметров валов до 150 мм и соответственно вращающих моментов до 15000 Н·м.

Упругие элементы представляют собой гофрированные резиновые втулки или кольца трапецеидального сечения. Ввиду небольшой толщины втулок муфты обладают малой податливостью и применяются в основном для компенсации несоосности валов в небольших пределах ($\Delta_a \approx 1...5$ мм; $\Delta_r \approx 0,3...0,6$ мм; Δ_α до 1°).

Для проверки прочности рассчитывают пальцы на изгиб, а резину — по напряжениям смятия на поверхности соприкасания втулок с пальцами. При этом считается, что все пальцы нагружены одинаково, а напряжения смятия распределены равномерно по длине втулки.

Упругая втулочно-пальцевая муфта состоит из двух фланцев 1, соединенные втулками 2, на которых располагают упругие элементы 3. Полумуфты соединяются между собой гайкой 4, закручиваемой на втулке (Рисунок 2).

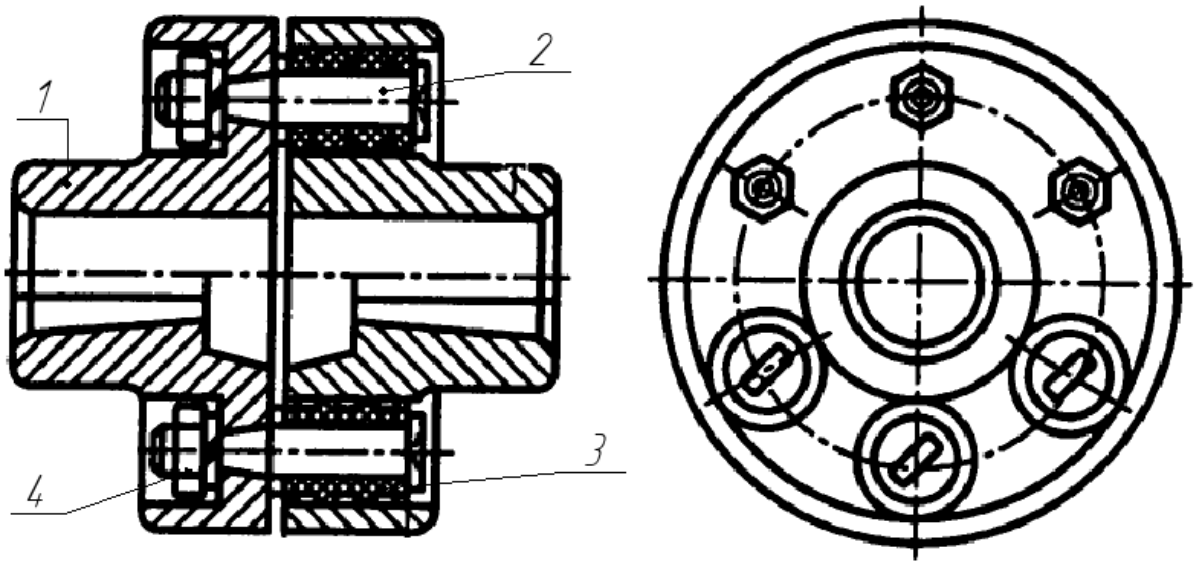

Рисунок 2 – Втулочно-пальцевая муфта

Втулки с упругими элементами называются пальцами. Количество пальцев может изменять. Таким образом, можно изменять величину времени запаздывания в передаче момента, возникающую из-за деформации упругих элементов на втулке.

1.3. Патентный обзор

В результаты патентного поиска на сайте ФИПС по заданной теме был найден один документ.

В патенте под номером 2008145420/28 от 17.11.2008 был найден стенд для исследования свойств упругих муфт. Схема данного стенда представлена на рисунке 3.

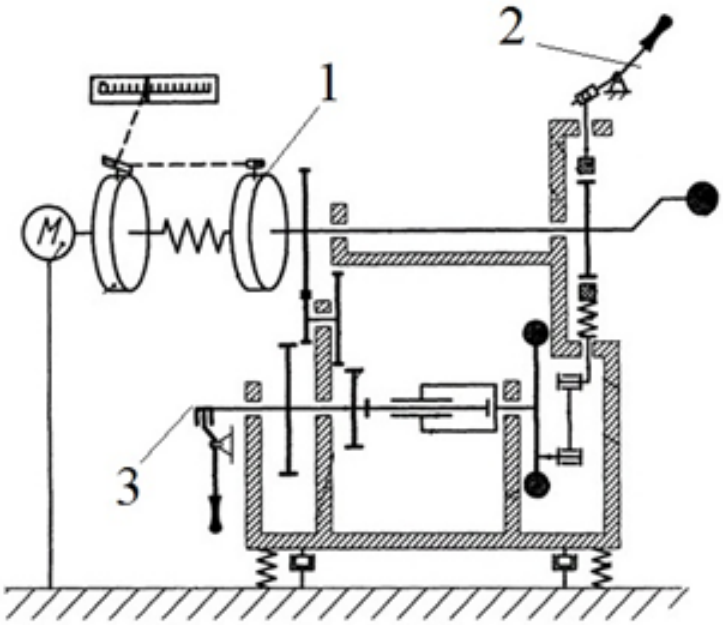

Рисунок 3 – Схема стенда для исследования упругих муфт

Устройство состоит из установленного на опоре электродвигателя, исследуемой упругой муфты 1, тормозного барабана 2, коробки переключения передач 3, оптической системы визуализации наблюдения угла закручивания одной полумуфты относительно другой, а также динамического нагружателя момента. Кроме того, для визуального представления разности амплитуд колебаний угла закручивания полумуфт, на одной из них установлен лазерный источник света, а на другой полумуфте специальное зеркало под углом 45° к оси муфты, а на опоре - полупрозрачный экран [4].

Электродвигатель вращает вал, соединенный с муфтой, в то время как со стороны другого вала создается момент сопротивления с использованием

тормозного барабана. Постепенно наращивая скорость вращения при помощи перемены передач, можно отслеживать, как меняется угол поворота одной полумуфты относительно другой.

К достоинствам такого стенда можно отнести:

- простота конструкции;
- наличие коробки перемены передач.

К недостаткам данного аналога можно отнести:

- большие габариты стенда;
- использование устаревших методов измерения угла поворота.

Изучив конструкцию стенда и принцип его действия, можно сделать следующий вывод, что в данной установке не используются современные методы измерения.

1.4. Обзор аналогов

В результате информационного поиска были найдены аналоги. Рассмотрим их подробнее.

Первым аналогом является лабораторный стенд, который представлен на рисунке 4.

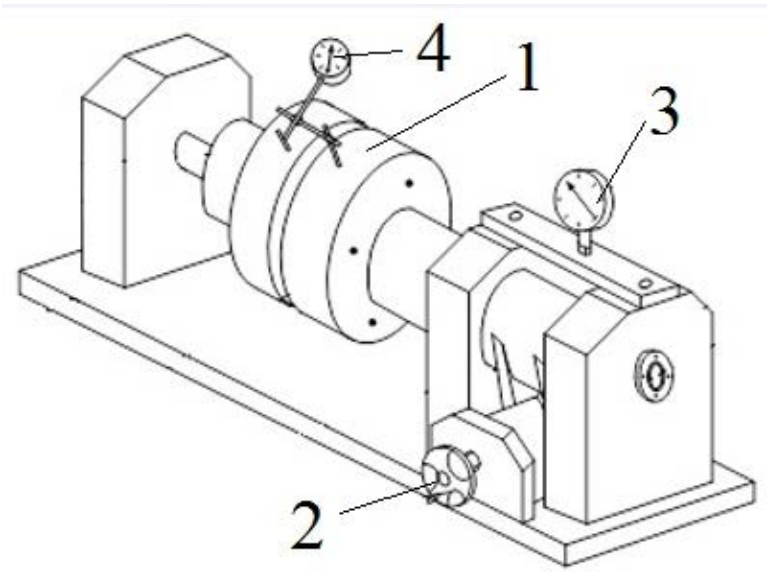

Рисунок 4 – Стенд с упругой муфтой

Стенд представляет собой две опоры, установленные на основании, на котором неподвижно закреплены валы. Валы соединены муфтой 1 типа МУВП (муфта упругая втулочно-пальцевая). На муфте закреплен индикатор 4 для измерения угла поворота одного вала относительно другого. Между опорами расположено нагружающее устройство. Оно состоит из рычага, посаженного на вал, сильфона с манометром 3 измерения усилия, действующего на рычаг, и винтовой пары с маховиком 2 [5].

На установке загрузочным устройством (вращением маховика по часовой стрелке) создается момент Т на муфте, после поворота второй полумуфты снимаются показания с индикатора 4 . Аналогичные замеры производятся при снижении момента Т [7]. Для всех значений Т далее определяются значения углов поворота. Завершающим этапом данной работы будет построение графика по полученным значениям, который представляет собой петлю гистерезиса (Рисунок 5).

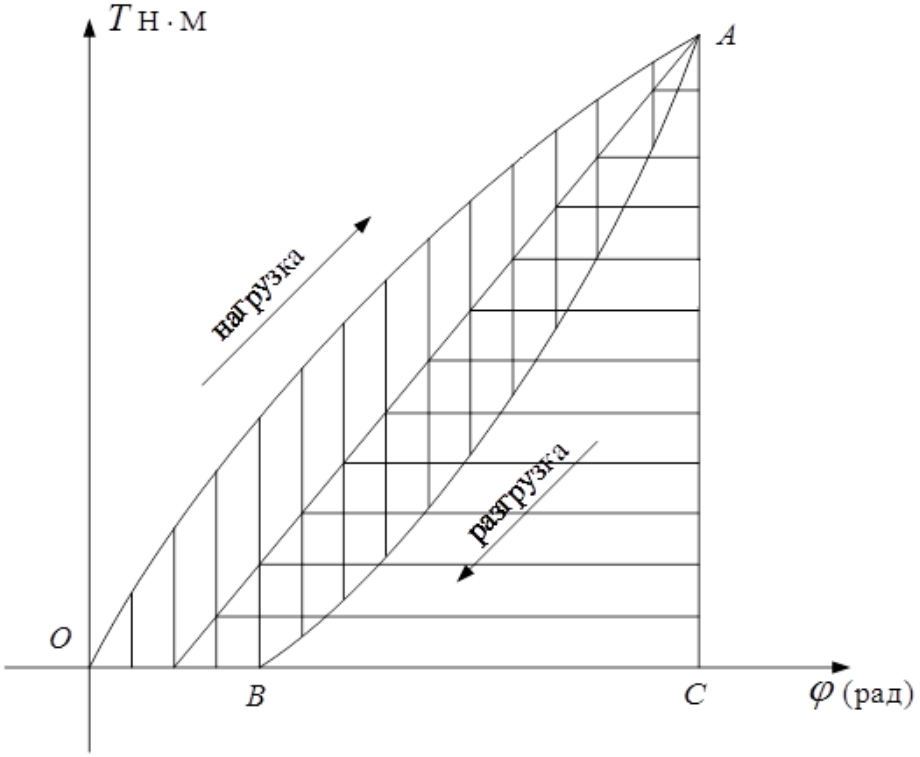

Рисунок 5 – Петля гистерезиса

Другой аналог представлен в виде заторможенной полумуфты, приваренной к стойке стенда и подвижной полумуфты, к которой крепятся так называемые пальцы, расположенные по четыре штуки на окружностях разных диаметров: d_1 = 70 мм и d_2 = 90 мм. Пальцы работают в том случае, когда на них надеты специальные втулки. На незаторможенную полумуфту нагрузка передается рычажным нагружателем 4, на который винт давит через динамометр [6].

Для того, чтобы переставлять или менять специальные втулки, необходимо вытащить ось при помощи шестигранного ключа. Затем необходимо извлечь эту втулку и подвижная полумуфта с пальцами и нагружателем далее вынимается из незаторможенной муфты 1 влево. Стенд собирается в обратном порядке. Значение момента нагрузки снимается при помощи индикатора 3, а значение угла смещения полумуфт при помощи индикатора 2 [6] (Рисунок 6).

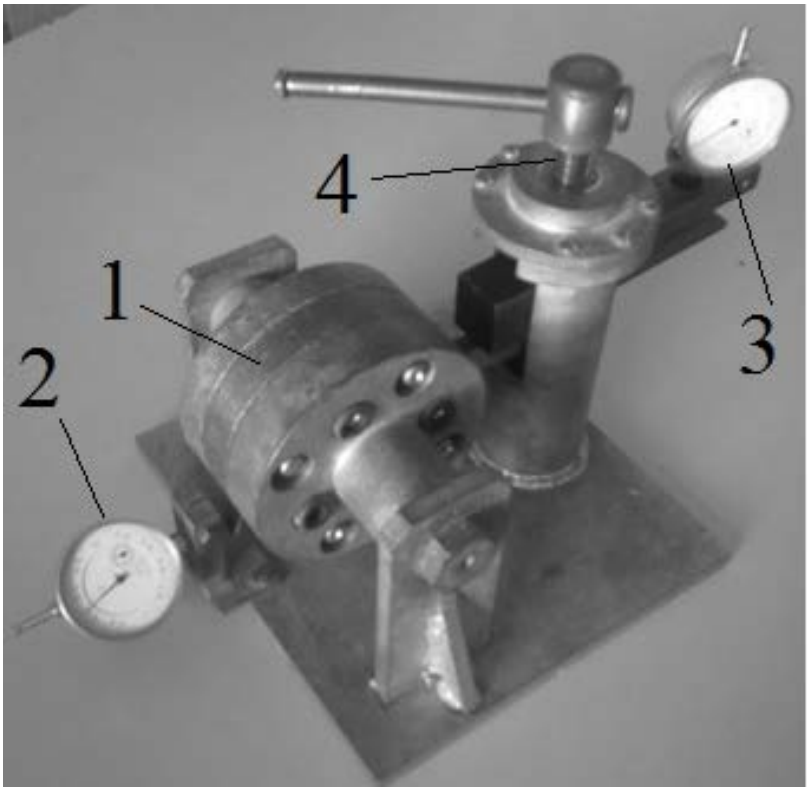

Рисунок 6 - Схема испытательного стенда

Суть работы заключается в том, что при помощи ступенчатой нагрузки муфты снимаются 8-10 точек для построения графика (петли гистерезиса) и расчета

коэффициента демпфирования. Отличие от первого стенда состоит в том, что здесь дополнительно исследуется влияние количества используемых втулок на жесткость муфты [6].

