

Министерство образования и науки 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

Зав. Кафедрой ИНИТ

_____/ А.Л. Шестаков/

« ____ » _____ 2017г.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПО ИЗУЧЕНИЮ СИСТЕМЫ МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ–12.03.01. 2017.1382 ПЗ ВКР

Руководитель, доцент

_____/ Д.А. Кацай /

« ____ » _____ 2017 г.

Автор

студент группы КЭ-435

_____/ И.Г. Магазов /

« ____ » _____ 2017 г.

Нормоконтролер, доцент

_____/ А.А. Лысова/

« ____ » _____ 2017 г.

АННОТАЦИЯ

Магазов И.Г., Разработка лабораторной установки по изучению магнитоиндукционного демпфирования – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-435, 2017, 73 с., 36 ил., библиогр. список – 20 наим., 9 прил., 1 л. плакатов ф. А3.

В выпускной квалификационной работе была разработана лабораторная установка по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования.

В ходе анализа прототипа лабораторной установки выявлены его конструктивные недостатки требующие модернизации.

В выпускной работе разработано устройство съема и передачи информации, основанное на машинном зрении. Машинное зрение реализовано в программном пакете MATLAB, при помощи встроенного приложения Image Acquisition Toolbox.

Разработан диалоговый интерфейс при помощи среды GUIDE, входящей в программный пакет Matlab.

Спроектирована 3D-модель лабораторной установки, в соответствии с которой разработан пакет конструкторской документации на узлы, подвергшиеся модернизации.

Данная лабораторная установка может быть использована для практического и теоретического изучения демпфирования в курсе элементов приборных устройств, а также в проведении исследований в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ.

					ЮУ р Г У – 12. 03. 01. 2017. 1382. В К Р			
Изд.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Разработка лабораторной установки по изучению систем магнитоиндукционного демпфирования	<i>Л и т.</i>	Лист	Листов
Разр		Магазов И. Г.				5	73	
Пров		Кацай Д.А.						
Н. Контр.		Лысова А.А				ЮУрГУ Кафедра ИнИТ		
УТВ		Шестаков А.Л.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ	8
1.1 Анализ технического задания	8
1.2 Обзор конструкций существующих магнитоиндукционных демпферов, используемых в приборостроении	9
1.3 Принцип действия магнитоиндукционного демпфера	13
1.4 Способы съема информации и их техническая реализация	13
1.4.1 Бесконтактный съем информации	14
1.4.2 Контактный съем информации	17
1.5 Разработка структурной, функциональной схемы лабораторной установки	18
2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ И ЕЕ АНАЛИЗ	20
2.1 Уравнение движения подвижной системы лабораторной установки	20
2.2 Показатели переходного процесса	23
2.3 Переходный процесс в системе 2-го порядка	24
3 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ	32
3.1 Алгоритм съема и передачи информации	32
3.2 Алгоритм обработки полученной информации	37
3.3 Разработка диалогового интерфейса лабораторной установки	40
4 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	41
4.1 Формирование 3D-модели прототипа	41
4.2 Разработка кронштейна фиксации веб-камеры	42
4.3 Разработка электрической схемы	44
4.4 3D - модель лабораторной установки	45
4.5 Оценка точности модернизированного узла съема информации	45
4.6 Проведение экспериментов на лабораторной установке	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	51
--------------------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. М-файл программы диалогового интерфейса	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Спецификация кронштейна фиксации веб-камеры	64
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Сборочный чертеж кронштейна фиксации веб-камеры	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Спецификация элемента фиксации	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Сборочный чертеж фиксатора	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Рабочий чертеж основания.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Рабочий чертеж поворотной штанги	69
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Рабочий чертеж направляющей	70
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Рабочий чертеж платформы	71
ПРИЛОЖЕНИЕ К. Рабочий чертеж барашка.....	72

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы заключается в том, что для практического и теоретического изучения ряда дисциплин, а также проведения исследований в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ необходима лабораторная установка по изучению систем магнитоиндукционного демпфирования.

В современном мире, демпфирование в высокоточных приборах, содержащих подвижные детали, играет важную роль. Система демпфирования предназначена для обеспечения требуемых показателей динамического качества.

Уровень развития направления в данной работе – на рынке учебного оборудования подобных лабораторных установок не представлено. Лабораторная установка разрабатывается на базе прототипа.

Цель работы: разработка лабораторной установки по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования.

Основные задачи, подлежащие решению ВКР:

1. Построение математической модели стенда.
2. Разработка конструкции лабораторной установки.
3. Разработка 3D-модели лабораторной установки.
4. Разработка электрической схемы стенда.
5. Организация передачи данных к ПК по USB.
6. Обработка полученных данных на ПК.
7. Представление результатов разработки.

Объект работы – лабораторная установка по изучению систем магнитоиндукционного демпфирования.

Результаты работы рекомендуется использовать для практического и теоретического изучения демпфирования в курсе элементов приборных устройств, а также для проведения исследований в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ

Лабораторная установка по изучению систем магнитоиндукционного демпфирования предназначена для практического и теоретического изучения демпфирования в курсе элементов приборных устройств и прочих дисциплинах. Также на данном стенде возможно проведение исследований в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ.

1.1 Анализ технического задания

В соответствии с техническим заданием требуется разработать лабораторную установку по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования на базе существующего прибора путем модернизации его конструкции.

Модернизация коснется узлов, отвечающих за съём информации и электрической схемы прибора. Также предстоит разработка электронной части стенда, а именно – программирование диалогового интерфейса для работы со стендом.

В качестве чувствительного элемента узлов съема информации рассмотреть такие варианты, как использование потенциометра, датчика угла поворота, а также рассмотреть возможность использования устройств, принцип работы которых основан на машинном зрении.

Требования, предъявляемые на устройство съема информации:

- 1) устройство съема информации не должно оказывать тормозного момента на подвижную часть стенда, либо данный тормозной момент должен быть скомпенсирован программно;
- 2) обеспечить высокую точность;
- 3) обеспечить простоту встраивания в конструкцию существующего прибора;
- 4) обеспечить низкую стоимость разработки.

Основным требованием к электрической схеме прибора является исключение возможности поражения высоким напряжением оператора при работе с лабораторной установкой.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Требования, предъявляемые к диалоговому интерфейсу:

- 1) функциональность (соответствие задачам пользователя);
- 2) соответствие технологии;
- 3) понятность и логичность;
- 4) обеспечение высокой скорости работы пользователя;
- 5) обеспечение защиты от человеческих ошибок;
- 6) быстрое обучение пользователя;
- 7) субъективное удовлетворение пользователя.

1.2 Обзор конструкций существующих магнитоиндукционных демпферов, используемых в приборостроении

В ходе обзорно-аналитической части ВКР были выявлены компании, специализирующиеся на разработке и производстве лабораторных установок для применения в вузах и учебных центрах предприятий. Изучение ассортимента таких компаний как «Учтех-Профи», «Центр инновационных технологий ОрелГТУ», «Новый стиль», «Учебная техника» выявило, что подобных лабораторных установок на рынке Российской Федерации нет. Поиск в патентной базе также не выявил аналогов.

Для практического и теоретического изучения демпфирования в курсе элементов приборных устройств, а также для проведения лабораторных и исследовательских работ в рамках ВКР, необходима данная лабораторная установка. Однако анализ рынка не выявил аналогов. Можем говорить об актуальности и перспективности темы ВКР.

В качестве прототипа лабораторной установки выбран прибор по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования ДП-10А303№1, сконструированный в МВТУ в 1977 г. Прототип лабораторной установки приведен на рисунке 1:

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

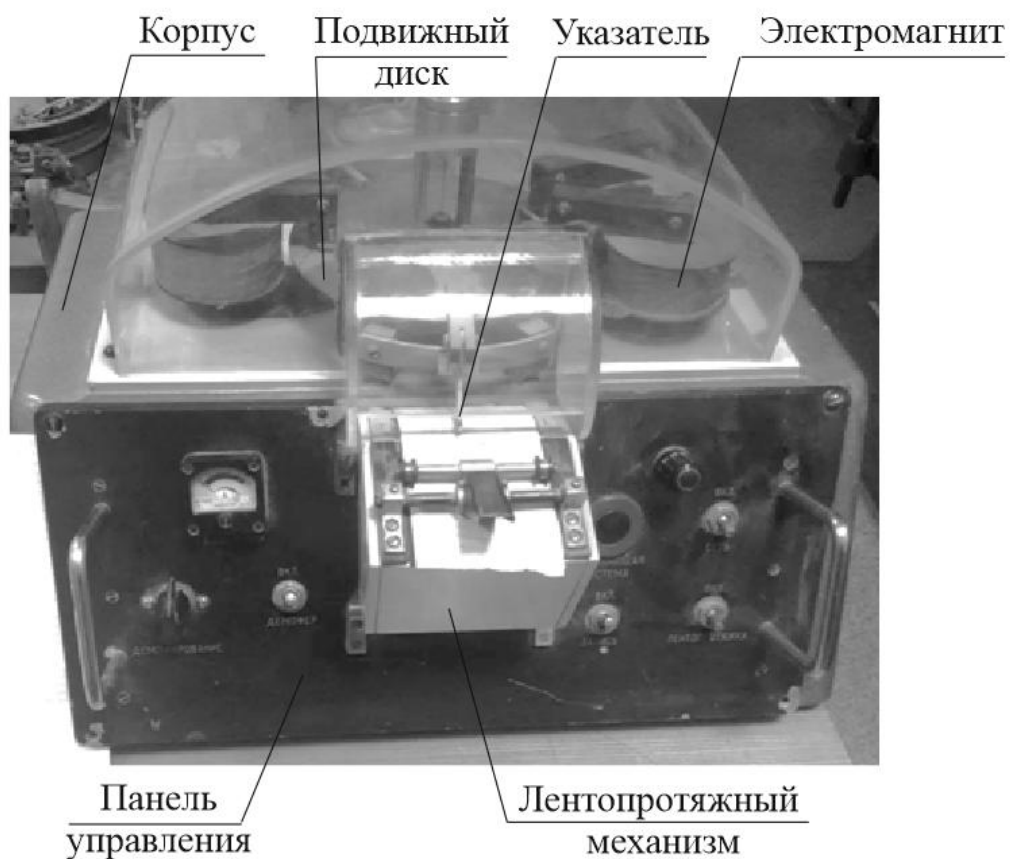


Рисунок 1 – Прототип лабораторной установки

Устройство съема информации основано на выжиге графика переходного процесса колебательной системы на бумаге. При включении тумблера запись, на указательную стрелку подается высокое напряжение. Происходит пробой и выжиг бумаги. Затем включается тумблер лентопротяжки. Недостатком такого технического решения является опасность поражения высоким напряжением оператора.

Также недостатками прототипа являются:

- 1) необходимость заземления прибора;
- 2) отсутствие указателя горизонта на корпусе прибора. Наклон подвижной части стенда приводит к возникновению погрешности измерений;
- 3) необходимость обслуживания механизма лентопротяжки;

В связи с долгим простоем прибора возникли следующие неисправности:

- электролитические конденсаторы пришли в негодность;

- торсион, отвечающий за колебания подвижного диска установки, ослаблен;
- подвижная часть лабораторной установки, разбалансирована.

Приведем функциональную схему существующего прибора (Рисунок 2):

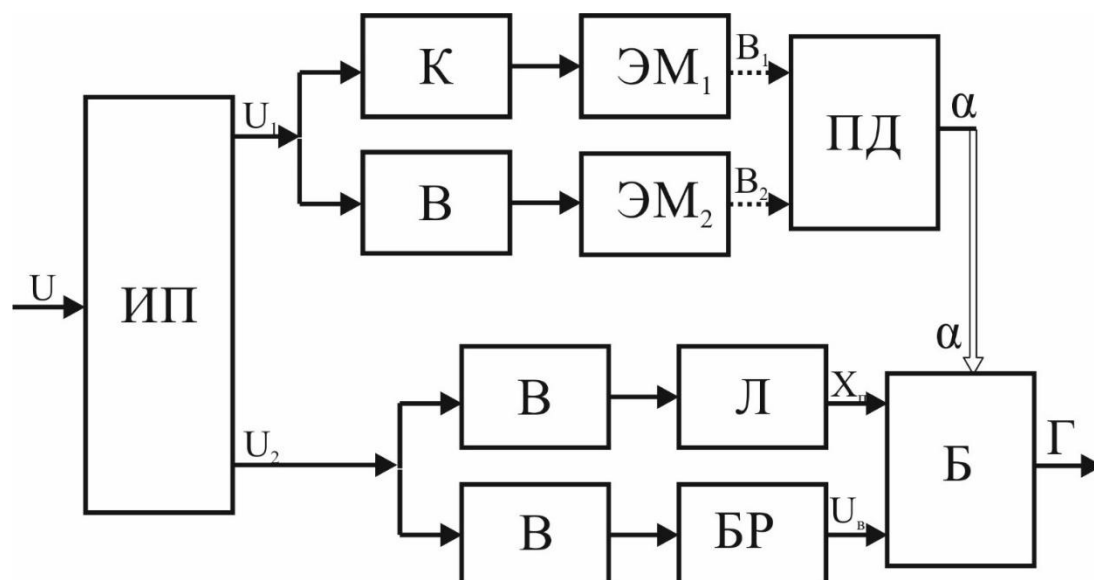


Рисунок 2 – Функциональная схема существующего прибора:

ИП – источник питания; К – кнопка; ЭМ₁, ЭМ₂ – электромагниты;

ПД – подвижный диск; В – выключатель; БР – блок розжига;

Л – лентопротяжный механизм; Б – бумага

Принципиальная электрическая схема прототипа приведена на рисунке 3:

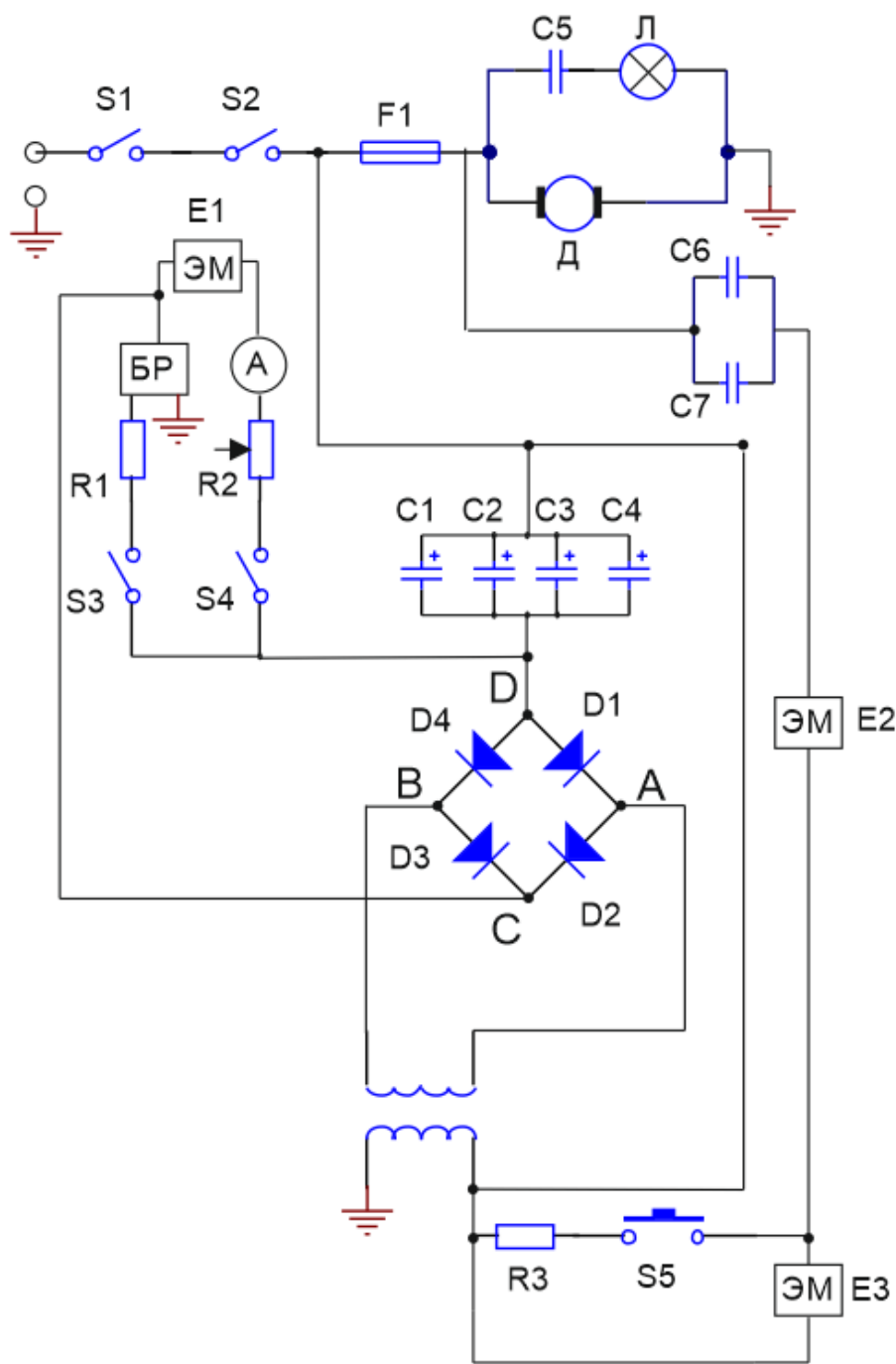


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема стенда-прототипа

Ключ S1 отвечает за подачу напряжения на установку, S2 – за включение механизма лентопотяжки. Кнопка S3 отвечает за отклоняющее воздействие. Тумблер S4 отвечает за подачу высокого напряжения на подвижный диск стенда. Тумблер S5 отвечает за демпфирование подвижной части лабораторной установки.

1.3 Принцип действия магнитоиндукционного демпфера

Магнитоиндукционные демпферы основаны на взаимодействии магнитного потока, создаваемого постоянным магнитом или электромагнитом; с вихревыми токами, наводимыми в металлических деталях (рамке, стакане, диске), связанных с элементами прибора, колебания которых необходимо устранить.

На рисунке 4 приведена принципиальная схема магнитоиндукционного демпфера.