Вывод по разделу 1: изучив устройство двух лабораторных стендов, можно сделать заключение о том, что стенды не автоматизированы. А это означает, что можно усовершенствовать или модернизовать данные стенды путем использования микроконтроллера в устройстве стенда.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТЕНДА

2.1. Исследование муфт в SolidWorks

Упругая муфта используется для изучения явления гистерезиса. Гистерезис – это запаздывание в изменении одной физической величины относительно другой в определенный период времени. В таких муфтах это явление возникает из-за деформации упругого элемента, находящегося между двумя полумуфтами.

Одним из основных показателей, определяющих характеристику упругой муфты, является ее жесткость:

$$C_{\varphi} = \frac{dT}{d\varphi} \ ,$$

где T – значение крутящего момента, передаваемого упругой муфтой;

φ - угол поворота муфты крутящим моментом T [8].

Благодаря этой способности упругие муфты допускают угловой относительный поворот ведущей и ведомой полумуфт.

В качестве упругого звена в МУВП применяется резиновые втулки - сплошные и составные из колец трапецеидального сечения.

Как говорилось ранее, металлические втулки рассчитывают на изгиб. Построим 3D-модель муфты и проведем расчет на прочность в программе SolidWorks (Рисунок 7).

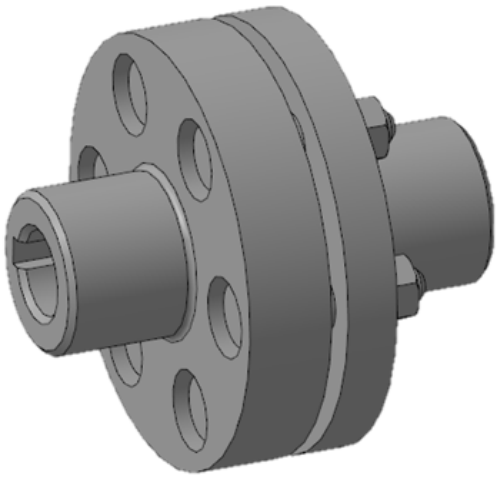

Рисунок 7 – Втулочно-пальцевая муфта

Сила прикладывается к незафиксированным частям детали перпендикулярно к поверхности пальца. Исследуем отдельные части этой муфты. Крутящий момент передается через палец и упругий элемент. Для начала необходимо построить 3D-модель пальца и приложить к нему усилия так, как это происходит в муфте (Рисунок 8).

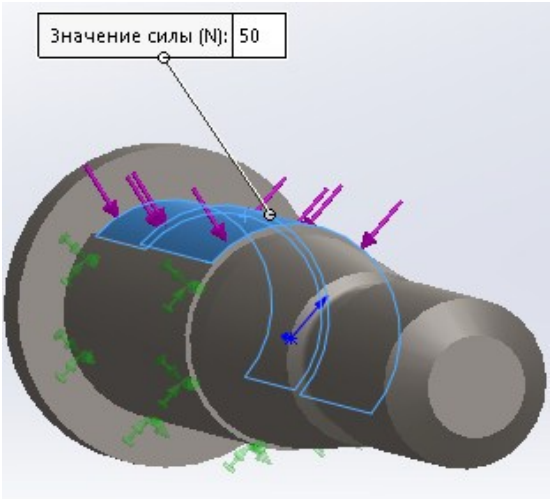

Рисунок 8 – Исследование пальца

Далее создаем сетку, с помощью которой вычисляются напряжения в каждой точке данной детали. Деталь с созданной сеткой представлена на рисунке 9.

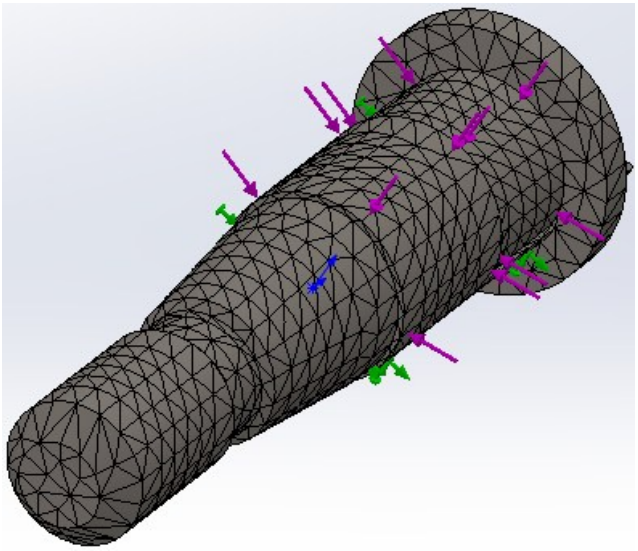

Рисунок 9 – Созданная сетка

Завершающим этапом запускаем исследование и определяем критическую величину напряжения (Рисунок 10).

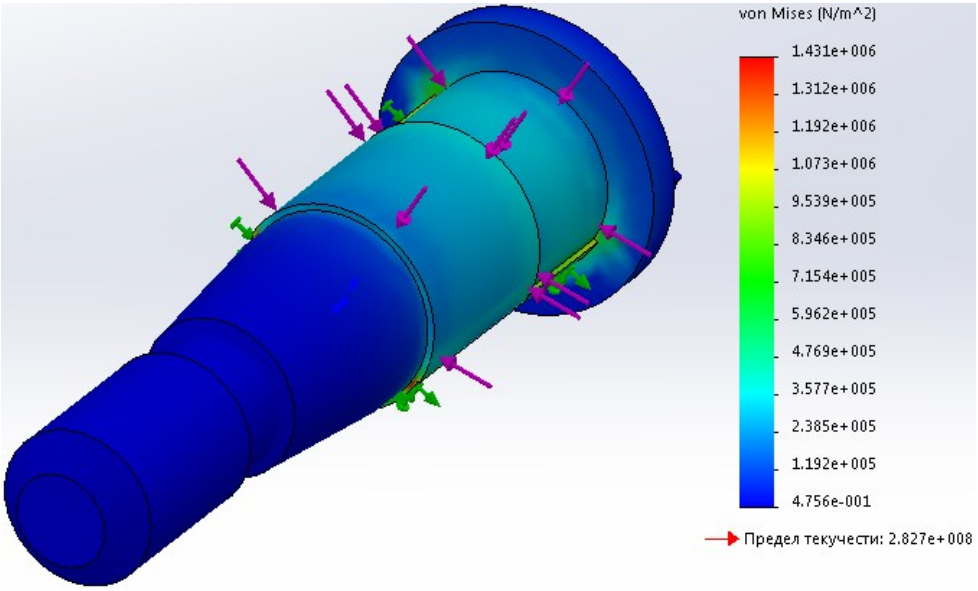

Рисунок 10 – Результаты исследования

На данной эпюре видно, что критические значения появляются в зоне, на которую воздействует сила. Это связано с тем, что при работе данного типа муфт крутящий момент передается через пальцы. А так как с другой стороны муфта заторможена, то приводит к тому, что пальцы должны выдерживать усилие на срез. По результатам видно, что значение напряжения не превышает допустимое. Далее построим 3D-модель упругого элемента, который расположен на металлической втулке. После этого приложим силу и зафиксируем внутреннюю поверхность, чтобы воссоздать условия нахождения данного упругого элемента в муфте (Рисунок 11).

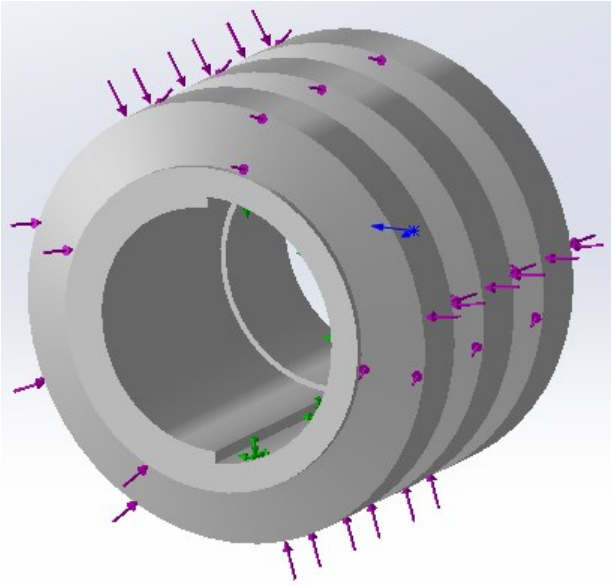

Рисунок 11 – Приложение силы

После этого проведем расчет на изгиб в SolidWorks. Внешняя сила прикладывается к внешней части упругого элемента. Результаты эксперимента представлены на рисунке 12.

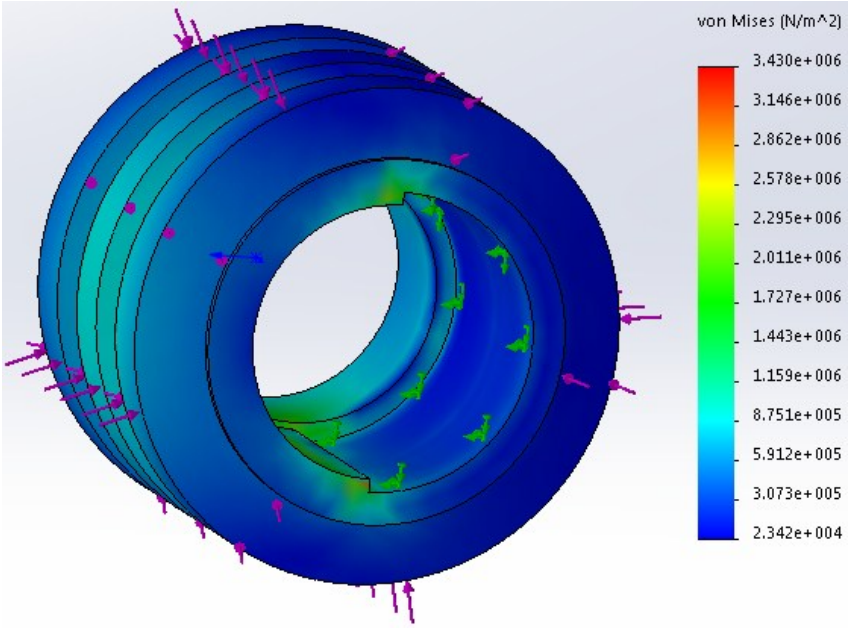

Рисунок 12 – Результаты исследования упругого элемента

На это эпюре также видно, что критические значения напряжения возникают в зоне где прикладывается нагрузка и есть ответное сопротивление, вызванное

жестким пальцем, изготовленным из стали. Во втулочно-пальцевых муфтах явление запаздывания в передаче крутящего момента связано с деформацией упругого элемента. Именно эти процессы будут изучаться на разрабатываемом стенде. Значение напряжения $\sigma_{см}$ по результатам эксперимента не превышает критического значения.

Таким образом, выбранные размеры упругого элемента и втулки можно использовать при формировании 3D-модели втулочно-пальцевой муфты. Далее необходимо построить полноценную 3D-модель втулочно-пальцевой муфты (Рисунок 13).

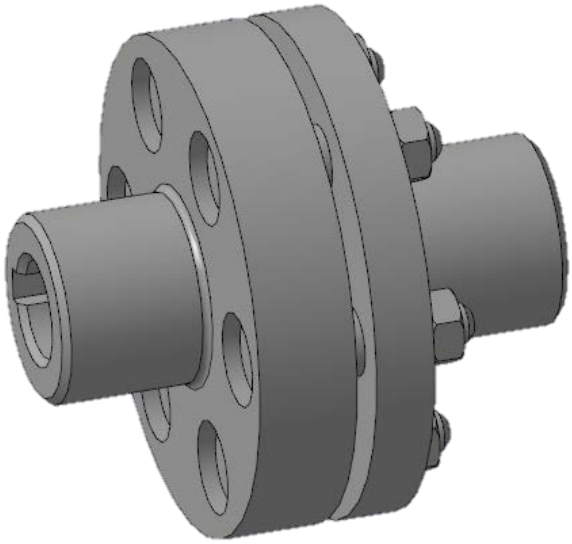

Рисунок 13 – 3D-модель втулочно-пальцевой муфты

После этого необходимо сконвертировать данную модель в SolidWorks. Для этого сборка сохраняется в соответствующем расширении, чтобы ее можно было открыть в другой программе. Сборка в программе SolidWorks представлена на рисунке 14.

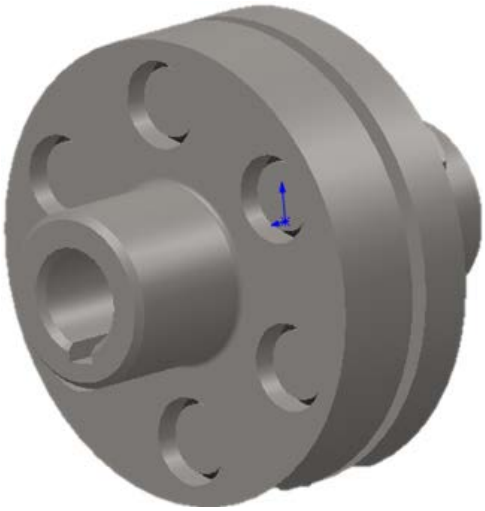

Рисунок 14 – Сборка муфты в SolidWorks

Далее в этой программе необходимо заново назначить материалы, из которых сделаны элементы сборки. Упругие втулки сделаны из резины, имеющие следующие свойства которой равны:

Модуль упругости, Н/м^2……610000

Коэффициент Пуассона…….0.49

Модуль сдвига, Н/м^2……..2900000

Массовая плотность, кг/м^3……...1000

Предел прочности при растяжении, Н/м^2……13787100

Предел текучести, Н/м^2…….....9237370

Коэффициент теплового расширения, К$^{-1}$……...0.00067

Теплопроводность, Вт/(м·К)……..0.14

Остальные элементы изготавливаются из металла, преимущественно из стали различных марок.

Свойства используемой стали представляют собой:

Модуль упругости, Н/м^2…….$2.1 \cdot 10^{11}$

Коэффициент Пуассона……..0.28

Модуль сдвига, Н/м^2……...7.9•1010

Массовая плотность, кг/м^3……7700

Предел прочности при растяжении, Н/м^2……723825600

Предел текучести, Н/м^2……..620422000

Коэффициент теплового расширения, $К^{-1}$……0.000013

Теплопроводность, Вт/(м·К)……..50

Затем запускаем статическое исследование сборки. После этого необходимо зафиксировать одну из полумуфт для имитации нагрузки, которая будет создаваться электромагнитным тормозом. Этот процесс показан на рисунке 15.

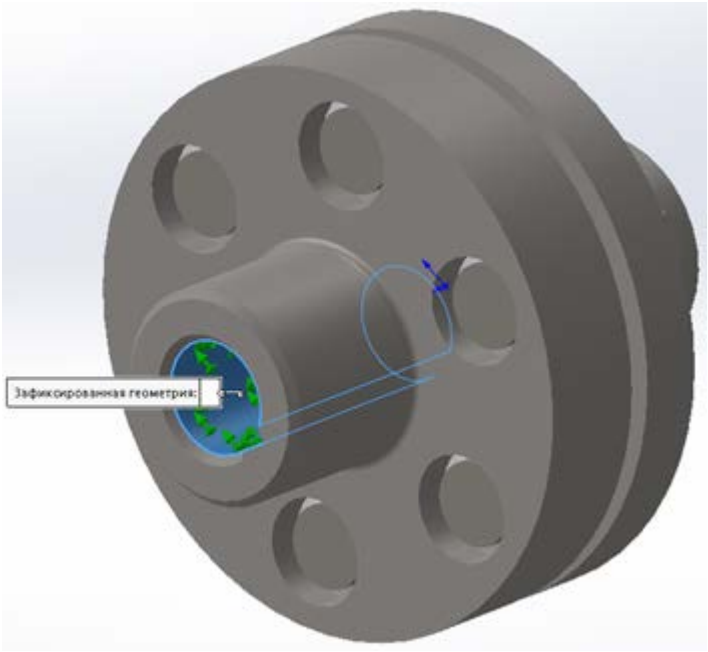

Рисунок 15 – Фиксация полумуфты

Следующим этапом будет выбор величины крутящего момента, передаваемого муфтой. Для этого возьмем значение номинального крутящего момента, выдаваемого используемым шаговым двигателем – 50 Нм. Затем необходимо выделить область, на которые воздействует крутящий момент. В данном случае выбираем область, куда вставляется вал от двигателя. Все эти операции показаны на рисунке 16.

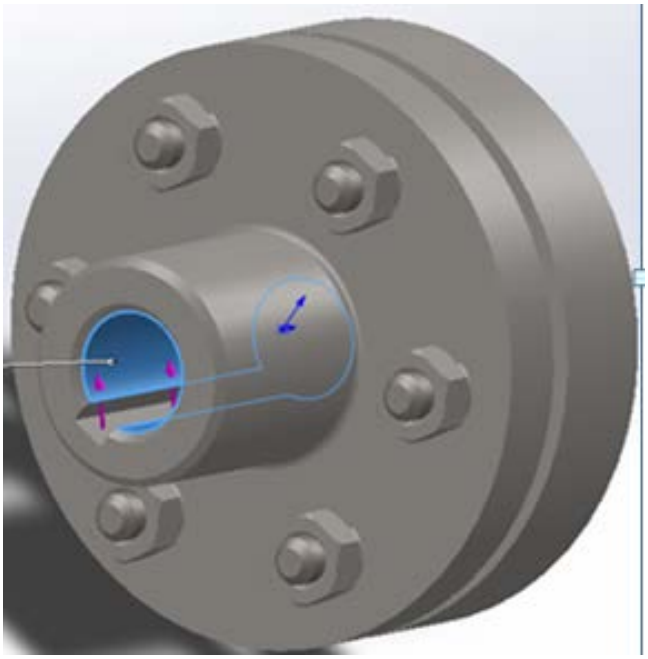

Рисунок 16 – Приложение крутящего момента к муфте

Следующим действием создаем сетку, с помощью которой рассчитывается значение напряжения, которое испытывает каждая деталь данной сборки. Сетка показана на рисунке 17.

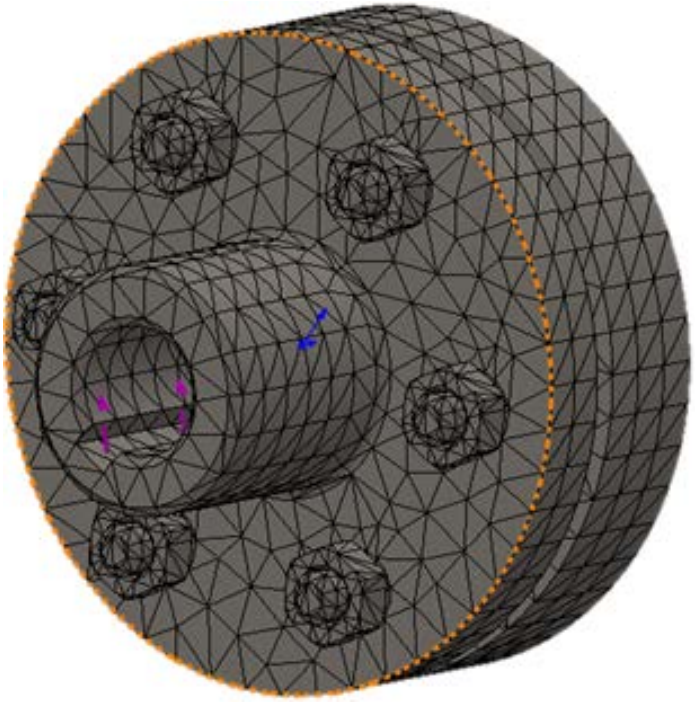

Рисунок 17 – Созданная сетка

После этого, можно запустить исследование. Результат опыта представлен на рисунке 18.

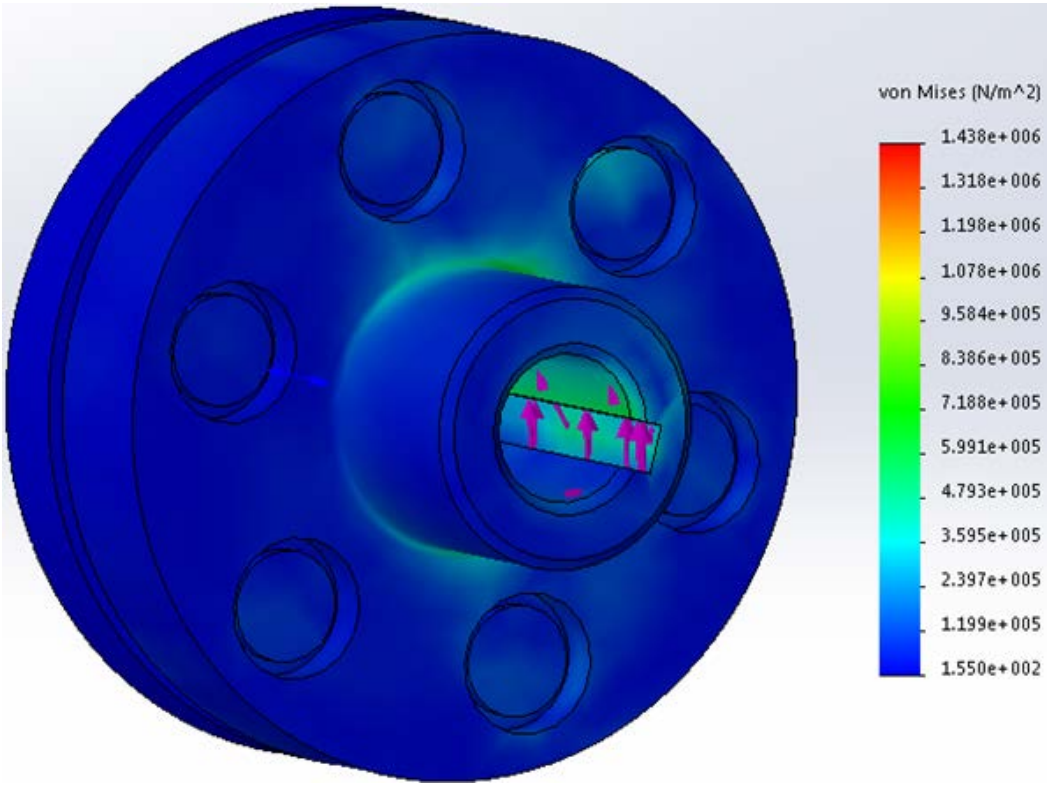

Рисунок 18 – Результаты моделирования

На нем видно, что критические значения, как говорилось ранее, возникают в области, где осуществляется передача крутящего момента через шпоночное соединение. Именно поэтому эти части муфт должны быть наиболее прочными.

На результатах видно, что величина напряжения не превышает установленные значения в 1 – 3 МПа. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данная муфта соответствует необходимым условиям ее использования в разрабатываемом стенде.

В проектируемом стенде будет также исследоваться явление гистерезиса другой упругой муфты – со звездочкой. Сначала проведем статический анализ эластичного элемента – звездочки. Для имитации реальных условий использования одна из сторон будет зафиксирована. 3D-модель представлена на рисунке 19.

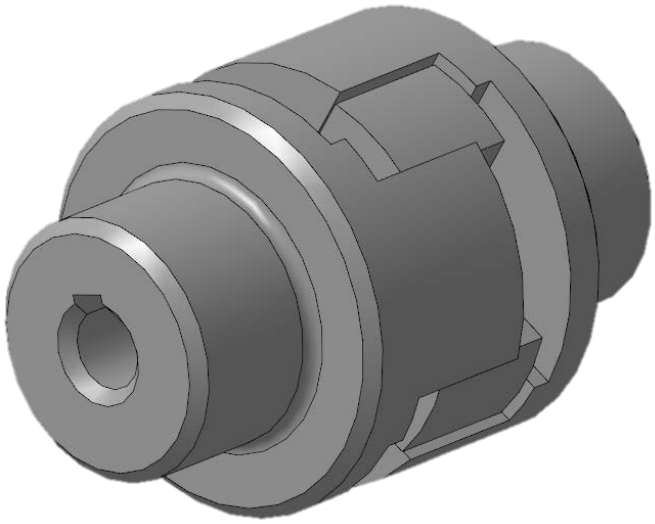

Рисунок 19 – 3D-модель муфты со звездочкой

Для начала необходимо исследовать упругий элемент – звездочку. Ее выбираем из-за того, что передача крутящего момента осуществляется как раз через этот элемент.

Построим 3D-модель звездочки и приложим силу к соответствующим граням (Рисунок 20).

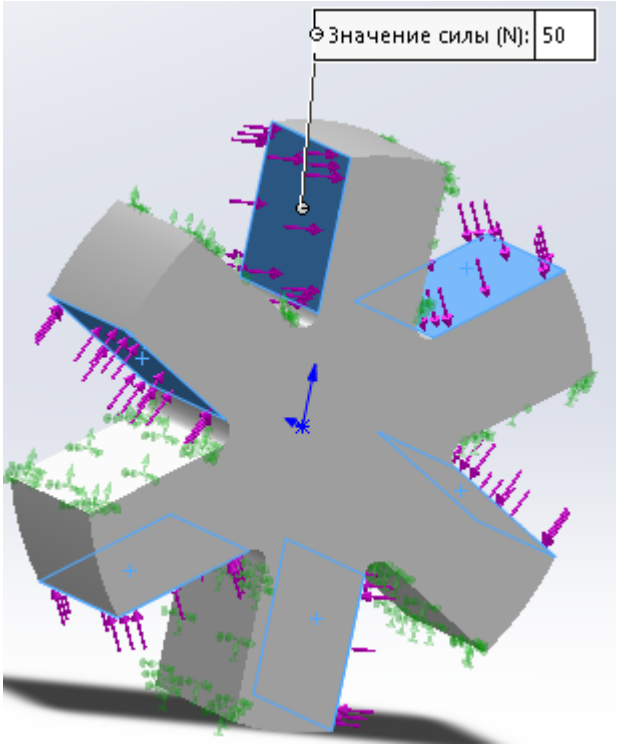

Рисунок 20 – Приложение силы к упругому элементу

На рисунке 21 показаны результаты исследования упругого элемента.