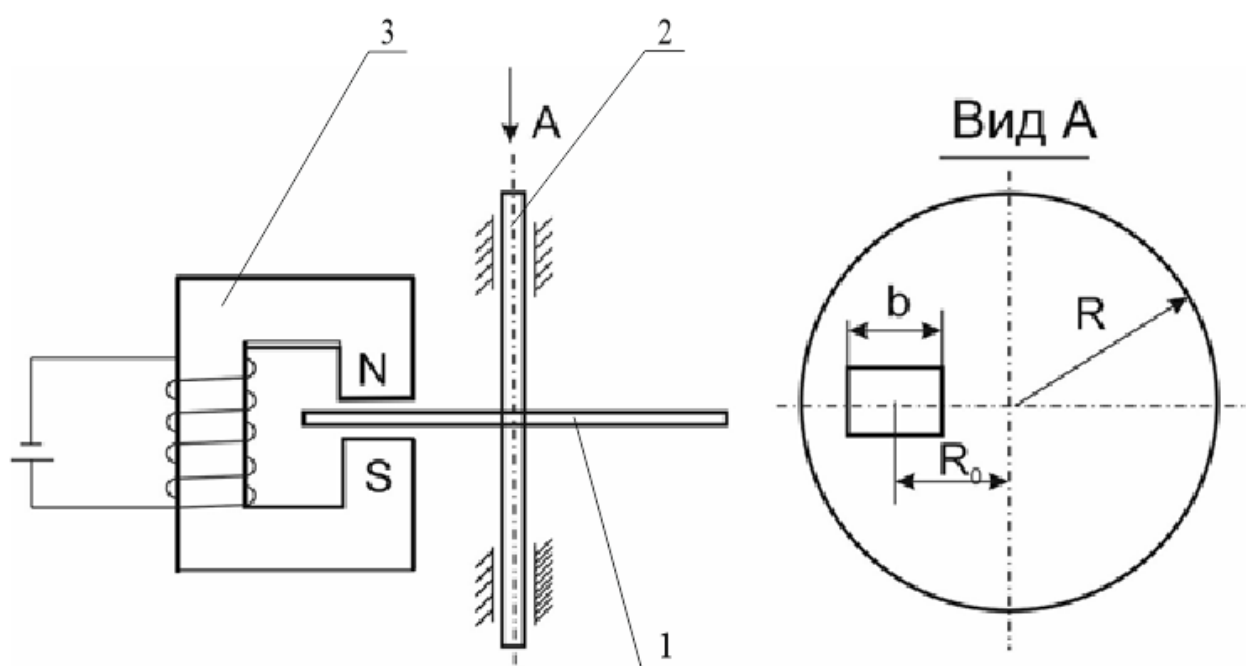


Рисунок 4 – Принципиальная схема магнитоиндукционного демпфера:

1 – подвижный диск; 2 – ось подвижного диска; 3 – электромагнит

Диск выполняют из алюминия толщиной от 0.3 до 1 мм. Зазор между полюсом электромагнита и поверхностью диска должен быть не менее 0.5 мм [1].

1.4 Способы съема информации и их техническая реализация

Есть несколько способов реализации съема информации с подвижной части прибора, позволяющие определить величину углового перемещения:

- бесконтактный съем информации;
- контактный съем информации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

1.4.1 Бесконтактный съём информации

Энкодер.

Энкодер - устройство, которое преобразует линейное или угловое перемещение, в последовательность сигналов, позволяющих определить величину перемещения.

Поворотный энкодер (датчик угла поворота (Рисунок 5)) – устройство, преобразующее угол поворота вала, в электрические сигналы, которые позволяют определить этот угол.

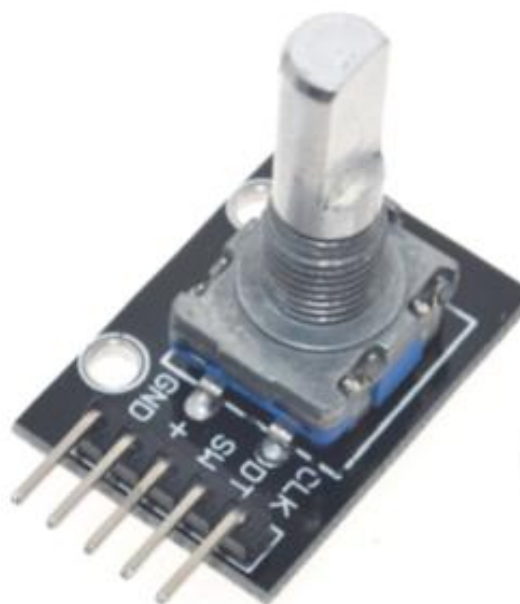


Рисунок 5 – Поворотный энкодер

Типы энкодеров:

1) инкрементальный энкодер - это устройство, которое определяет угол поворота вращающегося объекта, выдавая импульсный цифровой код. При включении, энкодер данного типа, начинает отсчет поворота угла не с нулевого положения, а с угла, на который он был выставлен до момента выключения;

2) абсолютный энкодер выдает цифровой код, различный для каждого положения объекта. Абсолютные энкодеры позволяют определять угол поворота оси даже при исчезновении и восстановлении питания, и не требуют возвращения объекта в начальное положение.

Для наших целей возможно применение как абсолютного, так и инкрементного энкодера.

Достоинства энкодера:

- возможность купить готовое устройство;
- простота обработки выходного сигнала;
- абсолютный энкодер не нуждается в калибровке;
- широкий диапазон разрешающей способности энкодера (разрешающая способность – количество импульсов на оборот);
- простота, надежность инкрементных энкодеров;
- сигнал абсолютного энкодера не подвержен помехам и вибрациям.

Недостатки энкодера:

- большая погрешность определения угла при низкой разрешающей способности энкодера;
- высокая стоимость при необходимой нам разрешающей способности энкодера;
- сложность встраивания в существующую конструкцию:

В связи с высокой стоимостью абсолютного энкодера, который удовлетворяет нашим требованиям, данное техническое решение не будет использовано в выпускной квалификационной работе.

Устройство, основанное на машинном зрении.

Применение компьютерного зрения для промышленности и производства называется машинным зрением.

На рисунке 6 приведена принципиальная схема устройства:

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

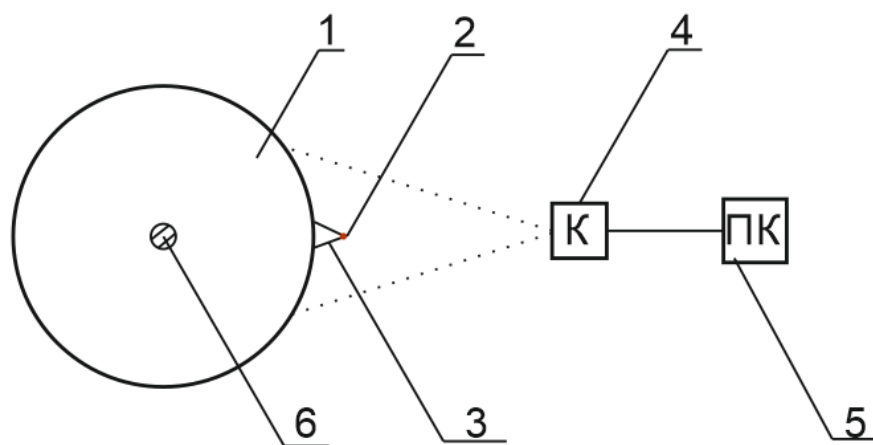


Рисунок 6 – Принципиальная схема устройства:

- 1 – подвижный диск; 2 – красный объект; 3 – указатель угла поворота;
 4 – веб-камера; 5 – персональный компьютер;
 6 – ось вращения подвижного диска

На подвижной части стенда монтируется красный объект, напротив - на неподвижном кронштейне располагается веб-камера. При отклонении подвижного диска, координаты объекта изменяются. Изображение считывается веб-камерой, присоединенной к ПК при помощи USB кабеля. При помощи программного пакета MATLAB данная информация обрабатывается и выводится график переходных процессов.

Достоинства:

- простота встраивания в существующую конструкцию;
- высокая точность;
- низкая стоимость;
- для работоспособности устройства не требуется микроконтроллер;
- внедрение данного устройства не оказывает влияние на график переходного процесса;
- не оказывает тормозной момент на подвижный диск.

Недостатки:

- готового решения нет в продаже;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- сложность алгоритма распознавания угла отклонения подвижной части стенда относительно неподвижной;
- необходимость калибровки;

В качестве устройства съема и передачи информации выбрано устройство, основанное на машинном зрении.

1.4.2 Контактный съём информации

Потенциометр.

Потенциометр (Рисунок 7) – электрический элемент, который позволяет регулировать напряжение на нагрузке от нуля до напряжения источника питания.



Рисунок 7 – Потенциометр

Потенциометр входит в механическое зацепление с подвижной и неподвижной частью установки. При отклонении подвижного диска, ручка потенциометра поворачивается, тем самым изменяя напряжение на выходе потенциометра.

Параметры, представляющие особую важность при выборе потенциометра:

- разрешение;
- плавность изменения сопротивления;
- линейность;
- износостойчивость.

Достоинства потенциометра:

- возможность купить готовое устройство;
- простота обработки выходного сигнала;
- низкая стоимость.

Недостатки потенциометра:

- сложность интеграции с существующим прототипом;
- необходимость калибровки;
- износ подвижных частей;
- оказание тормозного момента на подвижный диск.

1.5 Разработка структурной, функциональной схемы лабораторной установки

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, а функциональная схема разъясняет процессы, протекающие в них. Лабораторная установка состоит из электрического преобразователя (измерительной цепи), электромеханического преобразователя (измерительного механизма), отчетного устройства (рисунок 8) [4].

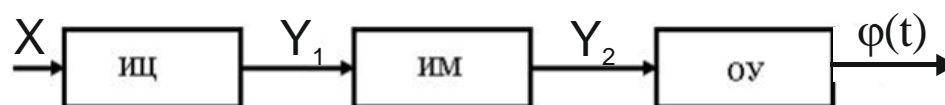


Рисунок 8 – Структурная схема стенда:

ИЦ – измерительная цепь; ИМ – измерительный механизм;

ОУ – отчетное устройство; X – входной сигнал;

Y_1 – промежуточная электрическая величина, подаваемая на ИМ;

Y_2 – аналоговый или цифровой сигнал, подаваемый на ОУ

$\varphi(t)$ – угол поворота подвижной части стенда

В ИЦ происходит преобразование входного сигнала X в промежуточную электрическую величину Y_1 , которая подается на ИМ.

ИМ, являясь основной частью конструкции установки, преобразует электромагнитную энергию в механическую энергию, необходимую для отклонения его подвижной части относительно неподвижной. Перемещение подвижной части состоит в повороте относительно неподвижной на угол α . Данное перемещение фиксируется и передается на ОУ.

Отсчетным устройством в нашем случае будет ПК, считывающий показания с ИМ при помощи веб-камеры и программного пакета MAtLAB.

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рисунке 9:

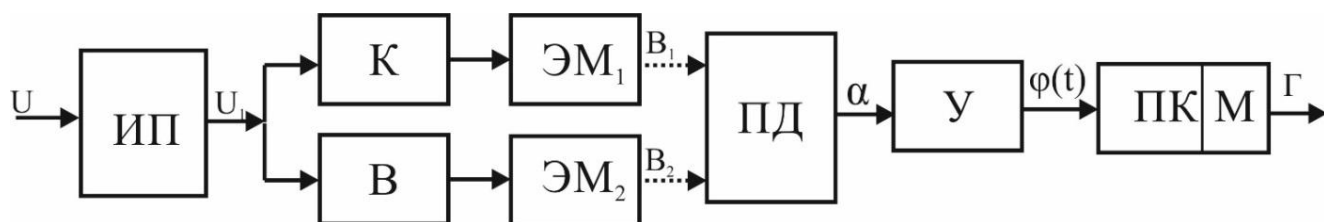


Рисунок 9 – Функциональная схема лабораторной установки:

ИП – источник питания; К – кнопка; ЭМ₁, ЭМ₂ – электромагниты;

В – выключатель; ПД – подвижный диск; У – устройство съема информации;

ПК – персональный компьютер с установленным программным пакетом MatLAB

На источник питания подается входное переменное напряжение $U=220$ В. ИП представляет собой понижающий трансформатор, на вторичных обмотках которого формируется управляющее напряжение U_1 и напряжение питания. Управляющее напряжение подается на ИМ. Напряжение питания подается на прочие компоненты установки. Электромагнит ЭМ₁ отвечает за вывод подвижного диска из состояния равновесия. Электромагнит ЭМ₂ демпфирует колебания подвижного диска. Выключатель В отвечает за подачу напряжения на электромагнит ЭМ₂. Отклонения подвижного диска фиксируются при помощи веб-камеры. Полученное изображение передается в персональный компьютер и обрабатывается при помощи программного пакета MatLAB.

Вывод по разделу 1: в ходе обзорно-аналитической части ВКР подобных лабораторных установок не выявлено. В качестве прототипа лабораторной установки был выбран прибор по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования. В ходе анализа прототипа выявлено, что прототип лабораторной установки нуждается в устранении текущих неисправностей и модернизации устройства съема и передачи информации. Проведен анализ различных устройств съема и передачи информации. В качестве устройства съема и передачи информации выбрано устройство, основанное на машинном зрении.

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ И ЕЕ АНАЛИЗ

В большинстве успокоителей создается торможение, пропорциональное первой степени скорости движения подвижной системы. Демпферы, у которых торможение пропорционально второй степени скорости, при малых скоростях работают не устойчиво.

2.1 Уравнение движения подвижной системы лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 10:

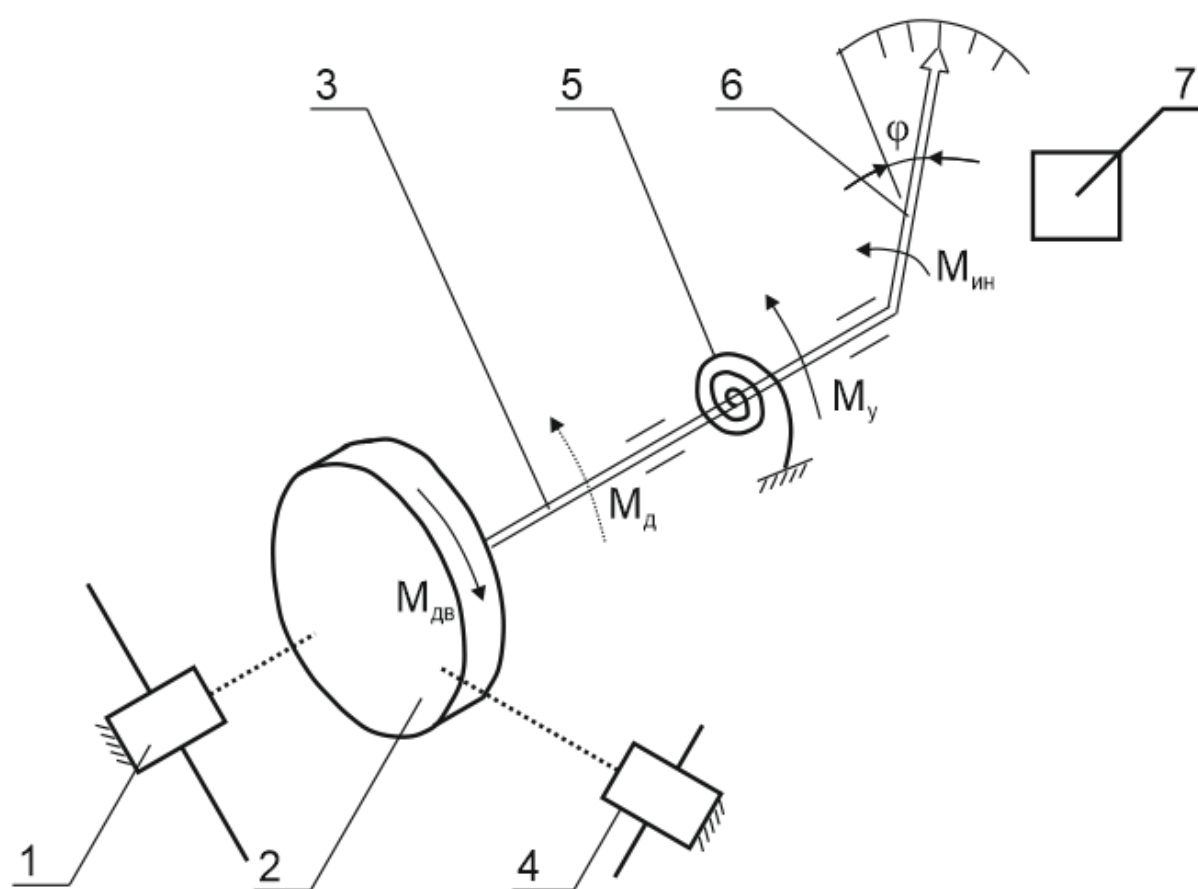


Рисунок 10 – Принципиальная схема лабораторной установки:

- 1 – электромагнит, создающий на диске вращающий момент;
- 2 – подвижный диск; 3 – вал; 4 – электромагнитный демпфер;
- 5 – торсион; 6 – указательная стрелка; 7 – устройство съема информации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Электромагнит 1 создает магнитную индукцию B_1 , которая воздействует на подвижный диск 2. Сила электромагнитного взаимодействия создаёт на диске движущий (вращающий) момент $M_{дв}$, приложенный к валу 3, который связан с противодействующим торсионом 5 и электромагнитным демпфером 4. Выходным сигналом прибора является угол отклонения указательной стрелки 6, укрепленной на валу 3.

Угол поворота диска снимается со стрелки 6, укрепленной на валу 3 при помощи устройства съема информации 7.

Этапы формирования затухающих колебаний в лабораторной установке:

1) Процесс приведения подвижного диска путем подачи импульса напряжения на электромагнит 1;

2) Процесс демпфирования подвижной системы стенда путем подачи напряжения на электромагнитный демпфер.

При подаче импульса напряжения на электромагнит 1 подвижный диск приходит в движение, начинается переходный процесс. Подключаются электромагниты, отвечающие за демпфирование.

Рассмотрим возникающие в системе противодействующие моменты:

а) упругий момент M_y , формируемый торсионом;

$$M_y = C_y * \varphi \quad (1)$$

где C_y – коэффициент жесткости упругого элемента (торсиона).

б) демпфирующий момент M_d , развиваемый демпфером 4, который пропорционален угловой скорости подвижной системы:

$$M_d = K_d * \frac{d\varphi}{dt} \quad (2)$$

где K_d – коэффициент демпфирования, обусловленный электромагнитным взаимодействием демпфера и диска;

в) инерционный момент, пропорциональный угловому ускорению $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ подвижной системы:

$$M_{ин} = J * \frac{d^2\varphi}{dt^2}, \quad (3)$$

где J – момент инерции подвижной системы.

Здесь не учтены малые добавочные моменты, такие как момент трения диска о воздушную среду, момент от дебаланса подвижной системы.

Условие динамического равновесия системы в начальный момент времени:

$$M_{ин} + M_d + M_y = M_{дв}. \quad (4)$$

Подставляя выражения для моментов, получим следующее дифференциальное уравнение с нулевыми начальными условиями:

$$J * \frac{d^2\varphi}{dt^2} + K_d * \frac{d\varphi}{dt} + C_y * \varphi = Q(t) * r, \quad (5)$$

где $Q(t)$ – электромагнитная сила от ЭМ₂;

r – радиус подвижного диска.

Условие динамического равновесия системы в последующие моменты времени:

$$M_{ин} + M_d + M_y = 0. \quad (6)$$

Подставляя выражения для моментов, получим однородное дифференциальное уравнение с ненулевыми начальными условиями:

$$J * \frac{d^2\varphi}{dt^2} + K_d * \frac{d\varphi}{dt} + C_y * \varphi = 0. \quad (7)$$

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В дифференциальном уравнении (7) высший порядок производной равен 2, поэтому рассматриваемая измерительная система относится к динамической системе второго порядка [5].

2.2 Показатели переходного процесса

Переходный процесс установления выходного сигнала φ при ступенчатом (скачкообразном) изменении x может быть двух видов (Рисунок 11):

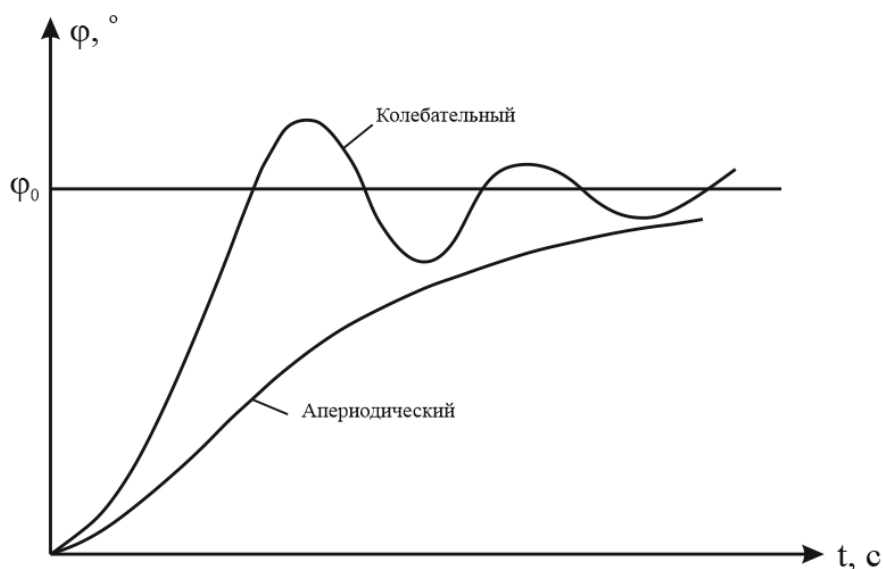


Рисунок 11 – Графики переходных процессов

а) аperiodический процесс, при котором сигнал не переходит через установившееся значение;

б) колебательный процесс, при котором выходной сигнал переходит через установившееся значение, совершая относительно него затухающие колебания [6].

Для оценки качества переходного процесса приняты следующие показатели:

1) частота колебаний f , измеряемая в герцах. Также пользуются круговой частотой $\omega = 2\pi f$, измеряемой в рад/с;

2) период колебаний $T = \frac{1}{f}$ – время одного полного колебания в секундах;

3) декремент затухания ε , равный отношению абсолютных значений двух максимальных отклонений за полпериода;

4) логарифмический декремент затухания $\ln \varepsilon$;

5) длительность переходного процесса t – время в течении которого динамическая ошибка выходит за допустимые пределы $\pm \Delta\varphi$.

Относительную величину допустимой ошибки λ обычно берут равной 0.05 или 0.1.

$$\lambda = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_0}$$

Длительность переходного процесса – один из важных показателей переходного процесса, характеризующий быстродействие измерительной системы. При проектировании прибора стремятся по возможности уменьшить длительность переходного процесса t , путем рационального выбора коэффициентов противодействующих моментов [7].

2.3 Переходный процесс в системе 2-го порядка

Характер затухания переходного процесса существенно зависит от величины действующих в установке демпфирующих моментов.

Рассмотрим свободные (собственные) колебания системы, т.е. положим внешний момент $M_{дв}$ равным нулю. Тогда движение системы будет описываться уравнением (7).

Введем следующие обозначения:

$$\frac{K_d}{J} = 2 * d * \omega_0;$$

$$\frac{C_y}{J} = \omega_0^2;$$

где d – относительный коэффициент демпфирования;

ω_0 – круговая частота собственных колебаний.

Рассмотрим демпфированную систему, в которой участвуют все противодействующие моменты: упругий, демпфирующий и инерционный, причем движущий момент по-прежнему принимаем равным нулю.

Дифференциальное уравнение системы 2-го порядка:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2d\omega_0 * \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2\varphi = 0. \quad (8)$$

Решение этого дифференциального уравнения зависит от того, будут ли корни характеристического уравнения (9) действительными или комплексными.

$$p^2 + 2d\omega_0 * p + \omega_0^2 = 0; \quad (9)$$

Решение уравнения (9) дает следующие выражения для его корней:

$$p_{1,2} = -d * \omega_0 \pm \sqrt{d^2 * \omega_0^2 - \omega_0^2}$$
$$p_{1,2} = -d * \omega_0 \pm \omega_0 * \sqrt{d^2 - 1}. \quad (10)$$

В зависимости от величины d , получаем комплексные или действительные корни характеристического уравнения и соответственно, получаем различные решения дифференциального уравнения (8). Рассмотрим только случай комплексных корней, потому что при действительных корнях, амплитуда колебаний с течением времени будет возрастать.

Комплексные корни характеристического уравнения (9) получаются при $d < 1$.

В этом случае решение уравнения (8) запишем в виде:

$$\varphi = e^{-d*\omega_0 t} * (A * \sin(\omega_0\sqrt{1 - d^2}t) + B * \cos(\omega_0\sqrt{1 - d^2}t)). \quad (11)$$

Произвольные постоянные А и В найдем из начальных условий: при $t = 0$, $\varphi = \varphi_0$, $\frac{d\varphi}{dt} = 0$. Для определения А и В продифференцируем решение (11).

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} = & -d * \omega_0 * e^{-d*\omega_0 t} * \left(A * \sin\left(\omega_0 * \sqrt{1 - d^2}t\right) + B * \cos\left(\omega_0 * \sqrt{1 - d^2}t\right) \right) + \\ & + e^{-d*\omega_0 t} * \left[A * \omega_0 * \sqrt{1 - d^2} * \cos\left(\omega_0 * \sqrt{1 - d^2}t\right) - B * \omega_0 * \sqrt{1 - d^2} * \right. \\ & \left. * \sin\left(\omega_0 * \sqrt{1 - d^2}t\right) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставив начальные условия в (11) и (12), получим:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\varphi_0 * d}{\sqrt{1 - d^2}}; \\ B &= \varphi_0. \end{aligned}$$

Решение (11) дифференциального уравнения (8) запишем в виде:

$$\varphi = \varphi_0 * e^{-d\omega_0 t} * \left(\frac{d}{\sqrt{1-d^2}} * \sin(\omega_0 \sqrt{1-d^2}t) + \cos(\omega_0 \sqrt{1-d^2}t) \right). \quad (13)$$

Данное выражение определяет переходный процесс демпфирования системы 2-го порядка при $d < 1$. Полученное выражение свидетельствует о том, что при $d < 1$ переходный процесс будет иметь колебательный характер, причем с течением времени колебания постепенно затухают (Рисунок 12).

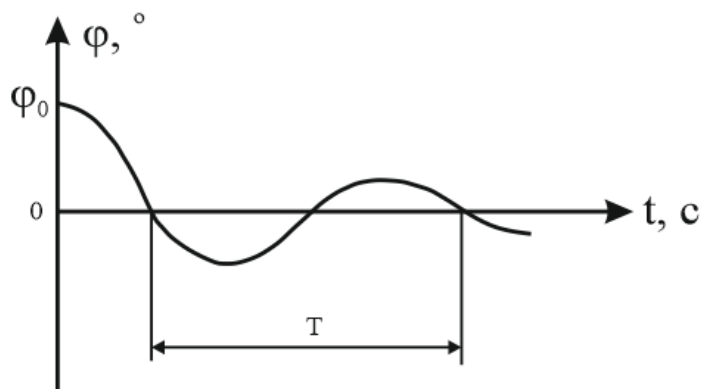


Рисунок 12 – Переходный процесс системы 2-го порядка при $d < 1$

Пользуясь уравнением (13) можно определить показатели переходного процесса:

- 1) частота собственных колебаний системы ω , рад/с;

$$\omega = \omega_0 * \sqrt{1 - d^2}; \quad (14)$$

где

$$d = \frac{K_d}{2 * \sqrt{J * C_y}}$$

Сравнивая собственные частоты ω демпфированной системы с собственной частотой ω_0 недемпфированной системы, видим, что при малых значениях d частота ω близка к ω_0 , но с увеличением d частота падает и становится равной нулю при $d = 1$.

- 2) период колебаний T , с;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega_0 * \sqrt{1-d^2}} = \frac{T_0}{\sqrt{1-d^2}}; \quad (15)$$

где T_0 период колебаний недемпфированной системы.

По мере увеличения d период T увеличивается, и стремится к бесконечности при $d \rightarrow 1$.

3) декремент затухания ε ;

$$4) \varepsilon = \left| \frac{\varphi_0}{\varphi_1} \right| = e^{\frac{\pi \cdot d}{\sqrt{1-d^2}}}. \quad (16)$$

Декремент затухания определяется в следующем порядке. Находится наибольшее отклонение φ_1 системы через полпериода (Рисунок 13), путем подстановки в уравнение (13) выражение времени:

$$t = \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{\omega}.$$

При этом

$$\cos(\omega_0 * \sqrt{1-d^2} * t) = \cos \omega t = -1;$$

$$\sin(\omega_0 * \sqrt{1-d^2} * t) = \sin \omega t = 0.$$

Тогда

$$\varphi_1 = -\varphi_0 * e^{-\frac{d * \omega_0 * \pi}{\omega}} = -\varphi_0 * e^{-\frac{d * \pi}{\sqrt{1-d^2}}}$$

б) логарифмический декремент затухания.

$$\ln \varepsilon = \frac{\pi d}{\sqrt{1-d^2}}; \quad (17)$$

Аналитическое определение длительности переходного процесса t по уравнению (13) не представляется возможным, т.к. это уравнение не решается явно относительно t и, кроме того, t_{\min} неоднозначно зависит от $\Delta\varphi$, поскольку пересечение кривой $\varphi(t)$ с прямыми $+\Delta\varphi$ и $-\Delta\varphi$ происходит не в одной точке, а в нескольких (Рисунок 13).

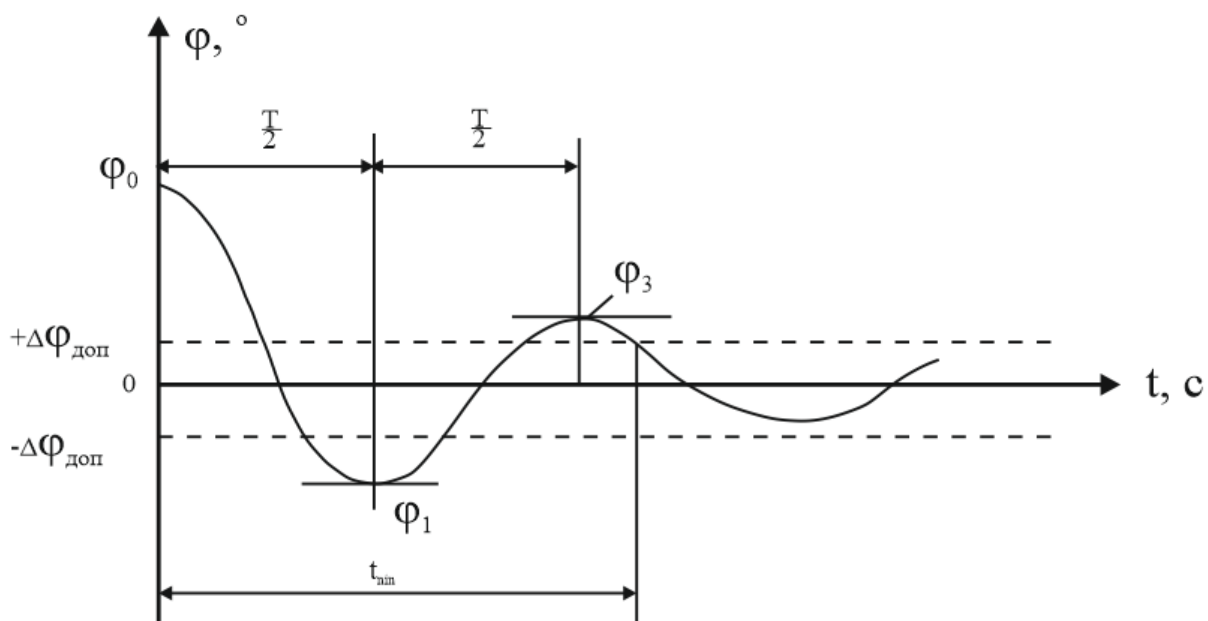


Рисунок 13 - График переходного процесса, при котором пересечение кривой $\varphi(t)$ с прямыми $+\Delta\varphi$ и $-\Delta\varphi$ происходит в нескольких точках

Анализ уравнения (13) показывает, что существует оптимальное значение d , при котором t_{\min} имеет минимум.

Приведем уравнение (13) к безразмерному виду, воспользовавшись соотношениями:

$$\varepsilon = \frac{\varphi}{\varphi_0};$$

$$\tau = \omega_0 t;$$

Получим

$$\varepsilon = e^{-d\tau} \left(\frac{d}{\sqrt{1-d^2}} \sin(\sqrt{1-d^2}\tau) - \cos(\sqrt{1-d^2}\tau) \right). \quad (18)$$

Это выражение дает относительную величину выходного сигнала демпфированной колебательной системы второго порядка при $d < 1$ (Рисунок 14).

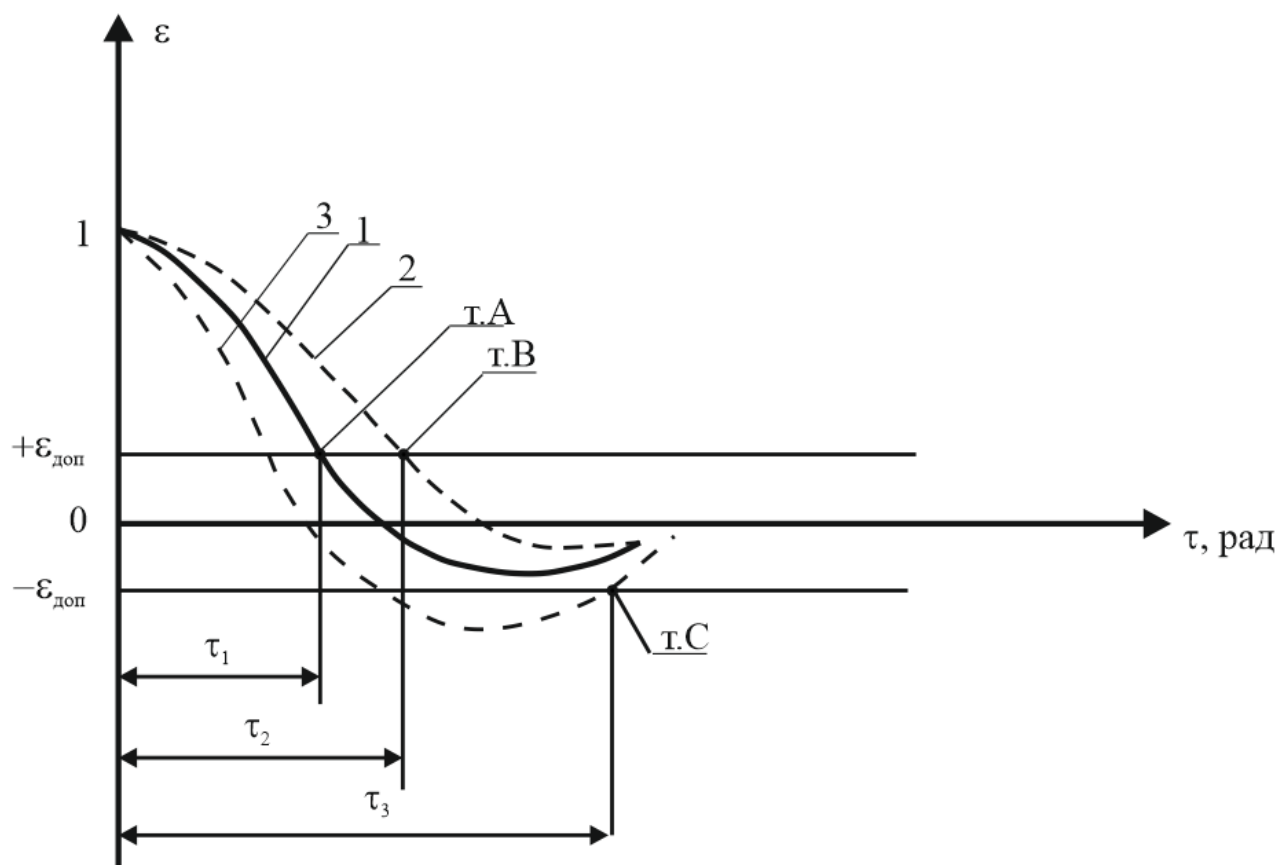


Рисунок 14 – График переходного процесса

График на рисунке 14 показывает, что минимум τ_{\min} будет при таком значении $d = d_1$, при котором минимум функции (18) после первого ее перехода через нуль совпадает с нижней границей допустимой динамической ошибки $-\varepsilon_{\text{доп}}$ (кривая 1 на рисунке 14). Этой кривой соответствует время переходного процесса τ_1 , при котором кривая 1 входит в зону допустимых ошибок в точке А.