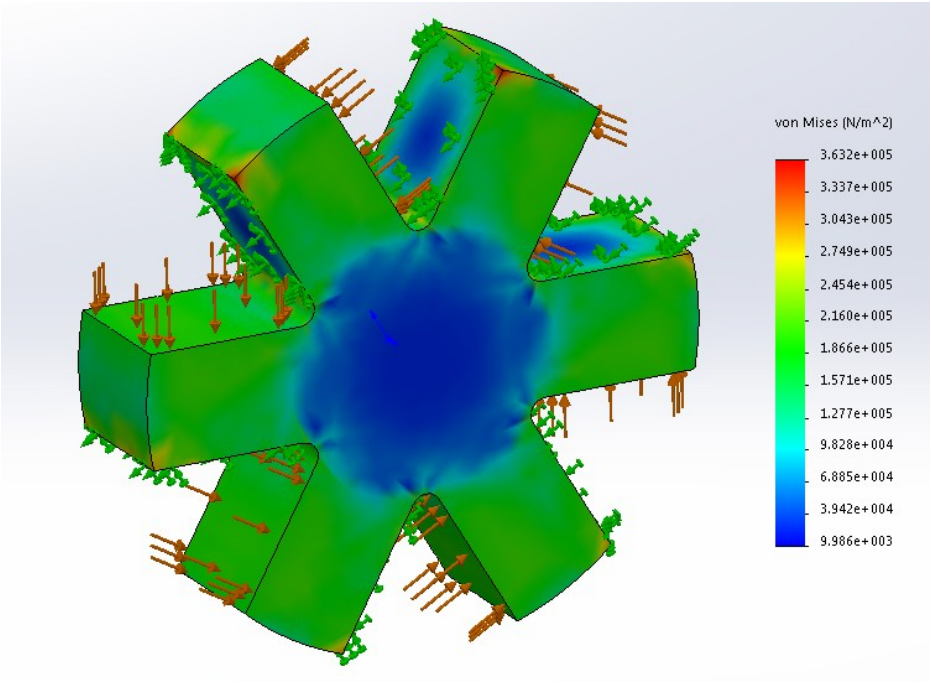

Рисунок 21 – Исследование звездочки

Данный опыт показывает, какие воздействия испытывает упругий элемент в момент передачи крутящего момента. По результатам моделирования видно, что величина критического напряжения не превышает допустимую величину.

Далее исследуем уже саму упругую муфту со звездочкой в сборке. Для этого строим 3D-модель муфты в программе Компас и конвертируем в программу SolidWorks по аналогии с втулочно-пальцевой муфтой. 3D-модель представлена на рисунке 22.

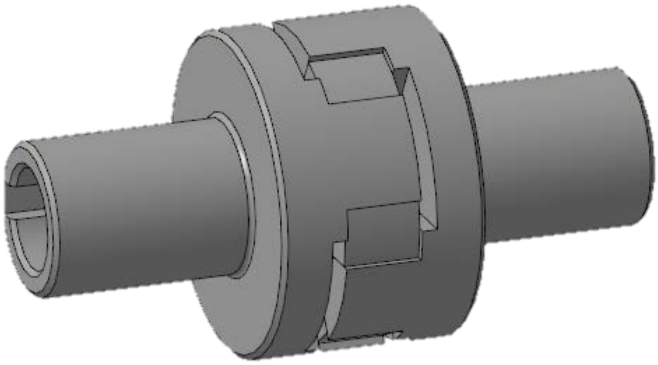

Рисунок 22 – 3D-модель муфты со звездочкой

Затем открываем эту сборку в SolidWorks. Модель представлена на рисунке 23.

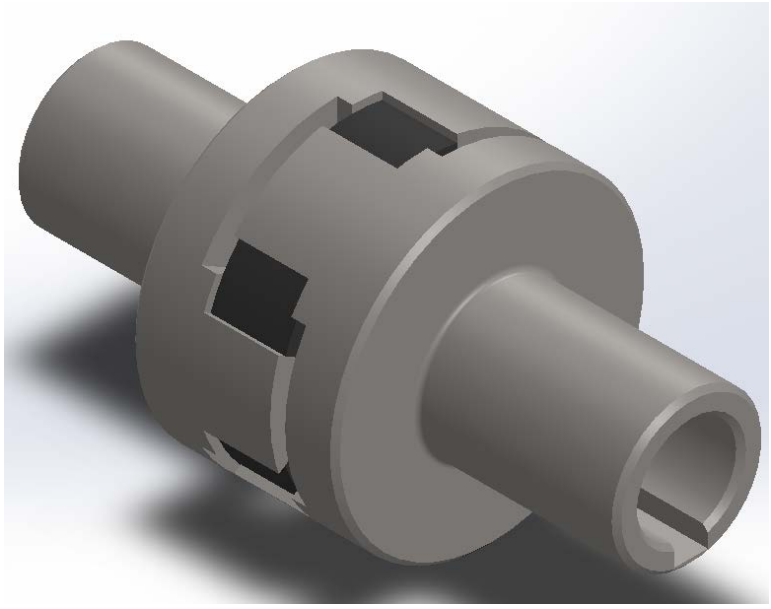

Рисунок 23 – Сборка муфты в SolidWorks

Далее назначаем материал на детали сборки. Фланцы будут изготовлены из стали марки AISI 1035. Справочные данные представляют собой:

Модуль упругости, Н/м2…….$2.049 \cdot 10^{11}$

Коэффициент Пуассона……...0.29

Модуль сдвига, Н/м2……...$5.8 \cdot 10^{10}$

Массовая плотность, кг/м3…….7850

Предел прочности при растяжении, Н/м2……723825600

Предел текучести, Н/м2……..282685049

Коэффициент теплового расширения, К-1……...0.000013

Коэффициент отверждения…….0.85

Упругие элементы изготовлены из резины, данные о которой приводились ранее. Следующим этапом будет проведение статического анализа, где для начала необходимо зафиксировать одну из полумуфт и построить сетку (Рисунок 24).

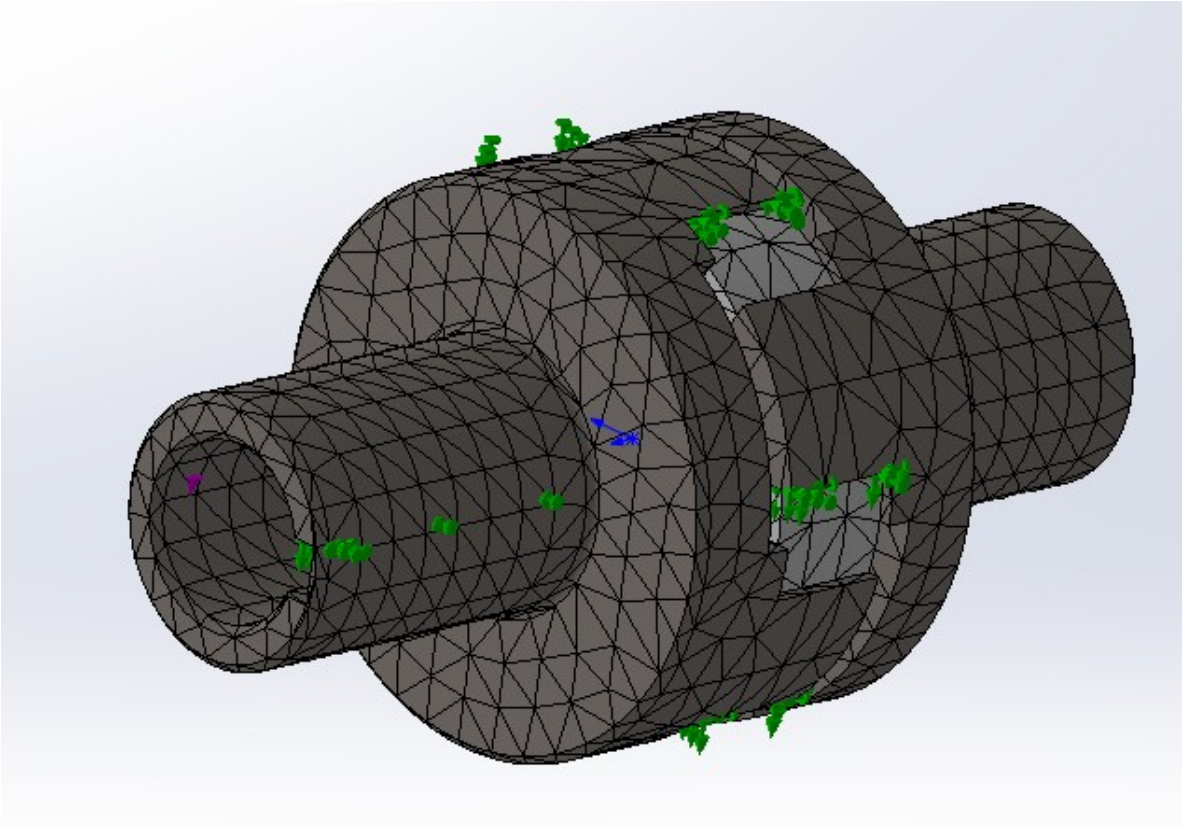

Рисунок 24 – Фиксация одной из полумуфт

Следующим этапом выбираем области и грани, к которым прикладывается крутящий момент от шагового двигателя (Рисунок 25).

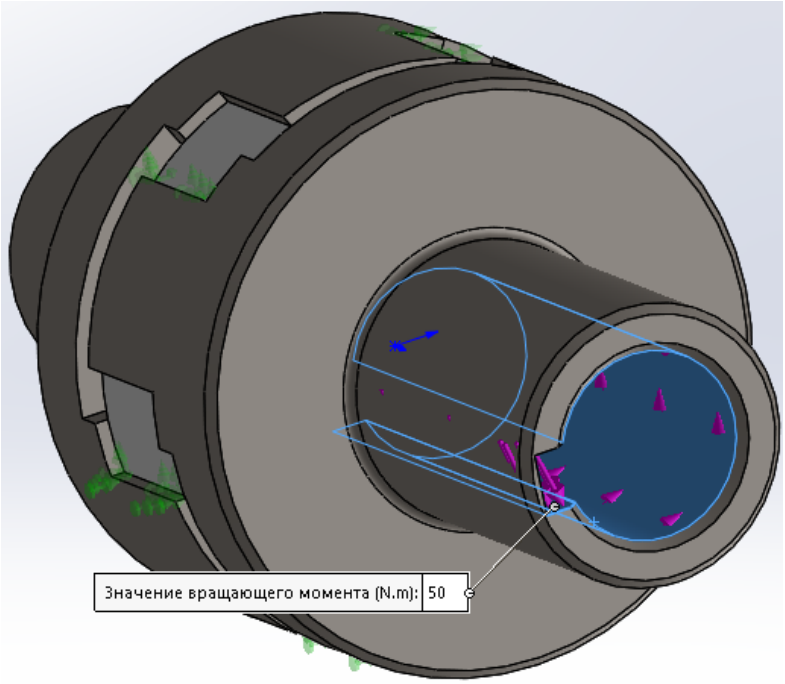

Рисунок 25 – Приложение крутящего момента

Далее необходимо создать сетку, чтобы вычислить значение напряжения, испытываемого в каждой точке данной сборки (Рисунок 26).

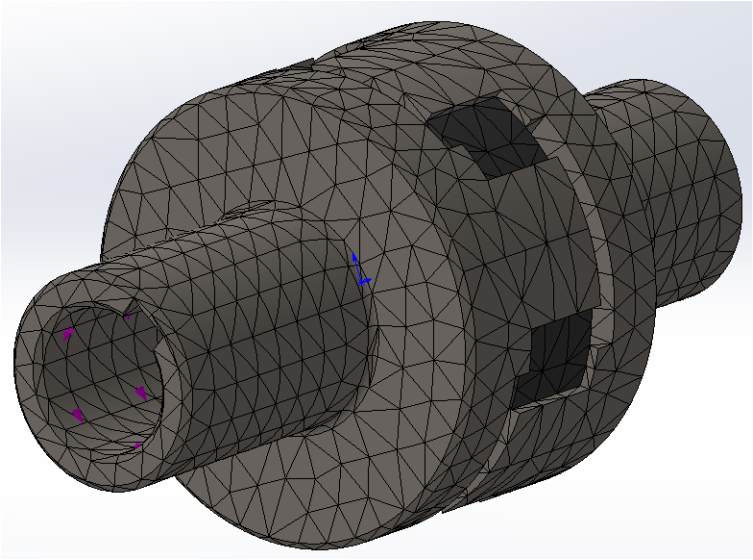

Рисунок 26 – Сетка на муфте со звездочкой

После создания сетки можно запустить исследование. Результаты представлены на рисунке 27.

По результатам видно, что данная муфта подходит для использования в разрабатываемом стенде.