Для доказательства того, что время τ_1 будет минимальным, допустим, что $d > d_1$. Тогда период колебаний увеличится, переходный процесс будет описываться кривой 2, расположенной правее кривой 1 и входящей в зону $+\varepsilon_{\text{доп}}$ в точке В, для которой $\tau_2 > \tau_1$. Если же $d < d_1$, то период колебаний уменьшается, но максимальное отклонение при времени, равном половине периода, выйдет за пределы зоны $\pm\varepsilon_{\text{доп}}$. Время τ_3 переходного процесса будет уже определяться вторым пересечением кривой 3 с нижней границей зоны в точке С. Следовательно $\tau_3 > \tau_1$. Таким образом задача отыскания оптимального d сводится к

определению его значения, при котором первый минимум функции (18) равен $\varepsilon_{\text{доп}}$.

Искомое условие для оптимального значения $d_{\text{опт}}$ получим, приравняв левую часть уравнения (18) $-\varepsilon_{\text{доп}}$, а правой части подставляя время $-\tau$, равное половине периода.

$$\tau = \frac{\pi}{\sqrt{1-d^2}};$$

Тогда

$$-\varepsilon_{\text{доп}} = -e^{-\frac{d\pi}{\sqrt{1-d^2}}};$$

Откуда

$$d_{\text{опт}} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon_{\text{доп}}}}{\sqrt{\pi^2 + \left(\ln \frac{1}{\varepsilon_{\text{доп}}}\right)^2}}. \quad (19)$$

Если подставить формулу (19) в уравнение (18) и приравнять $\varepsilon = +\varepsilon_{\text{доп}}$, то получим уравнение, однозначно определяющее минимальное безразмерное время переходного процесса $\tau_{\text{nin}} = \tau_{\text{min}}$:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = e^{-d_{\text{опт}} \cdot \tau_{\text{min}}} \left(\frac{d_{\text{опт}}}{\sqrt{1-d_{\text{опт}}^2}} \sin \sqrt{1-d_{\text{опт}}^2} \tau_{\text{min}} + \cos \sqrt{1-d_{\text{опт}}^2} \tau_{\text{min}} \right). \quad (20)$$

Уравнение (20) не имеет явного решения относительно τ_{min} , но численно может быть решено для любых значений $\varepsilon_{\text{доп}}$ и $d_{\text{опт}}$ [8].

Вывод по разделу 2: получена математическая модель лабораторной установки по изучению систем магнитоиндукционного демпфирования.

3 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ

Программную реализацию условно можно разделить на три составляющие:

- разработка алгоритма съема и передачи информации;
- обработка полученной информации;
- разработка диалогового интерфейса лабораторной установки;

3.1 Алгоритм съема и передачи информации

Принцип действия устройства съема и передачи информации описан в подразделе 0. В этой главе рассмотрим программную реализацию данного устройства.

Программная обеспечение машинного зрения будет реализовано в программном пакете MATLAB, при помощи встроенного приложения Image Acquisition Toolbox.

MATLAB – высокоуровневый язык программирования. MATLAB позволяет анализировать данные, разрабатывать алгоритмы, создавать приложения.

Приложение Image Acquisition Toolbox используется для передачи захваченных данных изображения из камеры в рабочее пространство MATLAB. Использование полученных изображений разнообразно. В частности, изображения используются для отслеживания объектов, находящихся в поле зрения камеры [9].

На подвижную часть лабораторной установки будет установлен красный объект. Задача программы сводится к отслеживанию координаты центра данного объекта.

Работу программы условно можно разделить на части:

- установка камеры;
- захват данных;
- инициализация необходимых параметров;
- распознавание красного цвета в кадре;

- нахождение центра координаты красного объекта;
- очистка памяти;

Установка камеры.

Камера должна быть расположена таким образом, чтобы в ее поле зрения помещалась вся траектория движения объекта слежения. Исключить перемещение камеры при захвате изображения для получения адекватных данных о координатах объекта слежения.

Захват данных.

Получение входного видеопотока.

```
vidDevice = imaq.VideoDevice('winvideo', 1, 'YUY2_640x480', ...
'ROI', [1 1 640 480], ...
'ReturnedColorSpace', 'rgb');
```

Получение информации о доступных аппаратных средствах получения изображений.

```
vidInfo = imaqhwinfo(vidDevice);
```

Инициализация необходимых параметров.

Установка порогового значения для обнаружения красного цвета.

```
redThresh = 0.24; %
```

Команда AreaOutputPort служит для установки обработки блочного анализа.

```
hblob = vision.BlobAnalysis('AreaOutputPort', false, ...
'CentroidOutputPort', true, ...
'BoundingBoxOutputPort', true', ...
'MinimumBlobArea', 600, ...
'MaximumBlobArea', 3000, ...
'MaximumCount', 10);
```

Выходной видео поток.

```
hVideoIn = vision.VideoPlayer('Name', 'Final Video', ...
'Position', [100 100 vidInfo.MaxWidth+20 vidInfo.MaxHeight+30]);
```

Инициализация номера кадра.

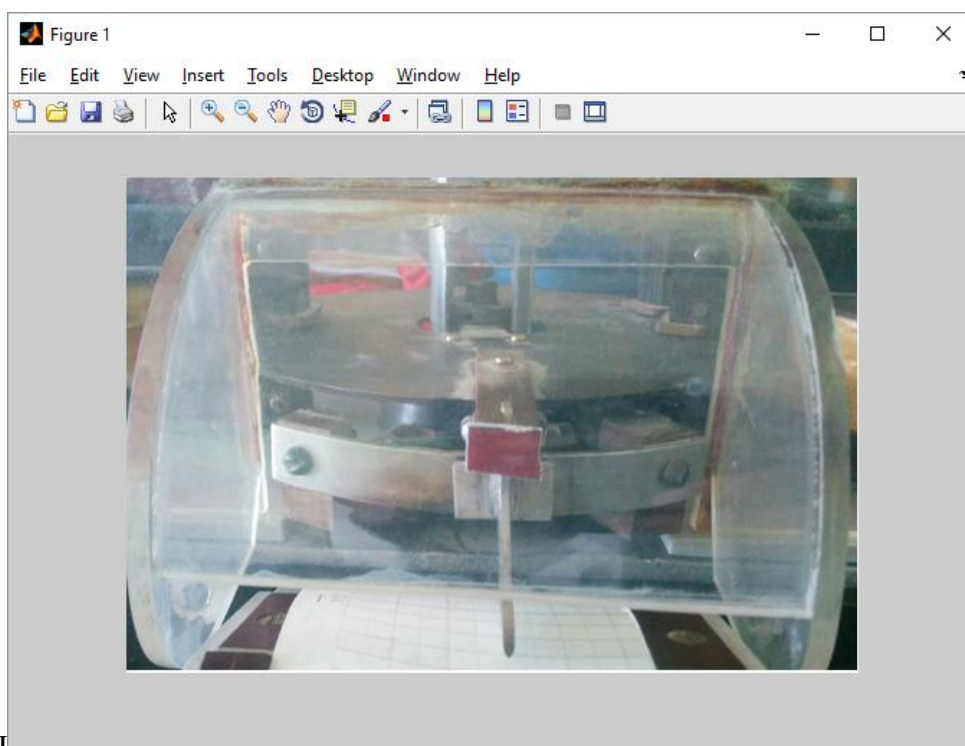
```
nFrame = 0;
```

Распознавание красного цвета в кадре.

1. Получение RGB-кадра из видео (Рисунок 15).

```
rgbFrame = step(vidDevice);
```

```
figure(1),imshow(rgbFrame);
```



Д

Рисунок 15 – Получение RGB – кадра (rgb frame)

2. Извлечение матрицы красного слоя из кадра RGB (Рисунок 16).

```
redFrame = rgbFrame(:,:,1);
```

```
figure(2),imshow(redFrame);
```

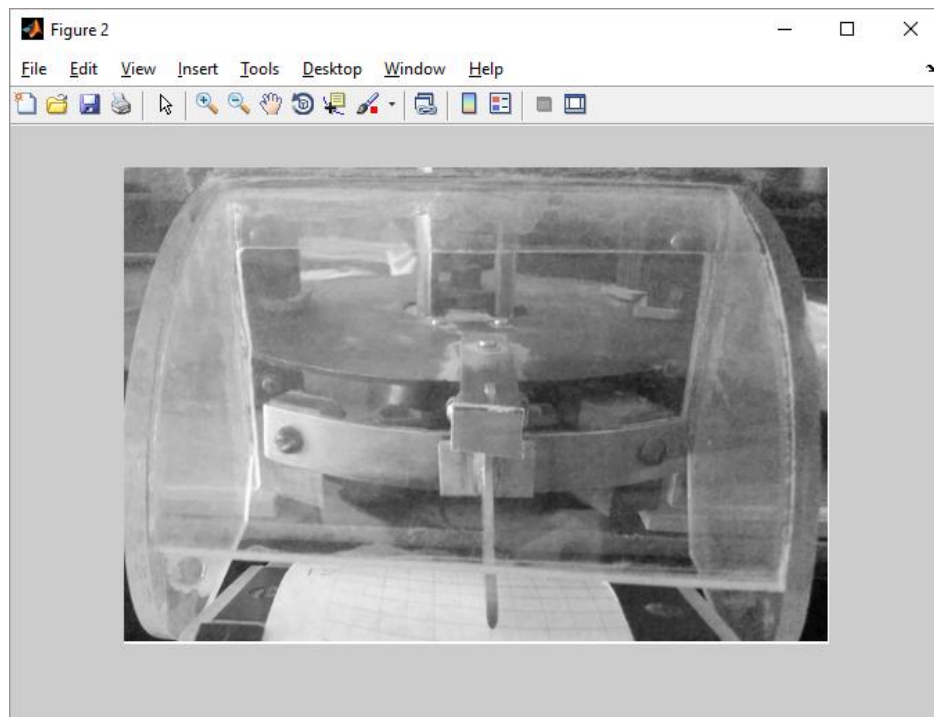



Рисунок 16 – Извлечение матрицы красного слоя из кадра RGB (red frame)

3. Получение серого изображения из кадра RGB (Рисунок 17).

```
grayFrame = rgb2gray(rgbFrame);
```

```
figure(3),imshow(grayFrame);
```

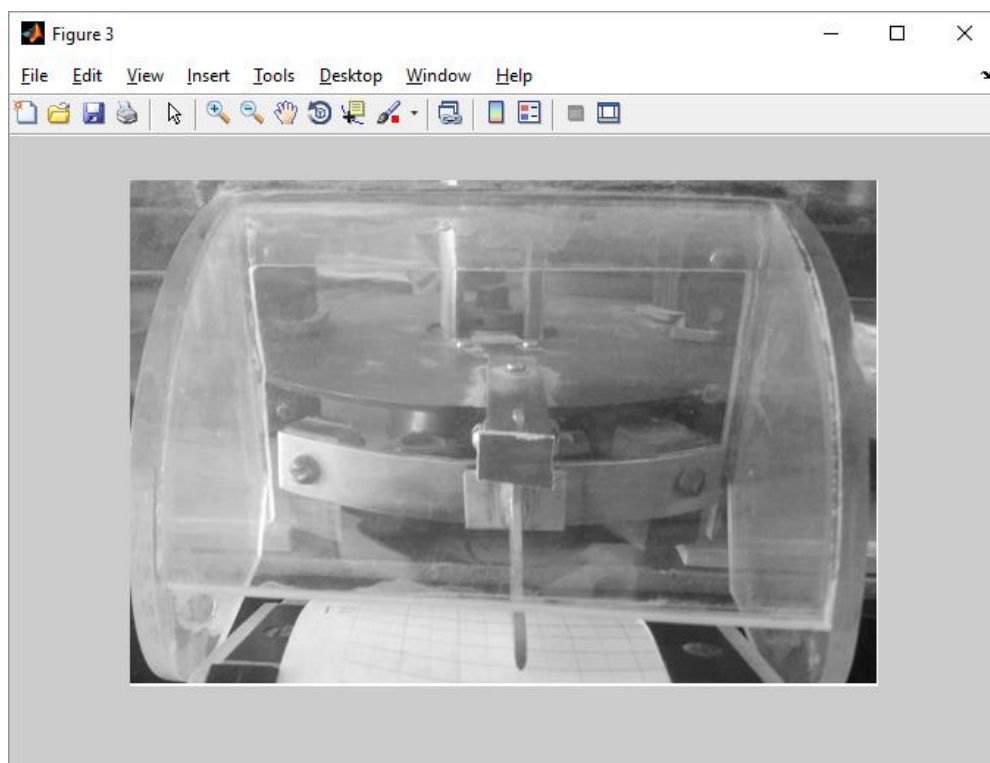


Рисунок 17 – Извлечение матрицы серого слоя кадра RGB (gray frame)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4. Вычитание gray frame из red frame (Рисунок 18).

```
diffFrame = imsubtract(redFrame, grayFrame);
```

```
figure(4),imshow(diffFrame);
```

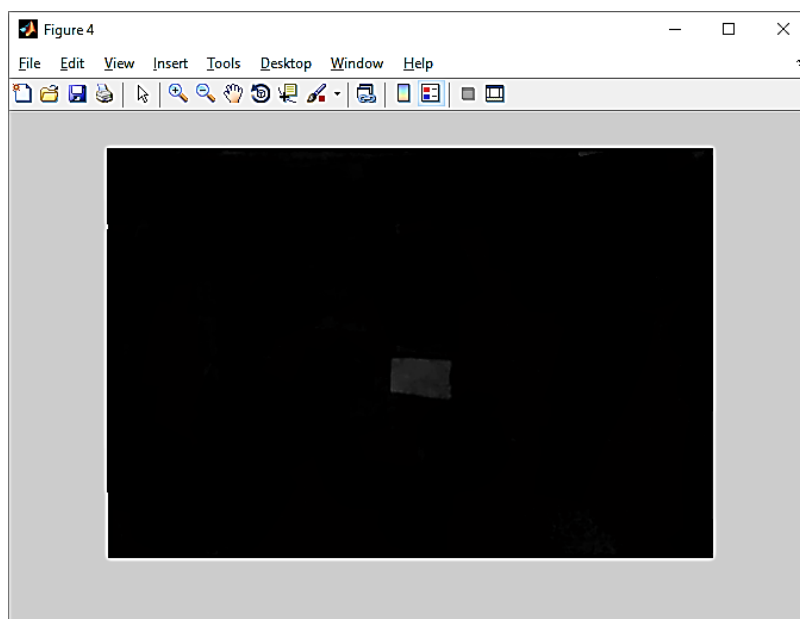


Рисунок 18 – Результат вычитания gray frame из red frame (diffFrame)

5. Фильтрация нежелательных шумов с помощью Median Filter (Рисунок 19).

```
diffFrame = medfilt2(diffFrame, [3 3]);
```

```
figure(5),imshow(diffFrame);
```

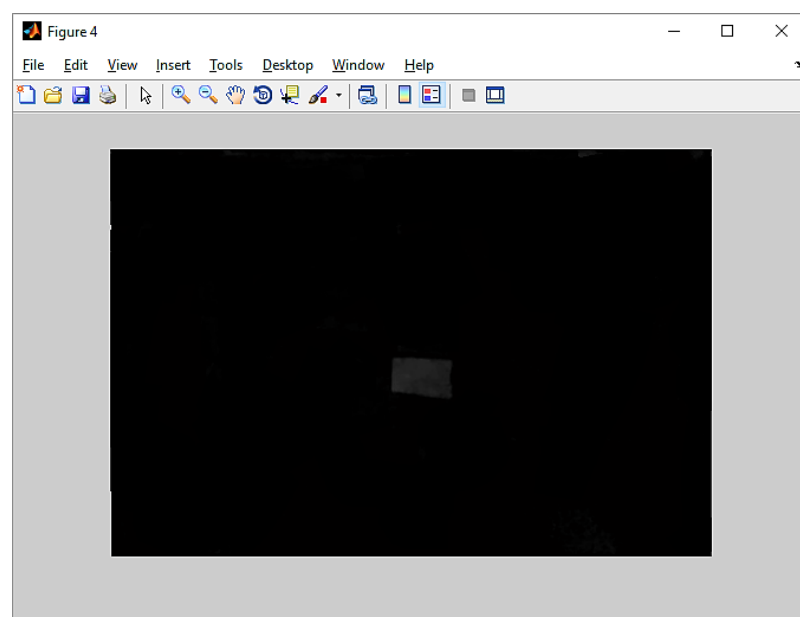


Рисунок 19 – Результат фильтрации изображения (отфильтрованный diffFrame)

6. Теперь необходимо преобразовать `diffFrame` в соответствующее двоичное изображение, используя правильное пороговое значение. Изменяя его значения для различных условий освещения (Рисунок 20).

```
binFrame = im2bw(diffFrame, 0.23);
```

```
figure(6),imshow(binFrame);
```

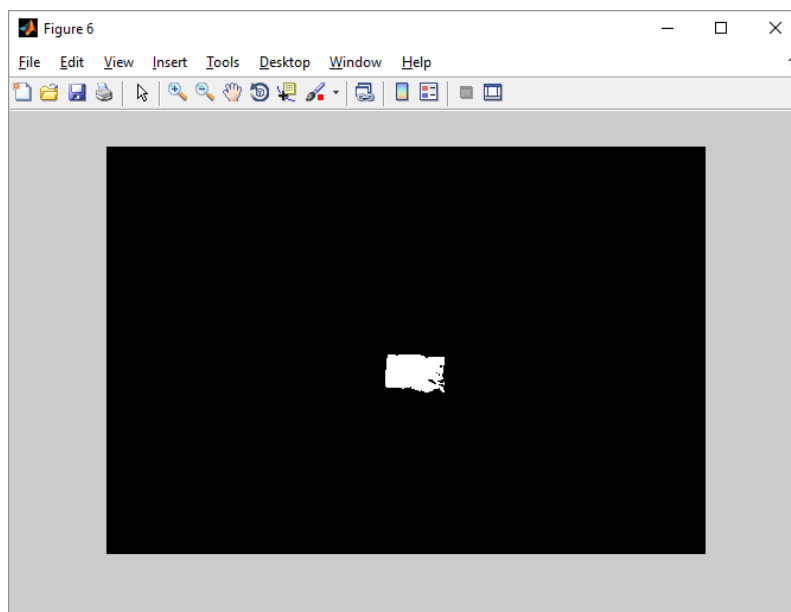


Рисунок 20 – Преобразование `diffFrame` в двоичное изображение (`binFrame`)

Нахождение центра координат объекта.

Получение центроидов и блоков, ограничивающих рамки.

```
[centroid, bbox] = step(hblob, binFrame);
```

3.2 Алгоритм обработки полученной информации

В предыдущем разделе найдена координата центра объекта. Задача сводится к обработке полученной информации. Обработка информации включает в себя построение графиков переходных процессов, а также определение показателей переходного процесса: частоты колебаний, периода колебаний, декремента затухания, логарифмического декремента затухания, длительности переходного процесса. Средой, в которой производится обработка информации, также является программный пакет MATLAB.

Калибровки данных.

Запускается программа слежения Red Object Detection and Tracking. В ручном режиме подвижный диск отклоняется в крайние положения. Угол отклонения $\alpha_{max} = 30^\circ$. Координаты крайних положений x_{max} фиксируются и записывается программой. Разрешение используемой веб-камеры 640x480 пикселей. Угол обзора используемой камеры 60° . Каждому положению пикселя соответствует определенный угол. Определим угол β применив теорему синусов:

$$\frac{L}{\sin \gamma} = \frac{R}{\sin \beta}; \quad (21)$$

$$\beta = \arcsin \frac{R \cdot \sin \gamma}{L}; \quad (22)$$

Для возможности автоматической калибровки, необходимо выразить расстояние оси осциллятора до веб-камеры. Воспользуемся схемой расположения элементов измерительной системы (Рисунок 21):

$$BH = R * \cos \alpha; \quad (23)$$

$$AH = R * \sin \alpha; \quad (24)$$

$$AC = \frac{AH}{\sin \beta}; \quad (25)$$

$$CH = AC * \cos \beta = R * \sin \alpha * \operatorname{ctg} \beta; \quad (26)$$

$$BC = BH + CH; \quad (27)$$

Определим угол отклонения подвижного диска:

$$\frac{BC}{\sin \gamma} = \frac{R}{\sin \beta}; \quad (28)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{BC \cdot \sin \beta}{R}; \quad (29)$$

$$\alpha = 180^\circ - (\beta - \gamma). \quad (30)$$

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

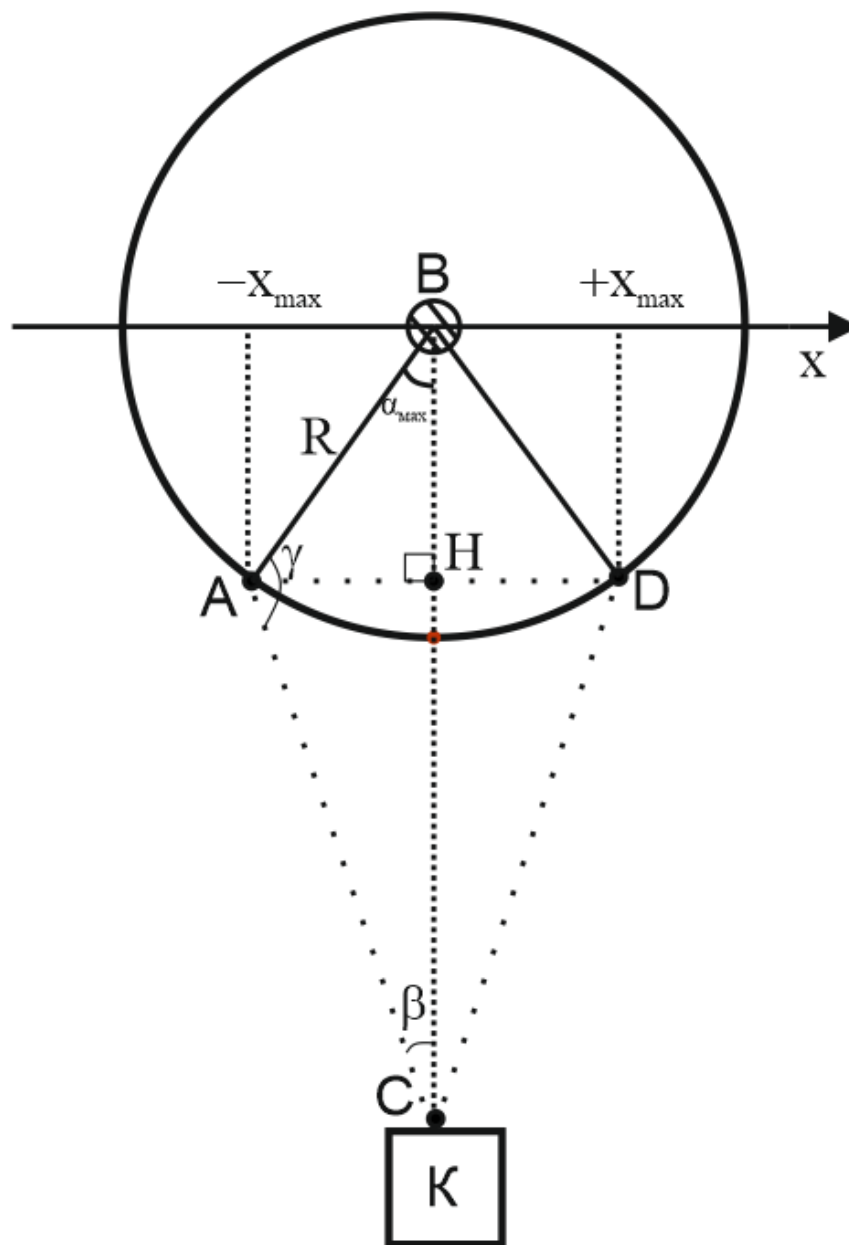


Рисунок 21 – Схема расположения элементов измерительной системы
 α – угол отклонения подвижного диска; x – координата объекта слежения;

BC – расстояние от оси осциллятора до веб-камеры;

R – радиус подвижного диска; K – камера

Построение графика переходных процессов.

Изменение угла отклонения подвижного диска α записывается в виде массива.

Далее строится график переходного процесса.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.3 Разработка диалогового интерфейса лабораторной установки

Разработка диалогового интерфейса лабораторной установки осуществлена при помощи среды GUIDE входящий в состав MAtLAB. Среда GUIDE используется для создания приложений с графическим интерфейсом пользователя. Работа в этой среде достаточно проста - элементы управления (кнопки, раскрывающиеся списки и т.д.) размещаются при помощи мыши, а затем программируются события, которые возникают при обращении пользователя к данным элементам управления [10].

Создание в среде GUIDE заготовки для окна приложения (Рисунок 22):

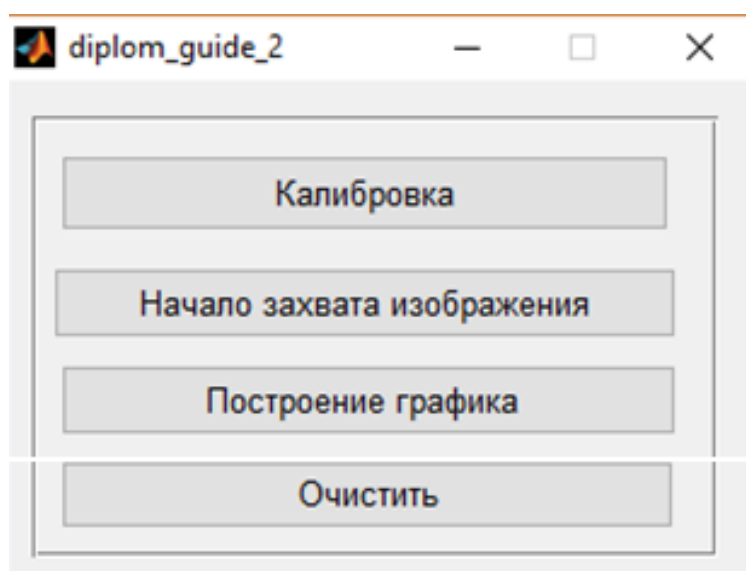


Рисунок 22 - Внешний вид диалогового интерфейса

M-файл программы приведен в ПРИЛОЖЕНИИ А.

Вывод по разделу 3: разработана программа, осуществляющая съем, передачу и обработку полученной информации на ПК, разработан диалоговый интерфейс, соответствующий требованиям технического задания.

4 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

В конструкторскую часть ВКР включена разработка 3D-модели, разработка кронштейна фиксации веб-камеры, модернизация электрической схемы.

4.1 Формирование 3D-модели прототипа

Формирование 3D-модели прототипа предшествует разработке 3D-модели лабораторной установки по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования. 3D-модель прототипа приведена на рисунках 23 и 24:

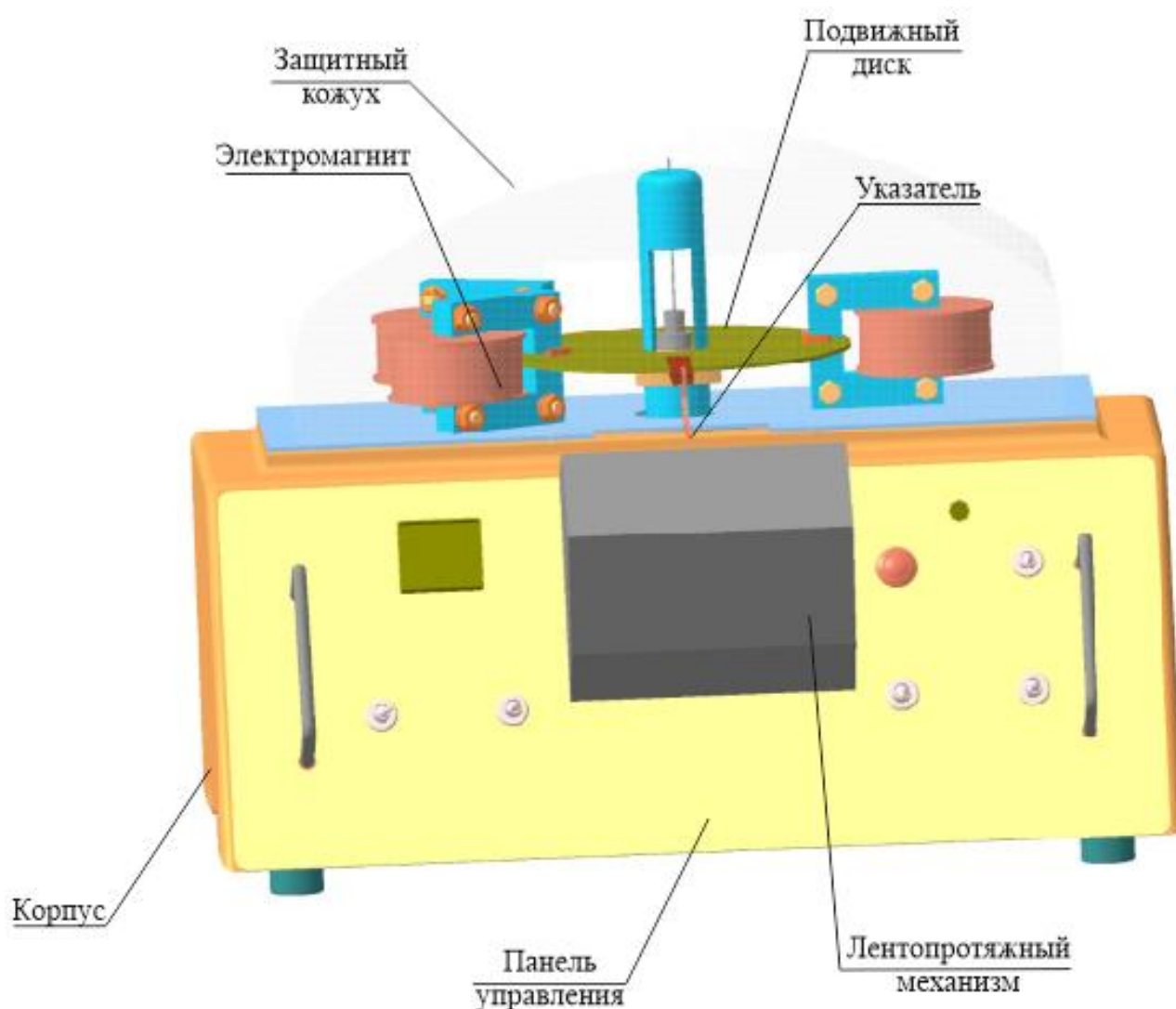


Рисунок 23 - 3D-модель прототипа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

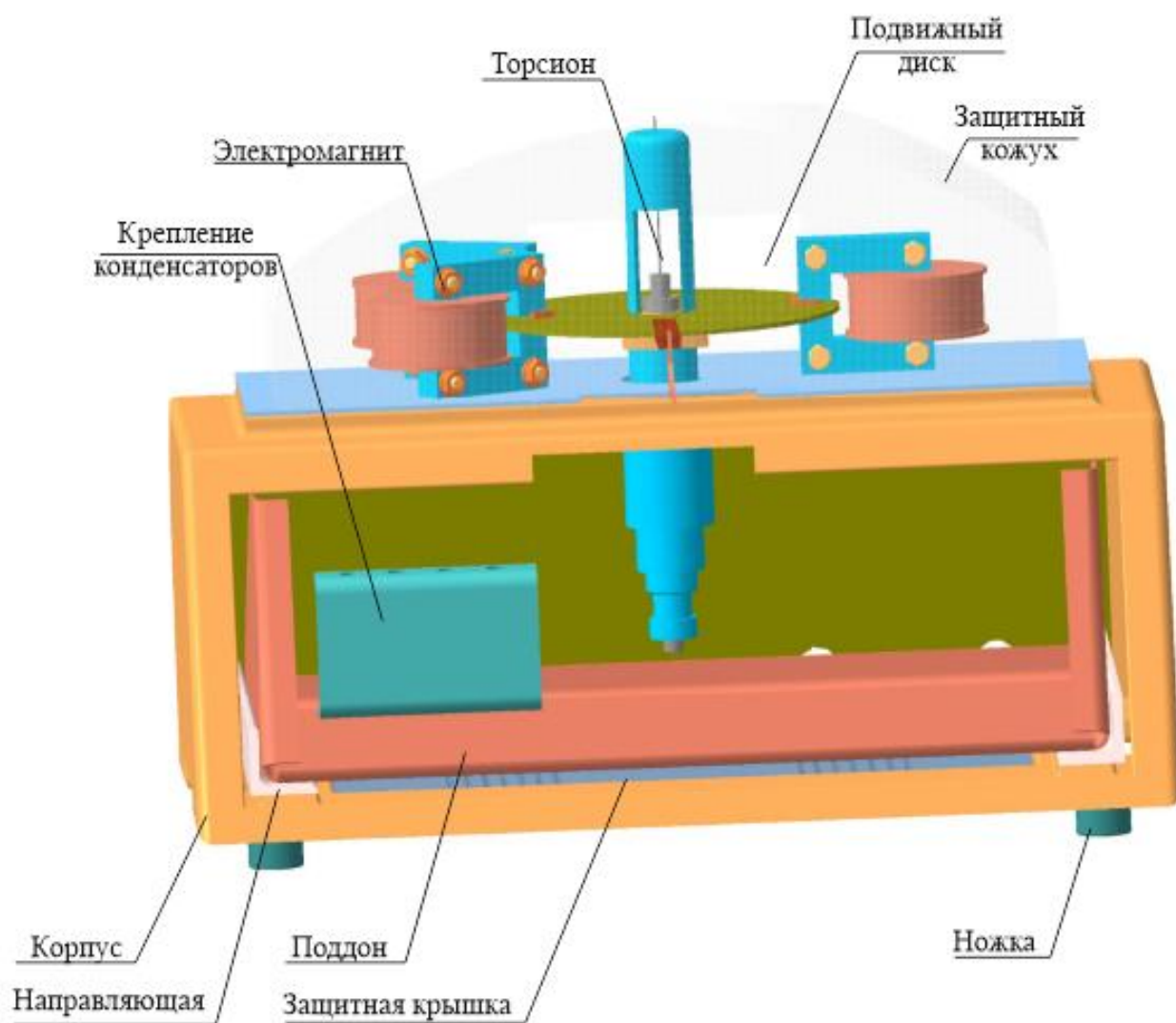


Рисунок 24 – Внутренняя конструкция прототипа

4.2 Разработка кронштейна фиксации веб-камеры

При разработке кронштейна необходимо ознакомиться с техническими характеристиками используемой веб-камеры, поскольку необходимо обеспечить захват всей траектории движения указателя. Ознакомившись с техническими характеристиками веб-камер, выяснено, что производители веб-камер не указывают угол обзора камеры в технических характеристиках. В таком случае, необходимо заложить в конструкцию кронштейна возможность регулирования расстояния от веб-камеры до подвижного диска стенда.