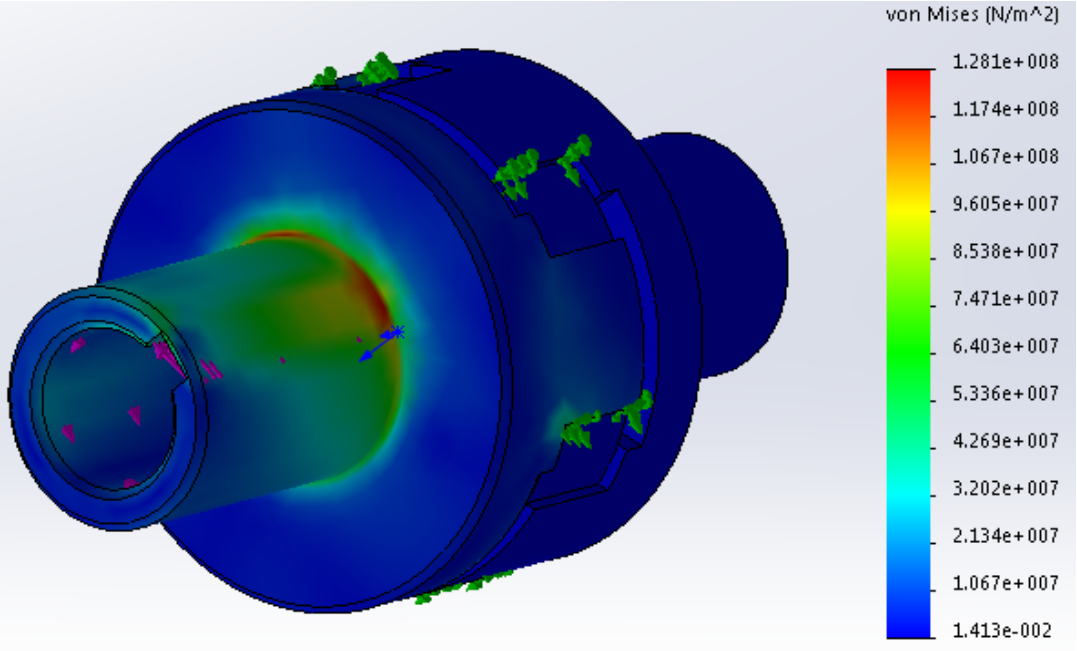

Рисунок 27 – Результат исследования

По результатам эксперимента видно, что критическое значение появляется в районе шпоночного паза. Это связано с тем, что крутящий момент передается через него и это означает, что в данном месте будет самые большие по величине напряжения. Отсюда следует, что данная муфта подходит для использования в разрабатываемом стенде.

2.2. Математическая модель процесса

Важным свойством упругой муфты является ее демпфирующая способность, которая характеризуется энергией, необратимо поглощаемой муфтой за один цикл.

Как известно, эта энергия измеряется площадью петли гистерезиса OA1BC (Рисунок 28).

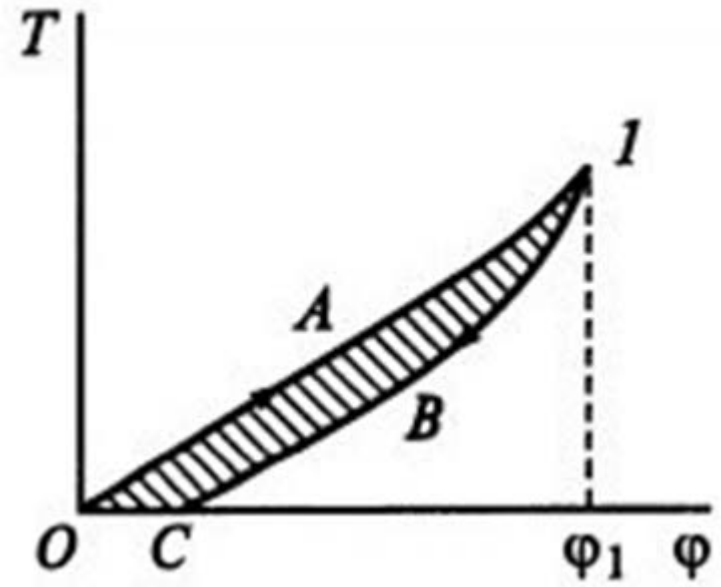

Рисунок 28 – Петля гистерезиса

Энергия в муфтах расходуется на внутреннее и внешнее трение при деформировании упругих элементов. Демпфирующая способность таких муфт способствует снижению динамических нагрузок и затуханию колебаний [9].

Для того чтобы узнать, как влияет упругая муфта на динамические свойства измерительной системы, рассмотрим модель на рисунке 29.

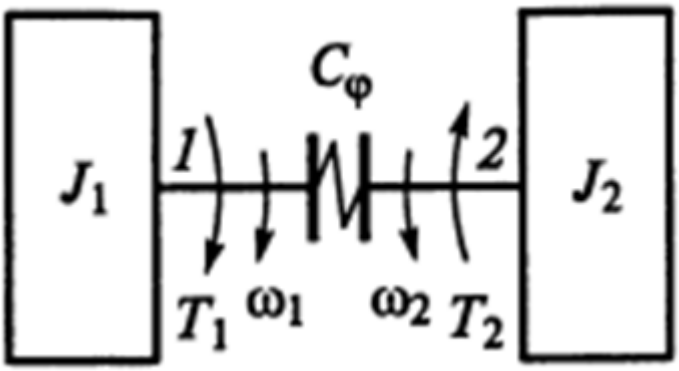

Рисунок 29 – Модель системы:

J_1 – момент инерции двигателя; J_2 – момент инерции электромагнитного тормоза; ω и T – угловые скорости и вращающие моменты на валах 1 и 2; C_φ - жесткость муфты.

Размещая центр полярных координат на оси вала 1 и полагая, что эти оси координат вращаются с постоянной угловой скоростью ω1, можно описать движение переменной – угла поворота муфты φ_2. Уравнение движения массы J_2:

$$J_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} + C_\varphi \cdot \varphi_2 = T_2.$$

Периодическое изменение нагрузки очень часто встречается на практике. Обычно оно выражается выражается гармонической функцией в виде:

$$T_2 = T_0 + T_{a2} \sin \omega t. \quad (1)$$

График такой нагрузки представлен на рисунке 30.

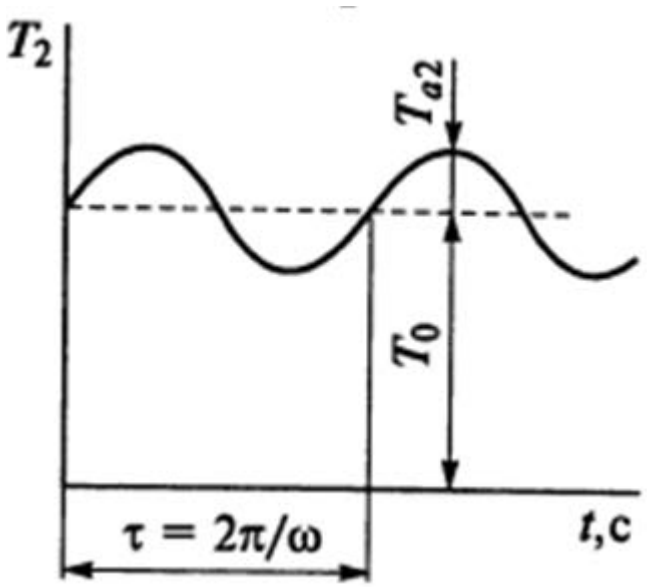

Рисунок 30 – График гармонических колебаний системы:

T_{a2} и ω - амплитуда и круговая частота переменной составляющей нагрузки; T_0 – постоянная составляющая нагрузки.

После небольших преобразований уравнения (1) получаем:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_c\varphi = q\sin\omega t,$$

где $\omega_c = \sqrt{\frac{C_\varphi}{J_2}}$, $q = \frac{T_{a2}}{J_2}$.

Общее решение уравнения имеет вид:

$$\varphi = A\sin\omega_c t + B\cos\omega_c t + \left(\frac{q}{\omega_c^2 - \omega^2}\right)\sin\omega t,$$

где A и B – постоянные коэффициенты;

ω_c– круговая частота свободных колебаний.

При исследовании длительных периодических колебаний свободные колебания не учитываются. В таком случае:

$$\varphi = \left(\frac{q}{\omega_c^2 - \omega^2}\right)\sin\omega t.$$

Решение с учетом обозначений примет вид:

$$\varphi \cdot C_{\varphi} = \left(\frac{T_{a2}}{1-\left({}^{\omega}/_{\omega_c}\right)^2}\right) \sin \omega t.$$

В данном уравнении выражение $\varphi \cdot C_{\varphi}$ представляет собой динамическую составляющую нагрузки механизмов, возникающую от изменения внешней нагрузки. Обозначив амплитуду динамической нагрузки механизмов T_{a1}, запишем:

$$T_{a1} = \frac{T_{a2}}{1-({}^{\omega}/_{\omega_c})^2}.$$

Так как зависимость T_{a1} от отношения ${}^{\omega}/_{\omega_c}$ выражается резонансной кривой, то необходимо рассматривать только случаи, где это отношение больше корня из двух:

$$C_{\varphi} < {}^{J_2\omega^2}/_{2}.$$

Таким образом, это выражение означает, что при периодически изменяющейся нагрузке упругая муфта обеспечивает более плавную работу по сравнению с жесткой соединительной муфтой без включения в расчет упругости других деталей, когда жесткость такой муфты удовлетворяет данные условия.

Вывод по разделу 2: был проведен статический анализ отдельных элементов втулочно-пальцевой муфты, а именно пальцев и упругих элементов. Также был осуществлен статический анализ и самой муфты. Аналогичные эксперименты были произведены и с муфтой со звездочкой, где отдельно исследовалась деформация эластичного элемента и сама муфта. По результатам опытов можно сделать вывод, что гистерезис в упругих муфтах связан с деформацией упругого элемента. Значение величины запаздывания зависит от нескольких факторов, а именно от эластичности упругого элемента, от их количества и места расположения. Это говорит о том, что точность передачи крутящего момента можно регулировать за счет такого упругого элемента.

Также в данном разделе была составлена математическая модель, описывающая процесс работы данного стенда и был сделано заключение о том, что упругая муфта при периодически изменяющейся нагрузке будет лучшим вариантом, нежели жесткая муфта.

3. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1. Схема стенда

Кинематическая схема разрабатываемого стенда представлена на рисунке 31.

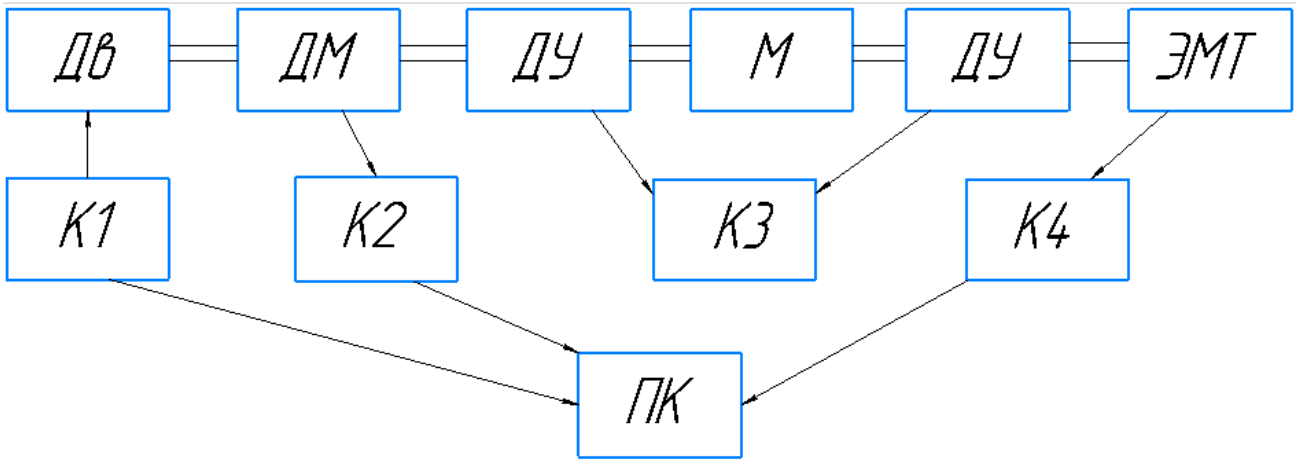

Рисунок 31 – Схема стенда:

Дв – шаговый двигатель; ДМ – датчик момента; ДУ – датчик угла поворота; ЭМТ – электромагнитный тормоз; К1 – контроллер двигателя; К2 – контроллер датчик момента; К3 – контроллер датчика угла поворота; К4 – контроллер электромагнитного тормоза; М – исследуемая упругая муфта

Управлением электродвигателем (Дв), вращающим полумуфту, будет осуществляться при помощи микроконтроллера. Со стороны другой полумуфты электромагнитным тормозом (ЭМТ) будет создаваться момент сопротивления, при помощи которого будет лучше видна разница в передаваемом моменте или углах поворота валов.

В разрабатываемом стенде будет исследоваться свойства гистерезиса двух упругих муфт: и упругой со звездочкой и втулочно-пальцевой. Для этого нам необходимы электродвигатель и соответствующие датчики, а именно датчик угла поворота и датчик, измеряющий крутящий момент на валу. Для реализации автоматической системы управления стендом необходимо использовать датчики с электрическим выходным значением. Тогда датчики будет возможно использовать с микроконтроллером, на основе которого и будет построена система автоматического управления стендом. Для этого используются датчики и шаговый

двигатель со своими контроллерами, которые соединяются с ПК для передачи данных и управления.