Кронштейн фиксации веб-камеры приведен на рисунке 25:

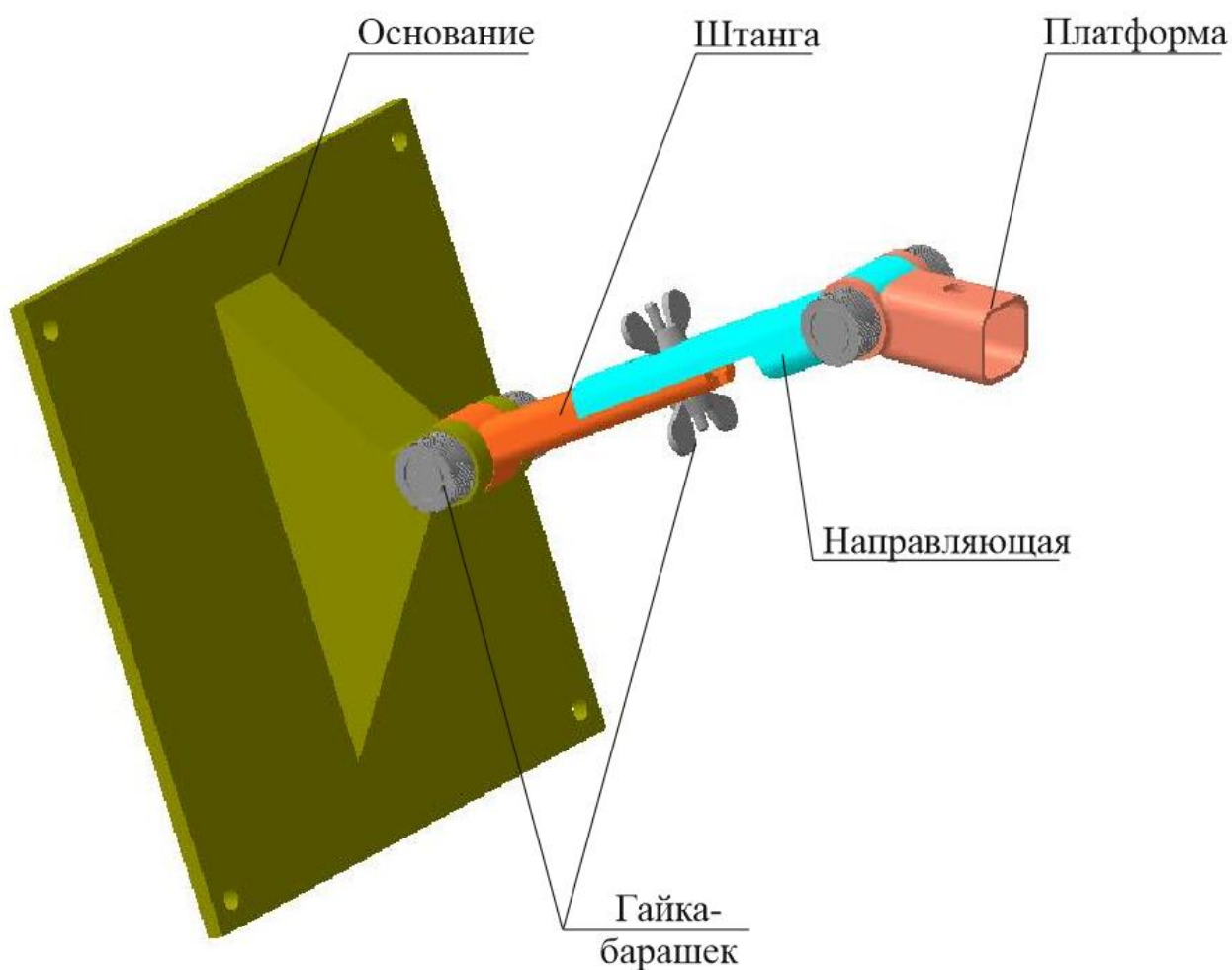


Рисунок 25 – 3д модель кронштейна фиксации веб-камеры:

Кронштейн фиксации веб-камеры устанавливается основанием на посадочные места механизма лентопоротяжки. Направляющая позволяет регулировать расстояние от объекта отслеживания до веб-камеры. При помощи поворотной штанги регулируется положение веб-камеры по вертикали. Использование барашковых зажимов позволяет быстро установить и настроить положения веб-камеры. Крепление непосредственно веб-камеры производится при помощи винта. Конструкторская документация на кронштейн фиксации веб-камеры приведена в ПРИЛОЖЕНИЯХ Б – К.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.3 Разработка электрической схемы

Разработка электрической схемы предполагает устранение из электрической схемы прототипа компонентов, отвечающих за съём информации.

Электрическая схема лабораторной установки приведена на рисунке 26:

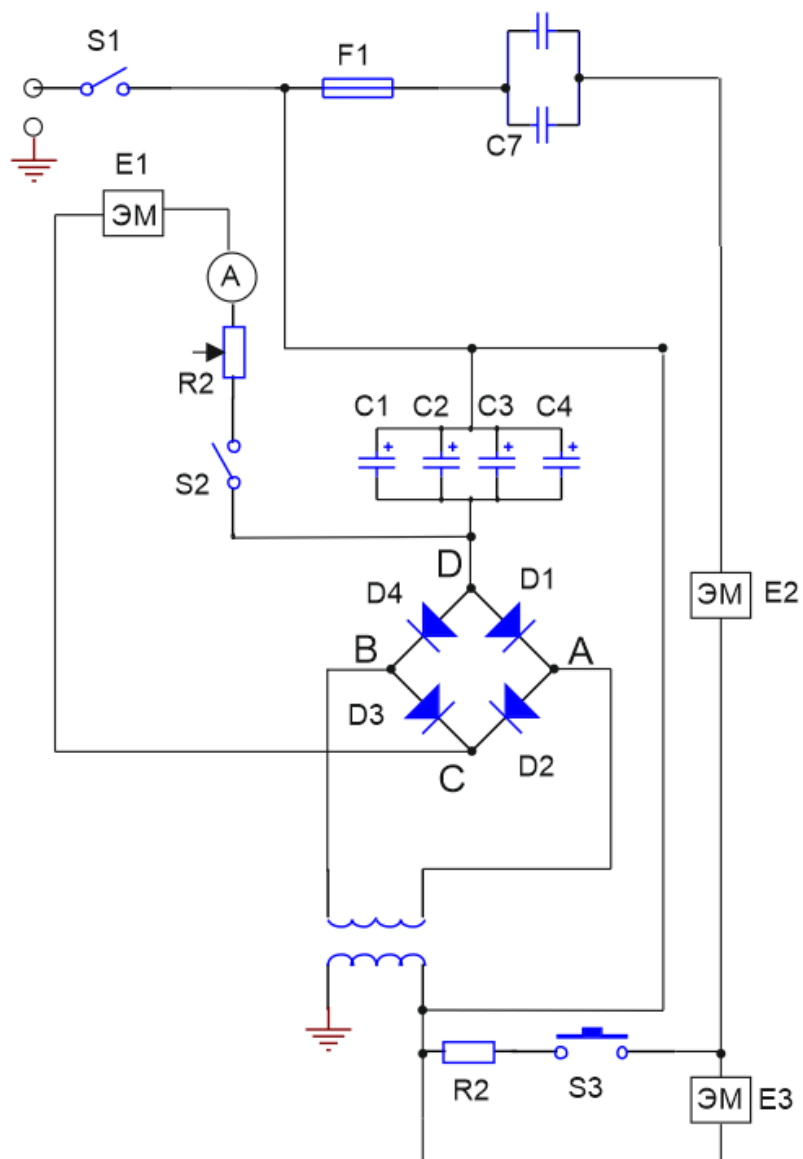


Рисунок 26 – Электрическая схема лабораторной установки

Электрическая схема лабораторной установки соответствует требованиям технического задания.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.4 3D - модель лабораторной установки

Разработанная 3D-модель лабораторной установки приведена на рисунке 27:

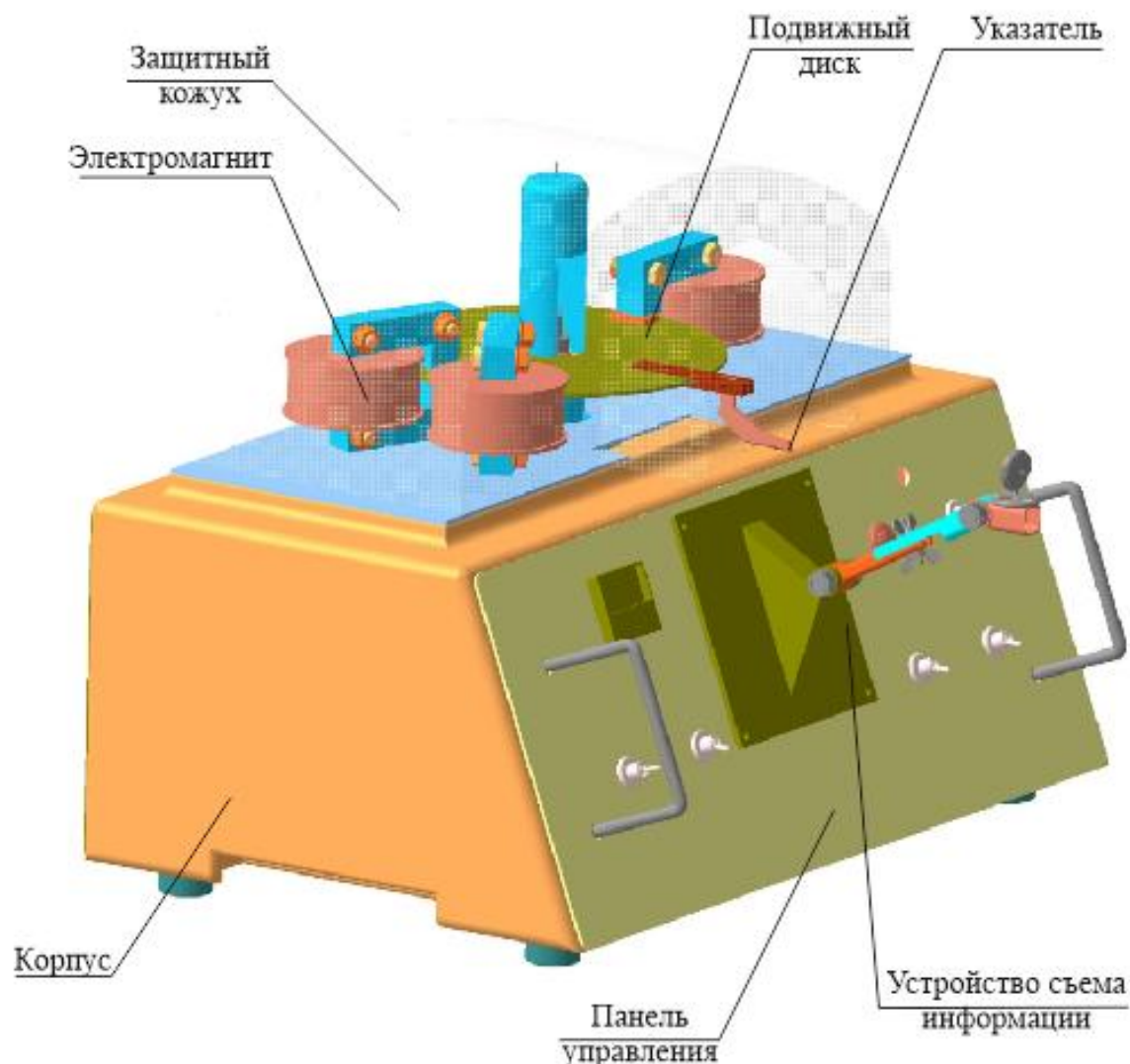


Рисунок 27 - 3D – модель лабораторной установки

4.5 Оценка точности модернизированного узла съема информации

В прототипе, съем информации происходил путем прожига графика переходного процесса на бумаге. Погрешность возникала в связи с неточностью определения координат характерных точек, по которым определяются показатели переходного процесса. Также погрешность возникала в связи с неопределенностью траектории искры (Рисунок 28).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

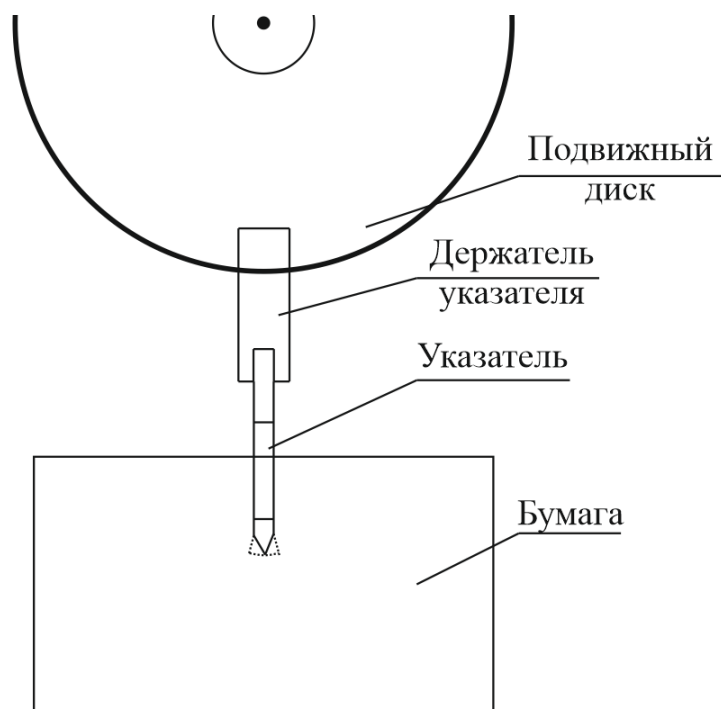


Рисунок 28 – Схема механической части измерительной системы

Пунктиром указан диапазон возможных траекторий искры. Следовательно, погрешность съема информации в прототипе зависит от толщины указателя, а также от траектории выжигающей искры.

Точность модернизированного узла съема информации ограничена соотношением количества пикселей приходящихся на один градус углового размера:

$$P_{xDEG} = \frac{Res}{MaxCam}; \quad (31)$$

где Res – разрешение веб-камеры по горизонтали;
 $MaxCam$ – угол обзора камеры.

Подставляя в (31) числовые значения, получим:

$$P_{xDEG} = \frac{640}{35} \approx 18 \text{ пикс}/^\circ$$

Точность узла съема информации составляет 10 угловых минут, что является очень хорошим показателем.

4.6 Проведение экспериментов на лабораторной установке

Снимем переходные процессы колебательной системы прибора при различном уровне демпфирования и определим следующие показатели переходного процесса:

- 1) частота собственных колебаний ω ;
- 2) декремент затухания ε ;
- 3) логарифмический декремент затухания $\ln \varepsilon$;
- 4) длительность переходного процесса t_{min} ;

Снимем переходные процессы колебательной системы прибора при различном уровне демпфирования системы. Графики переходных функций получены при помощи разработанного диалогового интерфейса (Рисунок 28 – 31).

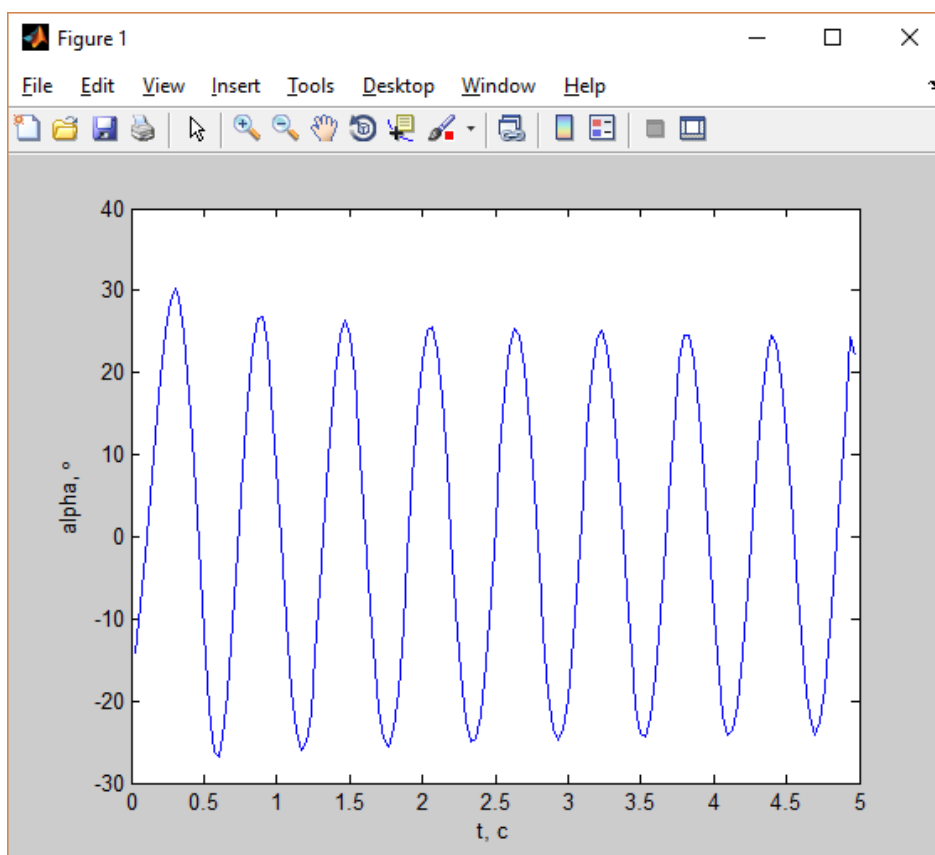


Рисунок 29 – График переходного процесса 1-го опыта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

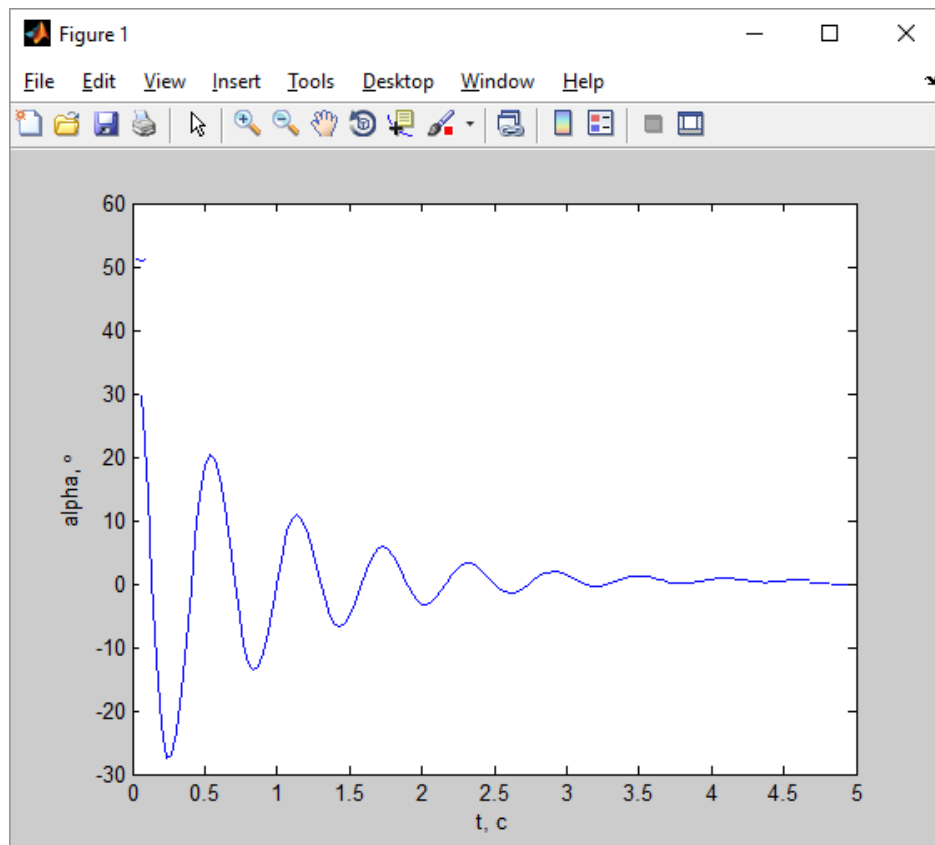


Рисунок 30 – График переходного процесса 2-го опыта

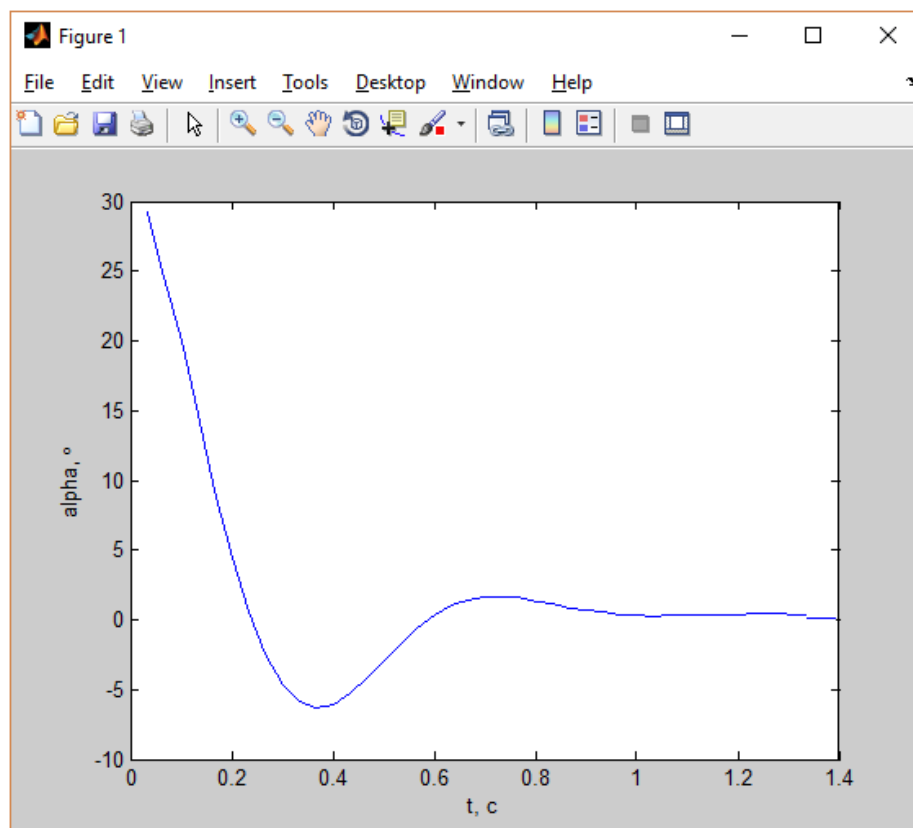


Рисунок 31 – График переходного процесса 3-го опыта

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Определим по соответствующим формулам показатели переходного процесса, полученные в ходе опытов.

Таблица №2 – Показатели переходного процесса

№ Опыта	Круговая частота ω , рад/с	Декремент затухания ε	Длительность переходного процесса t_{min}, c
1	10.77	1.704	30.6
2	10.47	2.134	3.17
3	9.43	3.733	0.85

Выводы по разделу 4: разработана 3D-модель лабораторной установки, разработан кронштейн фиксации лабораторной установки, модернизирована принципиальная электрическая схема стенда. Проведена оценка точности модернизированного узла съема информации. Проведен эксперимент, определены качественные показатели переходного процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы разработана лабораторная установка по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования. Изучен прототип лабораторной установки. Выявлены текущие неисправности, а также узлы, требующие модернизации. Получена математическая модель лабораторной установки по изучению системы магнитоиндукционного демпфирования. Разработана программа осуществляющая съем, передачу и обработку полученной информации на ПК, разработан диалоговый интерфейс, соответствующий требованиям технического задания. Таким образом, цель работы достигнута, задачи – решены.

Данная лабораторная установка может быть использована для практического и теоретического изучения демпфирования в курсе элементов приборных устройств, а также для проведения исследований в рамках курсовых и выпускных квалификационных работ. Выполненная работа имеет практическую ценность и рекомендована для апробации на кафедре ИНИТ.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергеев, С.И. Демпфирование механических колебаний: учебное пособие / С.И. Сергеев. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1959. – 408 с.
2. Фурман, Я.А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений / Я.А. Фурман, А.Н. Юрьев, В.В. Яншин. – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 248 с.
3. Павлидис, Т.М. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: учебное пособие / Т.М. Павлидис. – М.: Изд-во радио и связь, 1986. – 394 с.
4. Гусев, В.Г. Аналоговые измерительные устройства / В.Г. Гусев, А.В. Мулик – Уфа: Изд-во Уфимс. гос. авиац. ун-та, 1996. – 147 с.
5. Березин, И.А. Демпфирующие устройства: учебное пособие / И.А. Березин. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1985. – 35 с.
6. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления: учебное пособие / В.А. Ротач. – 5е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 396 с.
7. Ким, Д. П. Теория автоматического управления: учебное пособие / Д.П. Ким. – М.: Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Ч. 1. - 288 с.
8. Бесекерский, В.А. Теория автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – М.: Изд-во МОСКВА, 1975. – 711с.
9. Сойфер, В.А. Компьютерная обработка изображений: учебное пособие / В.А. Сойфер. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосмич. ун-та, 1996. – Ч. 2. - 141 с.
10. Дьяконов, В.И. МАТЛАВ. Полный самоучитель: учебное пособие / В. И. Дьяконов. – М.: Изд-во ДМК Пресс, 2012. – 768с.
11. Прэтт, У.М. Цифровая обработка изображений: учебное пособие / У.М. Прэтт. – М.: Изд-во МИР 1992. – 788 с.
12. Ярославский, Л.П. Введение в цифровую обработку изображений: учебное пособие / Л.П. Ярославский – М.: Изд-во Сов. Радио, 1979. – 312 с.
13. Гонсалес, Р. О. Цифровая обработка изображений в среде Matlab / Р.О. Гонсалес, Р.М. Вудс, С.К. Эддинс – М.: Изд-во ТЕХНОСФЕРА, 2006. – 618 с.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

14. Ефремов, Г.В. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем / Г.В. Ефремов, С.И. Ньюкалова – М.: Изд-во ТНТ, 2014. – 256 с.

15. Орлов, П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие / П.И. Орлов. – М.: Изд-во МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1988. – Ч. 1 – 554с.

16. Детали и узлы гироскопических приборов: Атлас конструкций / Г.А. Сломьянский, А.В. Агапов, У.М. Родионов, С.И. Румянцев, А.Д. Тимофеева – М.: Изд-во МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1975.– 363с.

17. ГОСТ 2.702-2011 Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Правила выполнения электрических схем. Введен 01.01.2012 – М.: Изд-во стандартов, 2012 – 26 с.

18. СТО ЮУрГУ 21-2008 Стандарт организации. Система управления качеством образовательных процессов. Курсовая и выпускная квалификационная работа. Требования к содержанию и оформлению. Введен 01.09.2008 – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56с.

19. ГОСТ 2.109-73 Межгосударственный стандарт. Основные требования к чертежам. Введен 0.1.07.1974 – М.: Изд-во стандартов, 2002 – 46 с.

20. ГОСТ 2.106-96 Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Введен 12.04.1996 – М.: Изд-во стандартов, 1997 – 27 с.

					ЮУрГУ – 12.03.01.2017.1382.ВКР	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

М-файл программы диалогового интерфейса

```
function varargout = diplom_guide_2(varargin)
% DIPLOM_GUIDE_2 MATLAB code for diplom_guide_2.fig
% DIPLOM_GUIDE_2, by itself, creates a new DIPLOM_GUIDE_2
or raises the existing
% Singleton*.
% H = DIPLOM_GUIDE_2 returns the handle to a new
DIPLOM_GUIDE_2 or the handle to
%The existing singleton*.

%DIPLOM_GUIDE_2('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%function named CALLBACK in DIPLOM_GUIDE_2.M with the given
input arguments.

%DIPLOM_GUIDE_2('Property','Value',...) creates a new
DIPLOM_GUIDE_2 or raises the
%existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
%applied to the GUI before diplom_guide_2_OpeningFcn gets
called. An
% unrecognized property name or invalid value makes
property application
% stop. All inputs are passed to diplom_guide_2_OpeningFcn
via varargin.

% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
allows only one
% instance to run (singleton)".
```

```
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
% Edit the above text to modify the response to help
diplom_guide_2
% Last Modified by GUIDE v2.5 15-May-2017 19:00:01
% Begin initialization code - DO NOT EDIT

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @diplom_guide_2_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @diplom_guide_2_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if narginout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
% --- Executes just before diplom_guide_2 is made visible.
function diplom_guide_2_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
```

```
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to diplom_guide_2 (see
VARARGIN)
    % Choose default command line output for diplom_guide_2
handles.output = hObject;
    % Update handles structure
guidata(hObject, handles);
    % UIWAIT makes diplom_guide_2 wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
    % --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = diplom_guide_2_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% Calibration();
% Get default command line output from handles structure
```

```
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
GetData();

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
Calibration();

% --- Executes on button press in pushbutton6.
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
PlotData();
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton7.
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
close(1);

function GetData()

A = load('info.txt');
PxDeg=A(:,1);
L=A(:,2);
R=A(:,3);
fitab = fopen('result.txt', 'w+');
redThresh = 0.24; % Установка порогового значения для
обнаружения красного цвета
vidDevice = imaq.VideoDevice('winvideo', 1, 'YUY2_640x480',
... % Получение входного видео-потока
'ROI', [1 1 640 480], ...
'ReturnedColorSpace', 'rgb');
vidInfo = imaqhwinfo(vidDevice); % Получение информации о
доступных аппаратных средствах получения изображений
hblob = vision.BlobAnalysis('AreaOutputPort', false, ... %
Настройка управления блочным анализом
'CentroidOutputPort', true, ...
'BoundingBoxOutputPort', true', ...
```

```
'MinimumBlobArea', 600, ...
```

Продолжение приложения А

```
'MaximumBlobArea', 3000, ...
```

```
'MaximumCount', 10);
```

```
hVideoIn = vision.VideoPlayer('Name', 'Final Video', ... %
```

```
Выходной видео поток
```

```
'Position', [100 100 vidInfo.MaxWidth+20
```

```
vidInfo.MaxHeight+30]);
```

```
figure(1)
```

```
hold on
```

```
%% Обработка цикла
```

```
nFrame = 1;
```

```
while(nFrame < 300)
```

```
rgbFrame = step(vidDevice); % Получение RGB-кадра из видео-  
потока
```

```
rgbFrame = flipdim(rgbFrame,2); % Извлечение матрицы  
красного слоя из кадра RGB
```

```
diffFrameRed = imsubtract(rgbFrame(:,:,1),
```

```
rgb2gray(rgbFrame)); % Вычитание gray frame из red frame
```

```
diffFrameRed = medfilt2(diffFrameRed, [3 3]); % Фильтрация  
нежелательных шумов с помощью медианного фильтра
```

```
binFrameRed = im2bw(diffFrameRed, redThresh); %
```

```
Преобразование difframe в соответствующее двоичное  
изображение
```

```
[centroidRed, bboxRed] = step(hblob, binFrameRed); %
```

```
Получение центроидов и блоков, ограничивающих рамки
```



```
if centroidRed > 0
    Xcoord(nFrame) = centroidRed(1,1);
    B(nFrame) = (Xcoord(nFrame)-320)/PxDeg;
    G = 57.296*asin(L*sind(B(nFrame))/R);
    A(nFrame) = - (B(nFrame) + G);
    nFrame = nFrame+1;
end
end

for nFrame=1:299
    fprintf(fitab, '%10.4f\t%10.4f\t%10.4f\n', [nFrame
A(nFrame) Xcoord(nFrame)]);
end

fclose(fitab);
%% Очистка памяти
release(hVideoIn); % Очистка всей памяти используемой в
буфере
release(vidDevice); % очистка входного видео-потока
clear all;
clc;
function Calibration()
redThresh = 0.24; % Установка порогового значения для
обнаружения красного цвета

vidDevice = imaq.VideoDevice('winvideo', 1,
'YUY2_640x480', ... %% Получение входного видео-потока
'ROI', [1 1 640 480], ...
```

```
'ReturnedColorSpace', 'rgb');
vidInfo = imaqhwinfo(vidDevice); % Получение информации о
доступных аппаратных средствах получения изображений
hblob = vision.BlobAnalysis('AreaOutputPort', false, ... %
Настройка управления блочным анализом
'CentroidOutputPort', true, ...
'BoundingBoxOutputPort', true', ...
'MinimumBlobArea', 600, ...
'MaximumBlobArea', 3000, ...
'MaximumCount', 10);

hVideoIn = vision.VideoPlayer('Name', 'Final Video', ... %
Выходной видео поток
'Position', [100 100 vidInfo.MaxWidth+20
vidInfo.MaxHeight+30]);

hold on
fitab = fopen('info.txt', 'w+');

%% Калибровка камеры
nFrame = 1; % Инициализация номера кадра
while(nFrame < 60)
rgbFrame = step(vidDevice); % Получение RGB-кадра из видео-
потока
rgb2gray(rgbFrame)); % Вычитание gray frame из red frame
diffFrameRed = medfilt2(diffFrameRed, [3 3]); % Фильтрация
нежелательных шумов с помощью медианного фильтра
```

```

binFrameRed = im2bw(diffFrameRed, redThresh); %
Преобразование difframe в соответствующее двоичное
изображение
[centroidRed, bboxRed] = step(hblob, binFrameRed); %
Получение центроидов и блоков, ограничивающих рамки

if centroidRed > 0
    Xcoord(nFrame) = centroidRed(1,1);
    nFrame = nFrame+1
end

end

R = 0.1100; %радиус стрелки
MaxCam = 35; %угол обзора камеры
PxDeg = 640/MaxCam; %кол-во пикселей на 1 градус

Xmin = min(Xcoord);
Xmax = max(Xcoord);

B = (320 - Xmin)/PxDeg; %геометрические соотношения
L = R*cos(A/57.296) +
R*sin(A/57.296)*cos(B/57.296)/sin(B/57.296); %расстояние от
камеры до оси осциллятора
fprintf(fitab, '%10.4f\t%10.4f\t%10.4f\n', [PxDeg L R]);
fclose(fitab);

```

```
%% Чистка памяти
release(hVideoIn); % Очистка всей памяти используемой в
буфере
release(vidDevice); % очистка входного видео-потока
clear all;
clc;
end

function PlotData()

res = load('result.txt');
fitab = fopen('result.txt','w+');
Xcoord = res(:,3);
PxDeg = 640/35;
L = 0.4180;
R = 0.1100;

nFrame = 1;
while(nFrame < 150)

    B(nFrame) = (Xcoord(nFrame)-320)/PxDeg;
    G = 57.296*asin(L*sind(B(nFrame))/R);
    A(nFrame) = - (B(nFrame) + G);
    fprintf(fitab,'%10.4f\t%10.4f\t%10.4f\n',[nFrame
B(nFrame) Xcoord(nFrame)]);
    C(nFrame)=nFrame/30;
    nFrame = nFrame+1;
end
```

```
fclose(fitab);  
plot(C,B);  
ylabel('alpha, \circ')  
xlabel('t, c')  
end
```

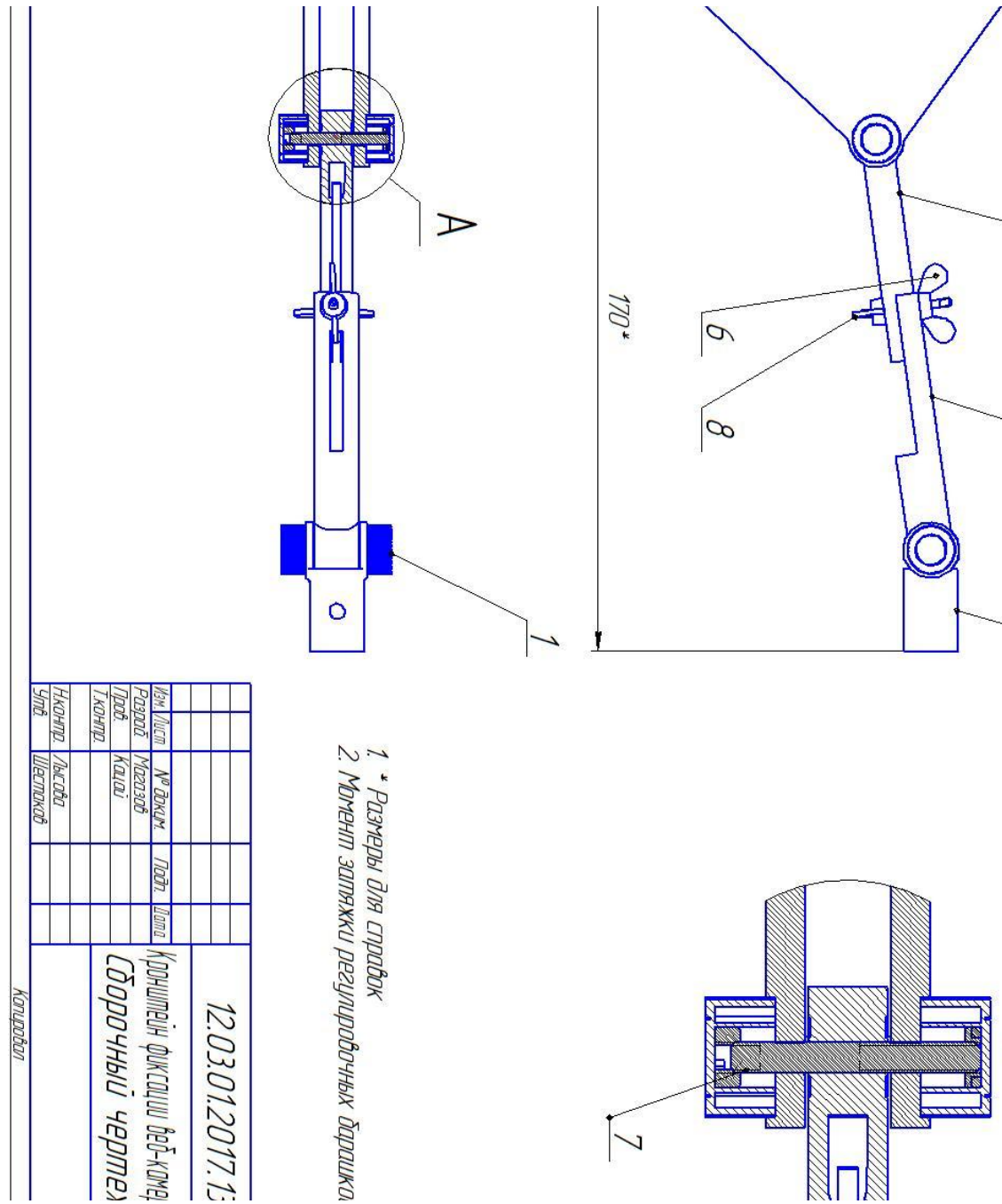
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Спецификация кронштейна фиксации веб-камеры