Так как в разрабатываемом стенде используются две муфты, необходимо учесть возможность быстрой их замены друг на друга без полного разборки стенда. А это означает, что крепление датчиков и тормоза необходимо усовершенствовать.

3.2. 3D-моделирование упругой и крестовой муфты

На кафедре имеется компенсирующая муфта иного типа, и исходя из ее размеров используемые муфты будут иметь схожие габаритные размеры.

Упругая муфта со звездочкой состоит из трех элементов: две полумуфты с кулачками и упругий элемент между ними (Рисунок 32).

Рисунок 32 – Внешний вид упругой муфты

Муфта с обеих сторон крепится к валам при помощи шпонок. Для этого в полумуфтах есть специальная проточка под них.

3D-модель используемой упругой муфты выглядит следующим образом (Рисунок 33).

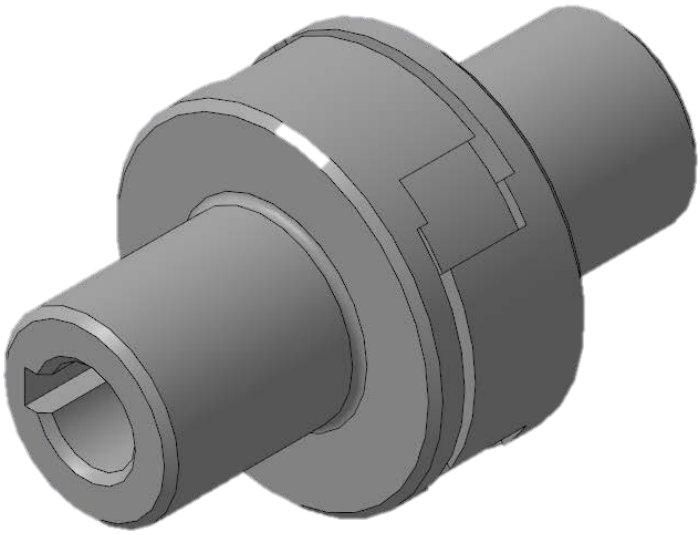

Рисунок 33 – 3D-модель упругой муфты

Втулочно-пальцевая муфта состоит из двух полумуфт, соединенных втулками, на которых находятся упругие элементы. Габаритные размеры, также как и способ крепления этой муфты аналогичны упругой муфте.

3D-модель представлена на рисунке 34.

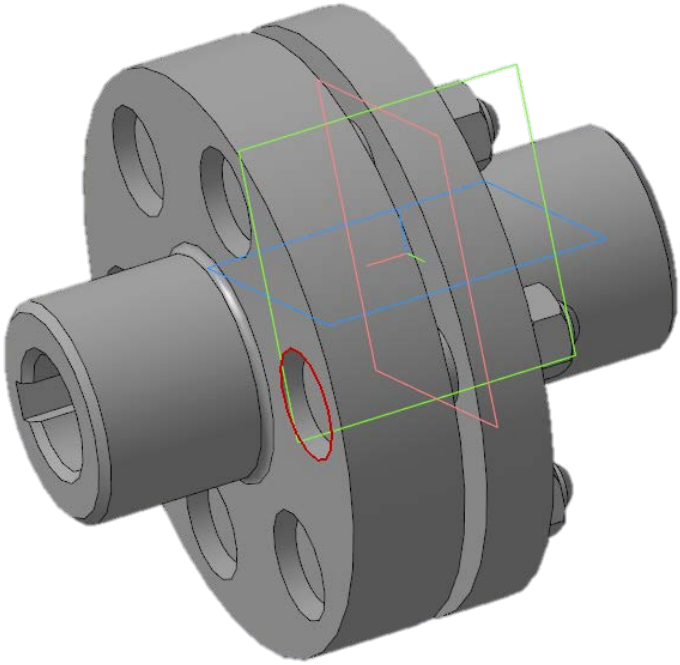

Рисунок 34 - 3D-модель МУВП

3.3. 3D-моделирование корпуса стенда

Корпус является важной частью стенда, так как на нем закрепляются все остальные элементы.

В данном стенде корпус состоит из двух половин. Нижняя часть может быть изготовлена из обычного пластика. Конструкцией предусматриваются ножки с резиновым материалом для поглощения вибрации, возникающей из-за работы электродвигателя. Также в корпусе имеется отверстие для вывода проводов питания контроллеров и кабелей, соединяющих датчики с ними. В закрываемой части будет расположены контроллеры шагового двигателя, датчика момента и датчика угла поворота (Рисунок 35).

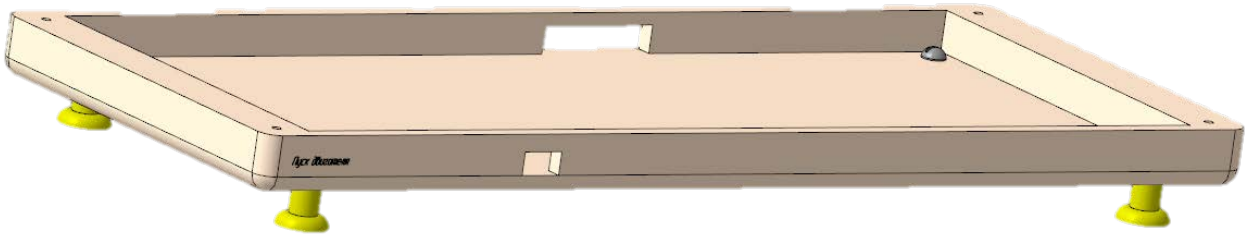

Рисунок 35 – Основание стенда

Верхняя часть будет выполнять роль крышки и одновременно поверхности для установки электродвигателя, датчиков и электромагнитного тормоза (Рисунок 36).

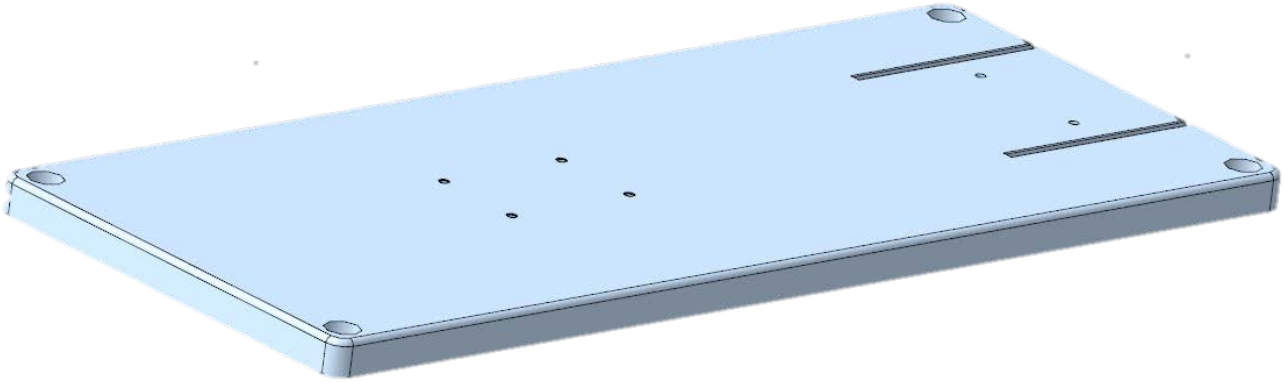

Рисунок 36 – Верхняя часть основания

Также на верхней части основания сделаны отверстия для крепления опорной рамы винтами по ГОСТ 1491-80.

Две половины будут соединяться 4 винтами по ГОСТ 1491-80. Полностью собранный корпус выглядит следующим образом (Рисунок 37).

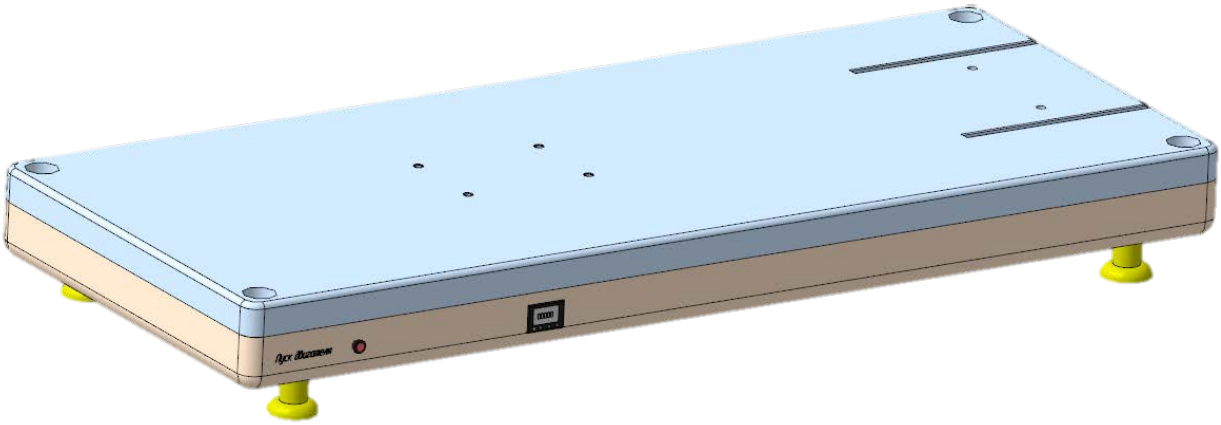

Рисунок 37 – Собранный корпус стенда

Также в конструкции данного стенда предусмотрена замена муфты одной на другую. Для этого в верхней крышке предусмотрены пазы, чтобы быстро собирать и разбирать установку для замены муфт.

3.5. 3D-моделирование опорной рамы

Для крепления датчиков угла поворота и момента, шагового двигателя была разработана опорная рама, которая усилена ребрами жесткости. 3D-модель представлена на рисунке 38.

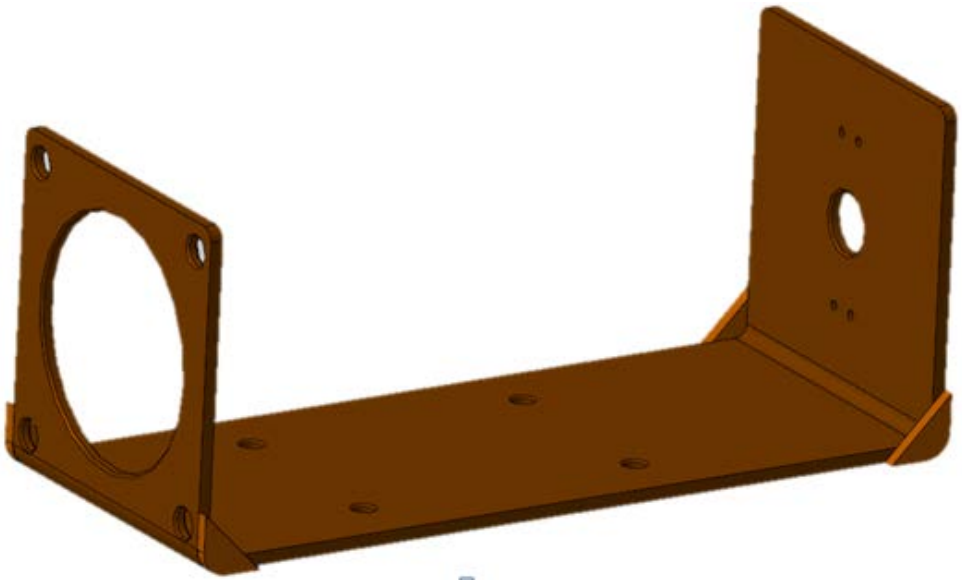

Рисунок 38 – Опорная рама

Все элементы соединены с рамой винтами по ГОСТ 17473-80.

3.6. 3D-моделирование электродвигателя

Для исследования упругой муфты необходимо использовать шаговый двигатель, так как для исследования необходимо, чтобы муфта поворачивалась на какой-либо определенный угол, чтобы можно было оценить разность в величине этого угла, возникающей из-за деформации упругого элемента. Чем больше значение угла, тем выше разница и, соответственно, гистерезис будет расти.

В разрабатываемом стенде будет использоваться шаговый двигатель FL130BYG. Величина номинального крутящего момента (50 Нм) соответствует величине номинального момента, который может передавать упругая муфта. Двигатель представлен на рисунке 39.

Рисунок 39 – Шаговый двигатель FL130BYG

Помимо самого двигателя также необходим его контроллер SMSD-822, позволяющий управлять шаговой скоростью. Внешний вид такого контроллера представлен на рисунке 40.

Рисунок 40 – Контроллер SMSD-822

Некоторые характеристики двигателя приведены ниже:

3D-модель двигателя представлена на рисунке 41.

Рисунок 41 - Двигатель шаговый

Двигатель будет крепится к основанию винтами по ГОСТ 17473-80 к специальной опорной раме, на которой предусмотрено крепление датчиков момента и угла поворота, а также и самого двигателя. Двигатель, прикрепленный к основанию, представлен на рисунке 42.

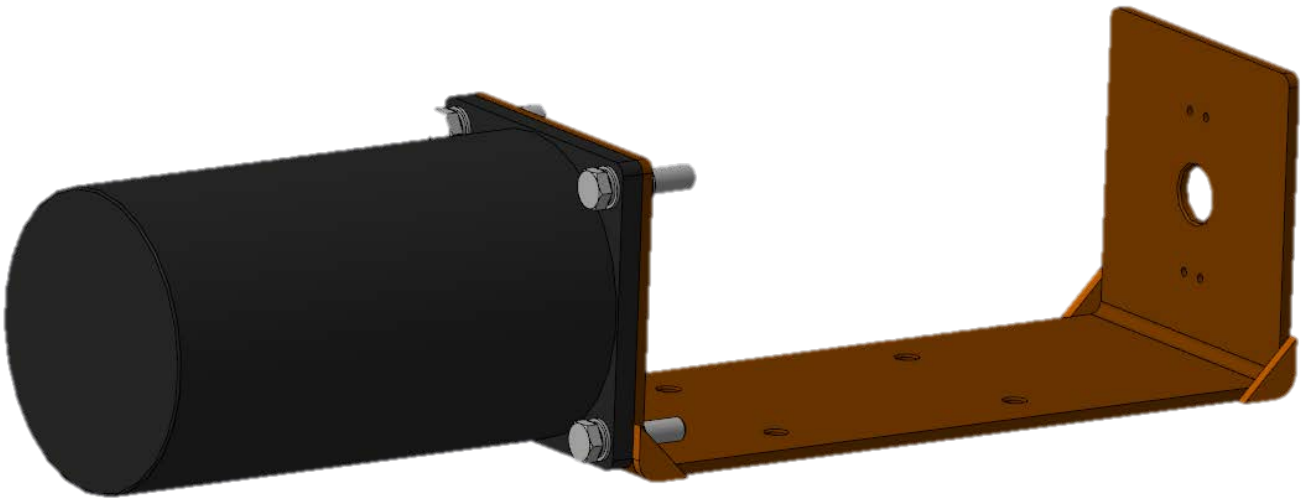

Рисунок 42 – Двигатель, закрепленный на раме

3.7. 3D-моделирование датчика момента

Выбранный датчик измерения крутящего момента представлен на рисунке 43.

Рисунок 43 – Датчик измерения крутящего момента

Данный датчик был выбран исходя из условий применения. Датчик должен быть двухсторонним, так как он является промежуточным звеном в кинематической схеме стенда. Здесь все электронные компоненты и сенсоры находятся вне вращающихся частей. Измеряется момент индуктивным способом. Погрешность датчика менее 0,1 %, что особенно важно, так как разница в двух измеряемых величинах будет находиться во 2 или 3 знаке после запятой.

3D-модель датчика момента представлена на рисунке 44.

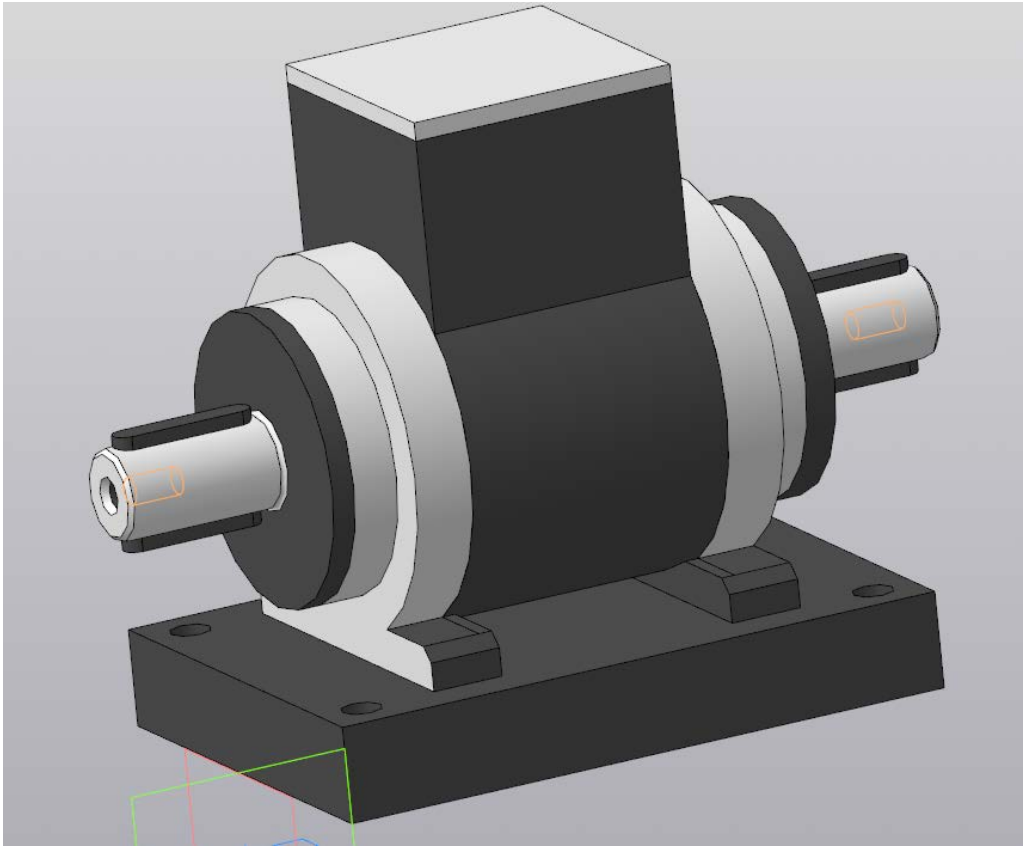

Рисунок 44 – Датчик момента

Датчик будет крепится на опорной раме при помощи винтов по ГОСТ 17473-80. Закрепленный датчик представлен на рисунке 45.

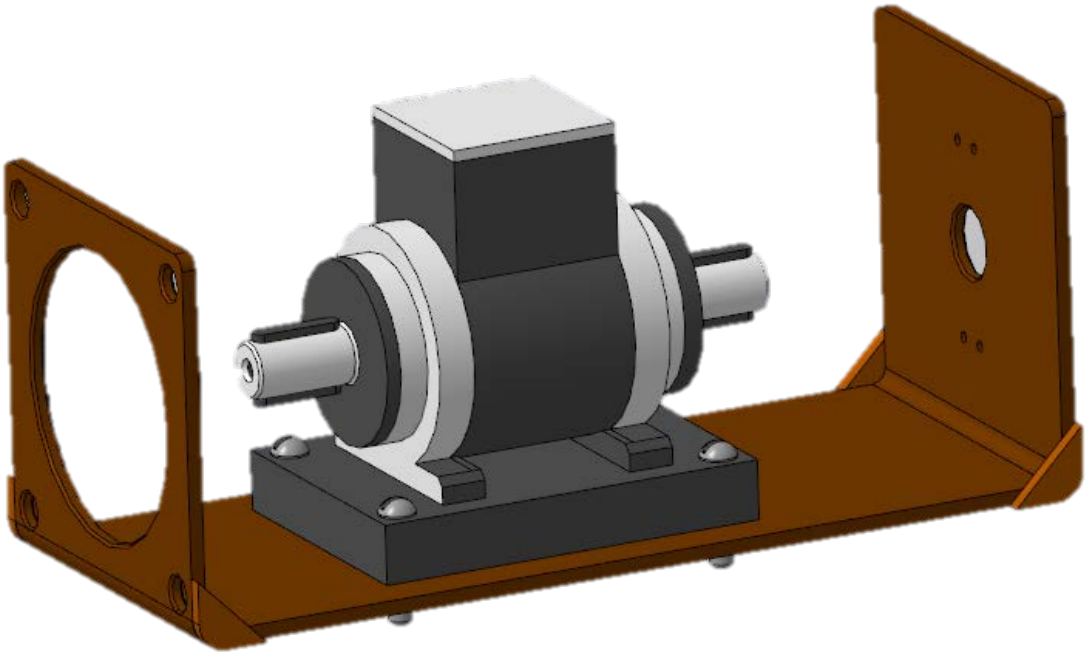

Рисунок 45 – Закрепленный на раме датчик момента

Помимо самого датчика будет использоваться контроллер TM6400. Схема соединения датчика и контроллера представлена на рисунке 46.

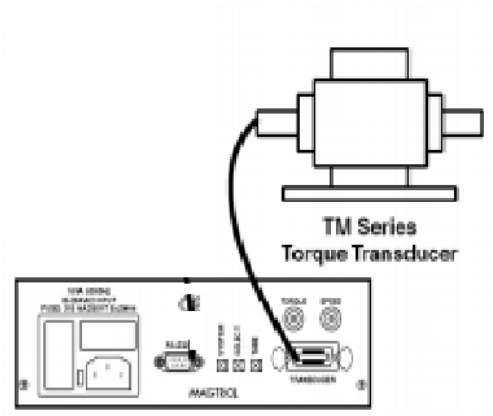

Рисунок 46 – Соединение датчика с контроллером

3.8. 3D-моделирование датчика угла поворота

В качестве датчика угла поворота был выбран Autonics E40H, внешний вид которого представлен на рисунке 47.

Рисунок 47 – Датчик угла поворота

Тип датчика – инкрементальный, с полым сквозным валом, т.е. датчик крепится непосредственно на вал.

3D-модель датчика, прикрепленного на опорную раму винтами по ГОСТ 17473-80, представлена на рисунке 48.

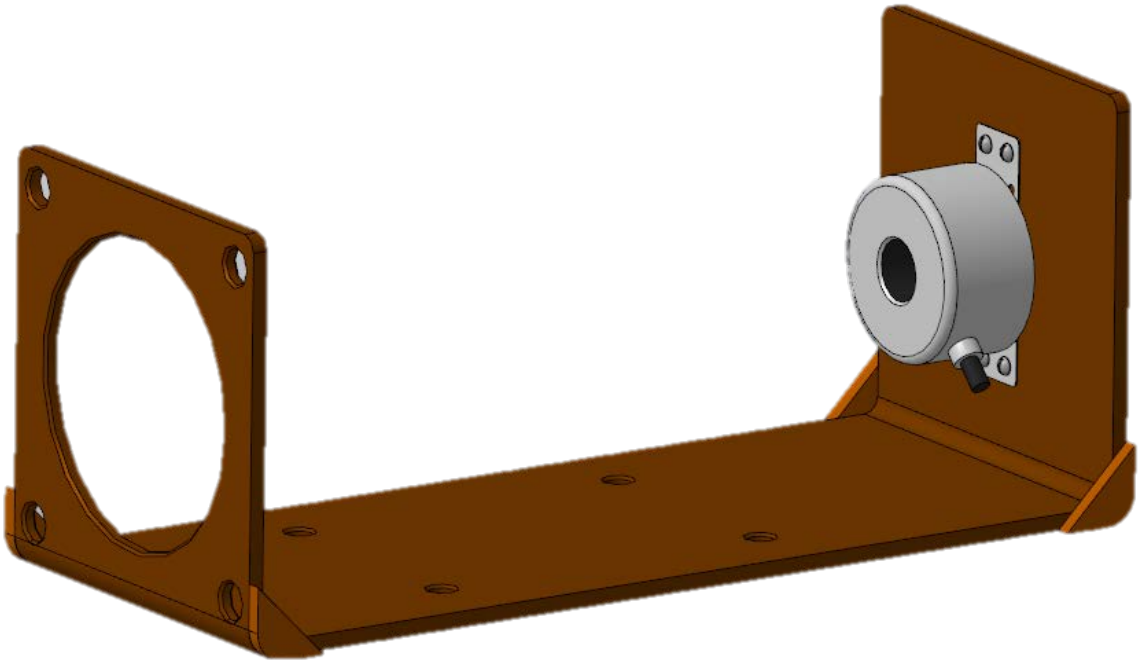

Рисунок 48 - Датчик на опорной раме

3.9. 3D-моделирование электромагнитного тормоза

Выбранный электромагнитный тормоз соответствует необходимым условиям работы стенда. Величина тормозного момента равна 20 Нм. Внешний вид тормоза представлен на рисунке 49.

Рисунок 49 – Электромагнитный тормоз

Так как у данного тормоза крепление не совсем подходит для наших условий, необходимо спроектировать специальный корпус для него. Он представлен на рисунке 50.

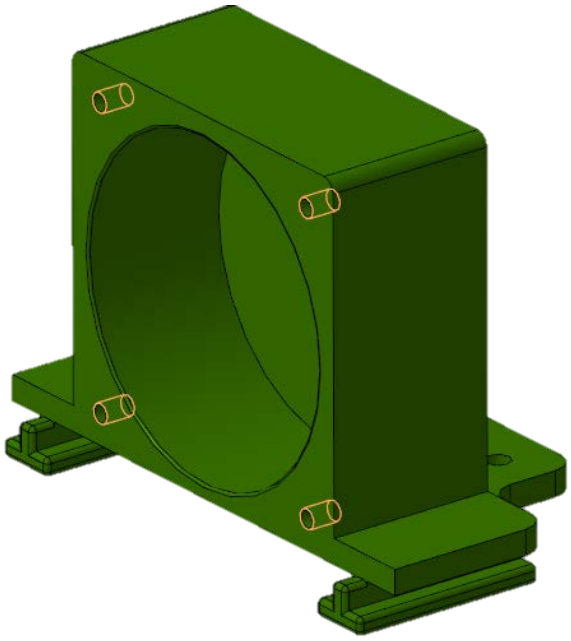

Рисунок 50 – Корпус для ЭМТ

3.10. 3D-моделирование дисплея для ДУП

Для того, чтобы наглядно было видно запаздывание в изменении показаний датчика угла поворота, необходим дисплей.

На сайте Autonics в разделе «Счетчики» была найдена модель Autonics MP5Y. У него несколько режимов работы, один из которых может показывать разницу межд показаниями датчиков.

Внешний вид датчика представлен на рисунке 51.

Рисунок 51 – Счетчик Autonics MP5Y

3D-модель представлена на рисунке 52.

Рисунок 52 – 3D-модель счетчика

3.11. 3D-моделирование сборки стенда

Стенд собирается в следующей последовательности: к основанию присоединяются ножки, затем внутрь устанавливаются все контроллеры. После этого основание накрывается крышкой. К крышке присоединяется опорная рама, к которой уже присоединены шаговый двигатель, датчики момента и угла поворота. После этого вставляются валы, исследуемая муфта, еще один датчик угла поворота и электромагнитный тормоз. 3D-модель стенда представлена на рисунке 53.

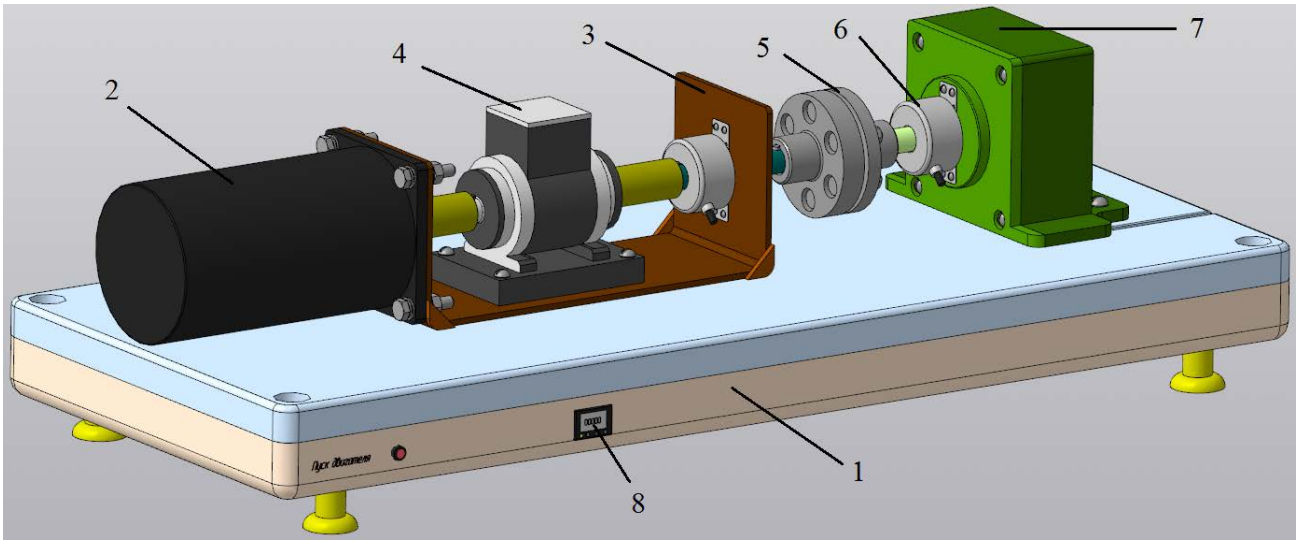

Рисунок 53 – Стенд для исследования свойств муфт

На данном стенде показаны:

1. Основание стенда;
2. Шаговый двигатель;
3. Опорная рама;
4. Датчик момента;
5. Датчик угла поворота;
6. Исследуемая муфта;
7. Электромагнитный тормоз;
8. Дисплей для ДУП.

В данном стенде есть возможность замены муфт. Для этого снимается корпус с ЭМТ и после этого вставляется муфта упругая со звездочкой. Собирается корпус в обратном порядке.

3D-модель стенда с муфтой со звездочкой представлена на рисунке 54.

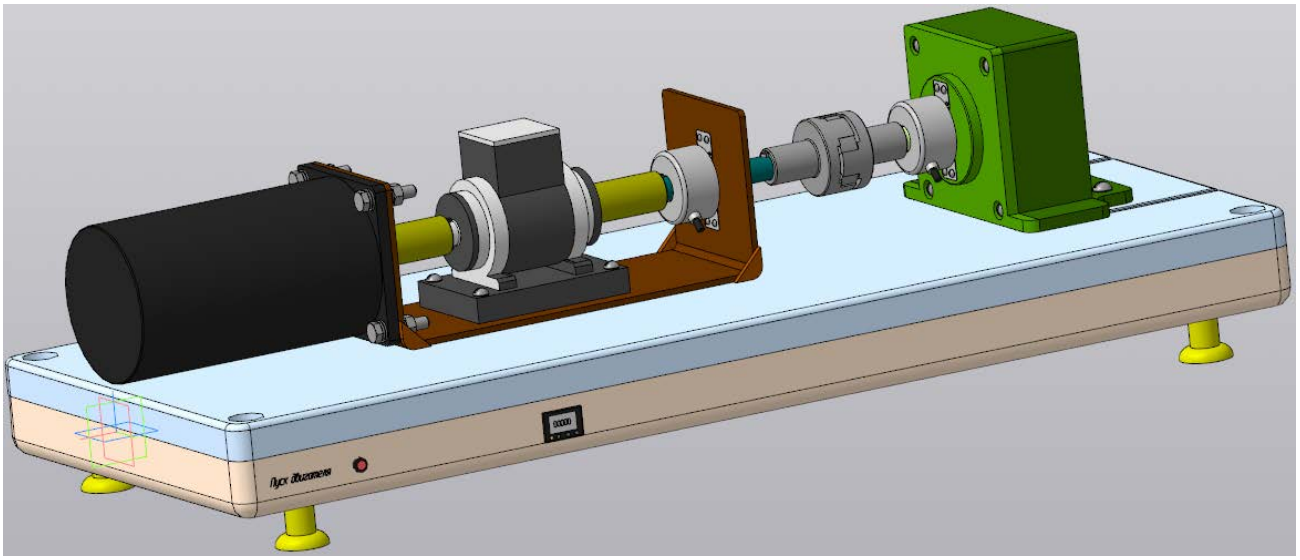

Рисунок 54 – Стенд с муфтой со звездочкой

Вывод по разделу 3: по итогам работы были спроектированы 3D-модели отдельных деталей стенда, которые затем были соединены в одной сборке. Был описан порядок сборки данного стенда. Были подобраны соответствующие данному типу конструкции датчики угла поворота вала и момента. В корпусе были предусмотрены места для контроллеров шагового двигателя, датчиков момента и угла поворота, электромагнитного тормоза и многофункционального дисплея. Для более наглядного представления о явлении гистерезиса был установлен многофункциональный дисплей, который может показывать разницу в показаниях двух датчиков угла поворота. Также была разработана специальная опорная рама, при помощи которой присоединялись к корпусу шаговый двигатель и датчики. Для электромагнитного тормоза был изготовлен специальный корпус, с помощью которого он может быть использован в данном стенде. Также конструкцией было предусмотрено быстрая разборка и сборка стенда со стороны электромагнитного тормоза. Для этого его корпус был сделан со специальными направляющими,

которые ускоряли процесс разбора установки. Сборка состоит из 31 детали. Конструкторская документация состоит из следующих листов:

1. спецификация стенда;
2. сборочный чертеж;
3. рабочий чертеж опорной рамы;
4. рабочий чертеж вала.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ НА СТЕНДЕ

Руководство по эксплуатации в соответствии с ГОСТ 2.601-2006 – документ, который содержит сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия, его составных частях и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации изделия. Использования по назначению, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования и оценок его технического состояния при определении необходимости отправки его в ремонт, а также сведения по утилизации изделия и его составных частей [16].

Приборы и принадлежности:

1) лабораторный стенд, включающий в себя шаговый электродвигатель и его контроллер, датчики угла поворота вала и момента и их контроллеры, электромагнитный тормоз со встроенным выпрямителем, упругая муфта, крестовая муфта;

2) блоки питания 220В, имеющие выводы с напряжениями 24В, 5В.

Порядок выполнения работы по исследованию упругой муфты со звездочкой:

1) изучить устройство стенда и принцип его действия;

2) рассмотреть и ознакомиться с конструкцией исследуемой упругой муфты;

3) запустить двигатель нажатием кнопки «Старт» на контроллере управления двигателем;

4) с помощью датчика момента снять значения начального момента;

5) с помощью датчиков угла поворота валов снять значения для начального момента двигателя;

6) внести полученные данные в таблицу;

Таблица – Измерения момента и угла поворота (шаблон)

Крутящий момент двигателя	**Показания датчика угла поворота**		
$M_{дв}$, Н·м	φ_1, град	φ_2, град	$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, град

7) вращением ручки на контроллере двигателя увеличить/уменьшить величину угла поворота на небольшую величину (необходимо учесть, что для построения графика необходимо 10 значений, 5 из которых на увеличение скорости и 5 на уменьшение);

8) по полученным данным построить график зависимости момента двигателя от разности угла поворота полумуфт;

9) сделать выводы о свойстве упругой муфты.

Порядок выполнения работы по исследованию втулочно-пальцевой муфты:

1) изучить устройство стенда и принцип его действия;

2) рассмотреть и ознакомиться с конструкцией исследуемой крестовой муфты;

3) запустить двигатель нажатием кнопки «Старт» на контроллере управления двигателем;

4) с помощью датчика момента снять значения передаваемого муфтой крутящего момента;

5) с помощью датчиков угла поворота валов снять значения для определенной величины момента двигателя;

6) рассчитать значения жесткости муфты:

$$C = \frac{T}{\Delta_{\varphi}}$$

7) вытащить одну упругую втулку из муфты;

8) повторить пп. 4-6;

9) внести данные в таблицу;

10) сделать вывод о влиянии на жесткость муфты количества упругих втулок.

Вывод по разделу 4: было разработано руководство по эксплуатации стенда для исследования свойств муфт по ГОСТ 2.601-2006.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе анализа технического задания было изучен объект исследования – муфты, передающие крутящий момент от одного вала к другому.

Найдено и изучено два аналога, у которых были найдены недостатки. Исходя из этого, были сформированы требования к разрабатываемому стенду.

Также был найден патент и сделан вывод об актуальности использования муфт. Были изучены различные типы муфт, которые используются в приборостроении.

В ходе работы была спроектирована 3D-модель стенда для исследования упругих муфт. В составе стенда используется микроконтроллеры, драйвер двигателя, 2 датчика угла поворота и 1 датчик, измеряющий крутящий момент на валу.

Разработана конструкторская документация стенда, состоящая из сборочного чертежа, спецификации и чертежей деталей.

Разработана методика выполнения лабораторной работы на стенде. Методика лабораторной работы состоит из 19 пунктов и включает испытание 2 типов упругих муфт на стенде и построение графиков в виде петли гистерезиса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – 11-е изд. – М.: «Академия», 2008. – 496 с.

2. Орлов, П.И. Основы конструирования. В 2 т. / П.И. Орлов. – М.: «Машиностроение», 1988. – 560 с.

3. Поляков, В.С. Справочник по муфтам: справочник / В.С. Поляков, И. Д. Барбаш, О. А. Ряховский. – Л.: Машиностроение, 1974. – 352 с.

4. Элементы приборных устройств (Основной курс): учебное пособие. Ч. 2: Приводы, преобразователи, исполнительные устройства / Тищенко О.Ф., Киселев Л.Т., Коваленко Л.П. и др.; под ред. О.Ф. Тищенко. – М.: Высш. школа, 1982. – 263 с.

5. Ряховский, О.А. Справочник по муфтам: справочник / О.А. Ряховский, С.С. Иванов. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с.

6. Методическое указание по расчету муфт: методические указания / сост. Г.С. Баширова, Д.В. Анненков. – Орск, 2002. – 55 с.

7. СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / сост. Т.И. Парубочая., Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

8. ГОСТ Р 50266-92. Муфты упругие. Сведения, предоставляемые потребителями и изготовителями. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 6 с.

9. Изучение конструкций и характеристик упругих муфт: методические указания / сост. В.С. Попов, Е.Л. Колмакова, О.Н. Мадрик. – Липецк: Изд. ЛГТУ,1995. – 10 с.

10. Исследование упругих свойств муфт: методические указания / сост. Д.К. Грибенкова, Е.Н. Покатилов. – Минск: ММИ, 1997. – 12 с.

11. ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 22 с.

12. ГОСТ 21424-93. Муфты упругие со звездочкой. Параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 9 с.

13. Чернавский, С. А. Проектирование механических передач: учебное пособие / С. А. Чернавский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 608 с.

14. Крейтер, С.В. Основы конструирования и агрегатирования: учебное пособие / С.В. Крейтер, А. Р. Нестеров, В. В. Данилевский. — М.: Изд-во стандартов, 1983. – 224 с.

15. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин: учебное пособие / А.Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1985. – 112 с.

16. Браславский, Д.А. Точность измерительных устройств: учебное пособие / Д.А. Браславский, В.В. Петров. – М.: Машиностроение, 1976. – 312 с.

17. ГОСТ 2.601-2006. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 44 с.

18. ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 16 с.

19. ГОСТ 17473-80. Винты с полукруглой головкой классов точности А и В. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 8 с.

20. Иванов, М.Н. Детали машин: учебное пособие / М.Н. Иванов, В.А. Финогенов. – М.: Высшая школа, 2008. – 408 с.