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Стр. №	A3			12.03.01.2017.1382.00.00 СБ	Сборочный чертеж			
					Документация			
					Сборочные единицы			
	A4	1		12.03.01.2017.1382.01.00 СБ	Фиксатор	4		
					Детали			
	A4	2		12.03.01.2017.1382.00.01	Основание	1		
	A4	3		12.03.01.2017.1382.00.02	Поворотная штанга	1		
	A4	4		12.03.01.2017.1382.00.03	Направляющая	1		
	A4	5		12.03.01.2017.1382.00.04	Поворотная платформа	1		
					Стандартные изделия			
Подп. и дата		6			Гайка М3-5Н6Н ГОСТ 3032-76	2		
		7			Шпилька М3-6дх22 ГОСТ 22032-76	2		
		8			Шпилька М3-6дх220 ГОСТ 22032-76	1		
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.	Изм.	Лист			12.03.01.2017.1382.00.00			
	Разраб.	Магазов	№ докум.		Кронштейн фиксации веб-камеры	Лист	Лист	Листов
	Пров.	Кацай	Подп.					1
	Н.контр.	Лысова	Дата		ЮУрГУ Кафедра ИНИТ			
Утв.	Шестаков			Копировал				
					Формат А4			

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Сборочный чертеж кронштейна фиксации веб-камеры



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Спецификация элемента фиксации

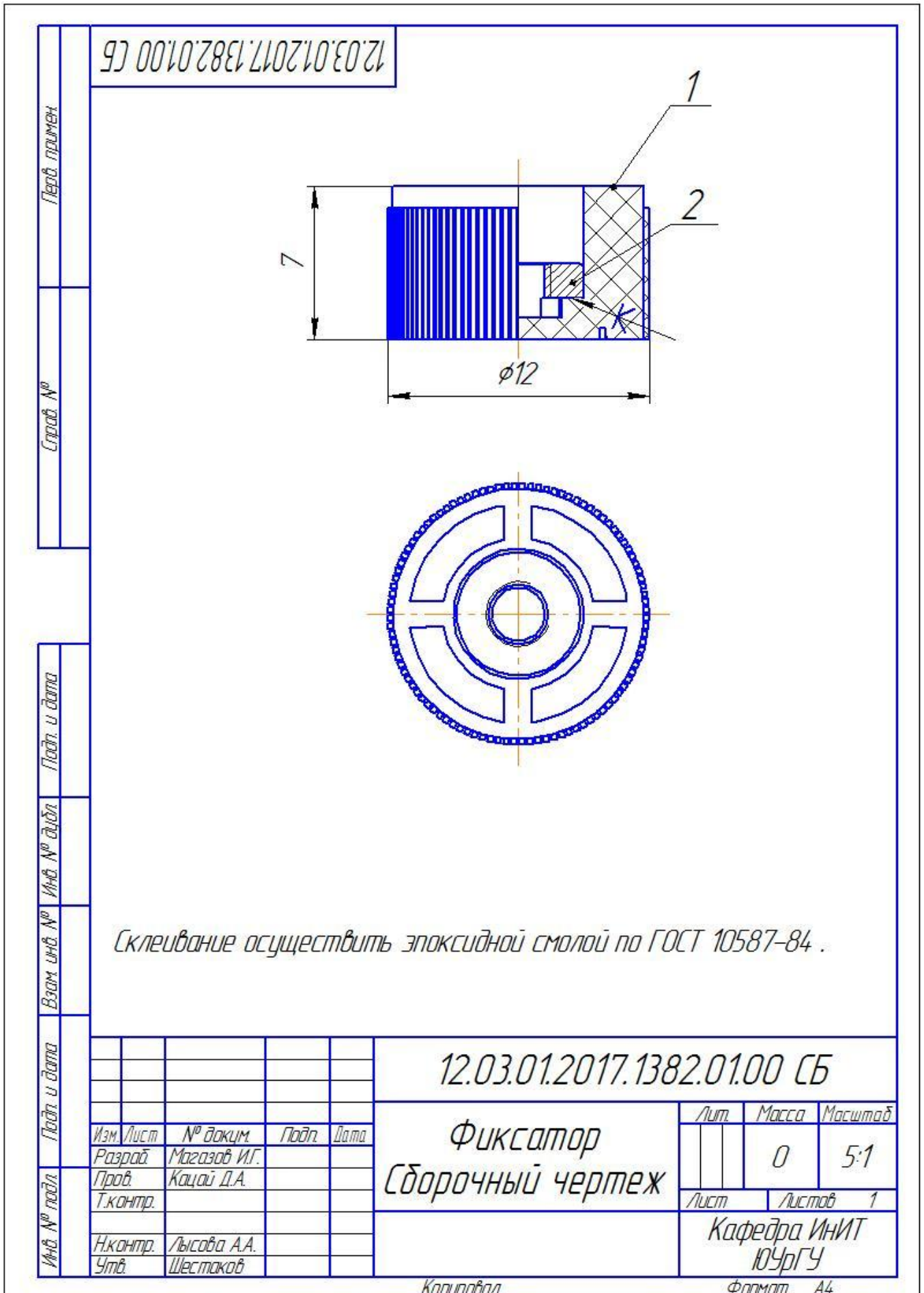
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A4			12.03.01.2017.1382.01.00 СБ	<i>Сборочный чертеж</i>		
<i>Детали</i>						
A4	1		12.03.01.2017.1382.01.01	Барашек	1	
<i>Стандартные изделия</i>						
				Гайка М3-6Н ГОСТ 106570-80	1	
12.03.01.2017.1382.01.00						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Магазов				Лист	Листов
Проб.	Кацай					1
Н.контр.	Лысова				ЮУрГУ ИНИТ	
Утв.	Шестаков					

Копировал

Формат А4

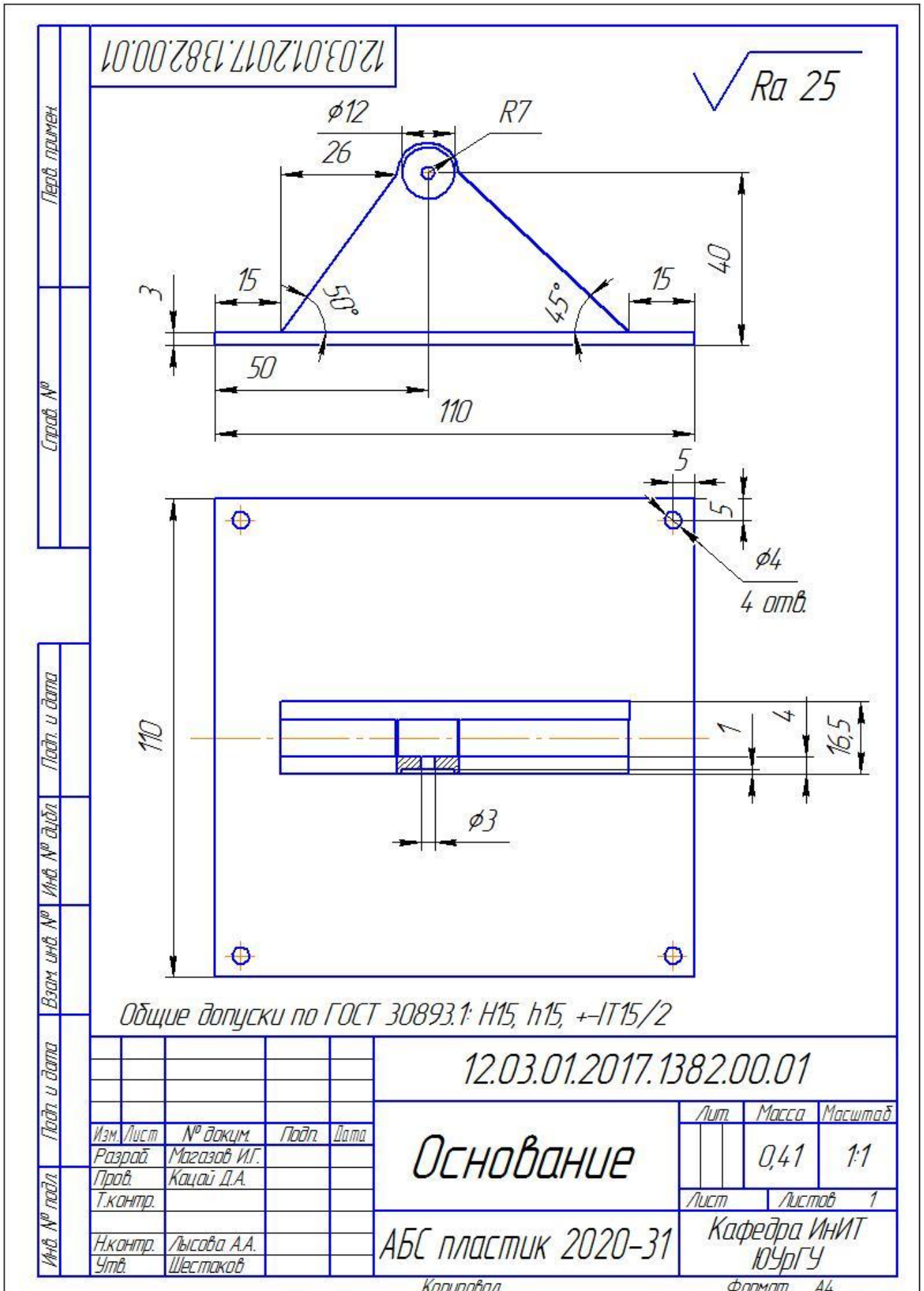
ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Сборочный чертеж фиксатора



ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Рабочий чертеж основания



12.03.01.2017.1382.00.01

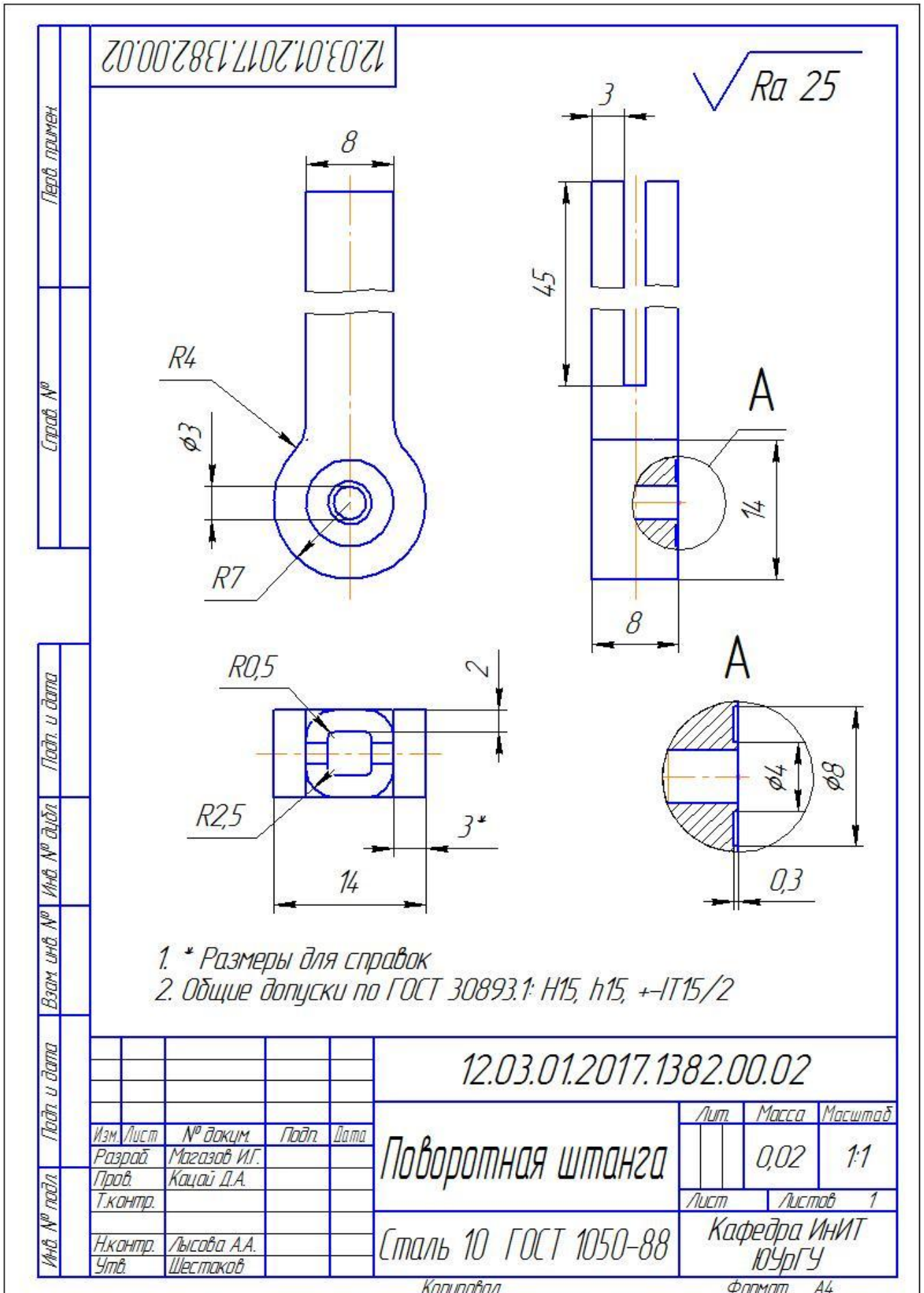
Перв. примен.	Стр. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.
---------------	--------	--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

12.03.01.2017.1382.00.01		
Основание	Лист	Масштаб
	0,41	1:1
Лист		Листов 1
АБС пластик 2020-31		Кафедра ИНИТ ЮУрГУ
Копировал		Формат А4

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Магазов И.Г.		
Проб.		Кацай Д.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.		Шестаков		

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

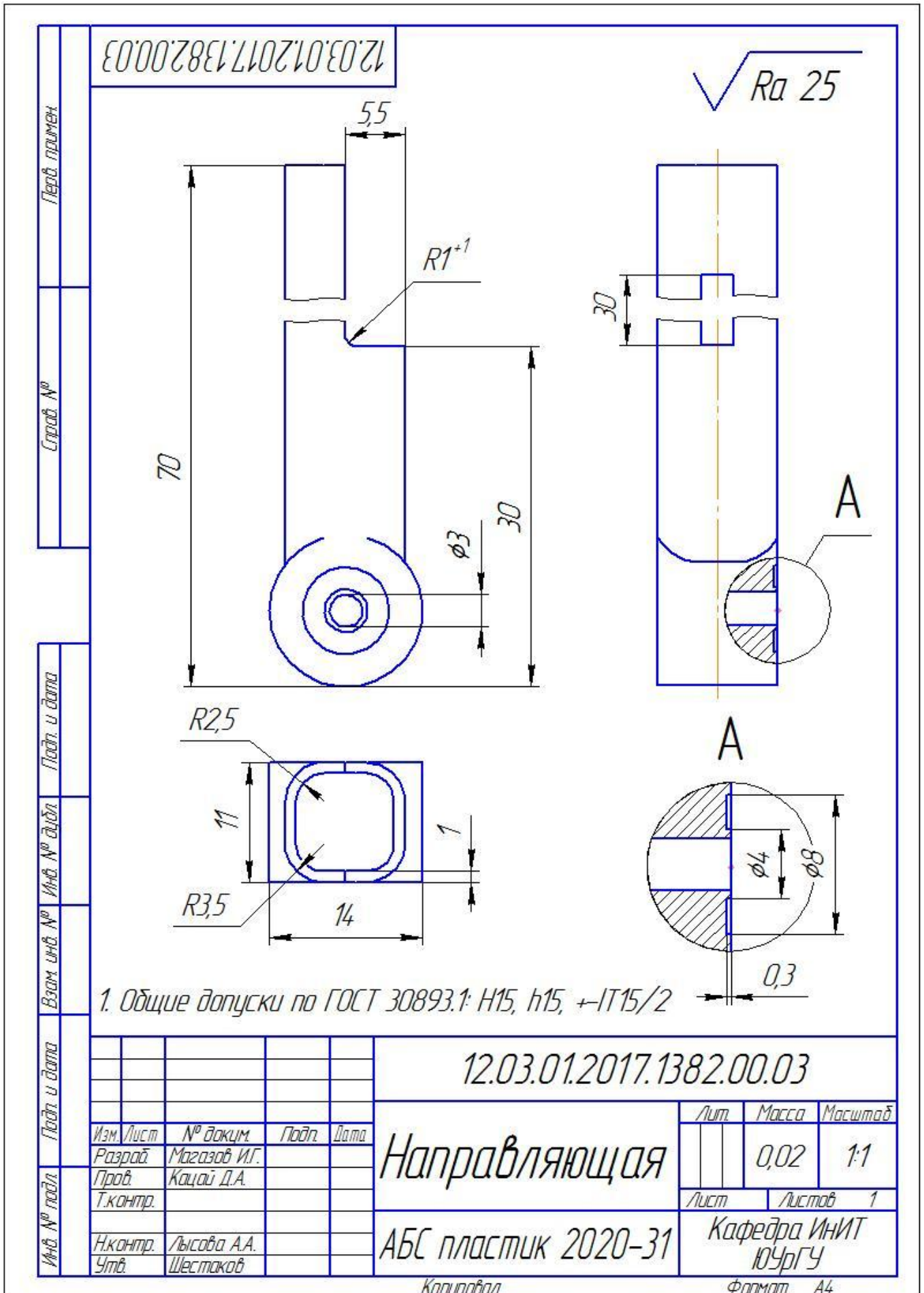
Рабочий чертеж поворотной штанги



1. * Размеры для справок
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H15, h15, ±IT15/2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Рабочий чертеж направляющей



12.03.01.2017.1382.00.03

Перв. примен.
Стр. №

Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам инв. №

Подп. и дата
Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Магазов И.Г.		
Пробв.		Кацай Д.А.		
Т.контр.				
Н.контр.		Лысова А.А.		
Утв.		Шестаков		

12.03.01.2017.1382.00.03

Направляющая

АБС пластик 2020-31

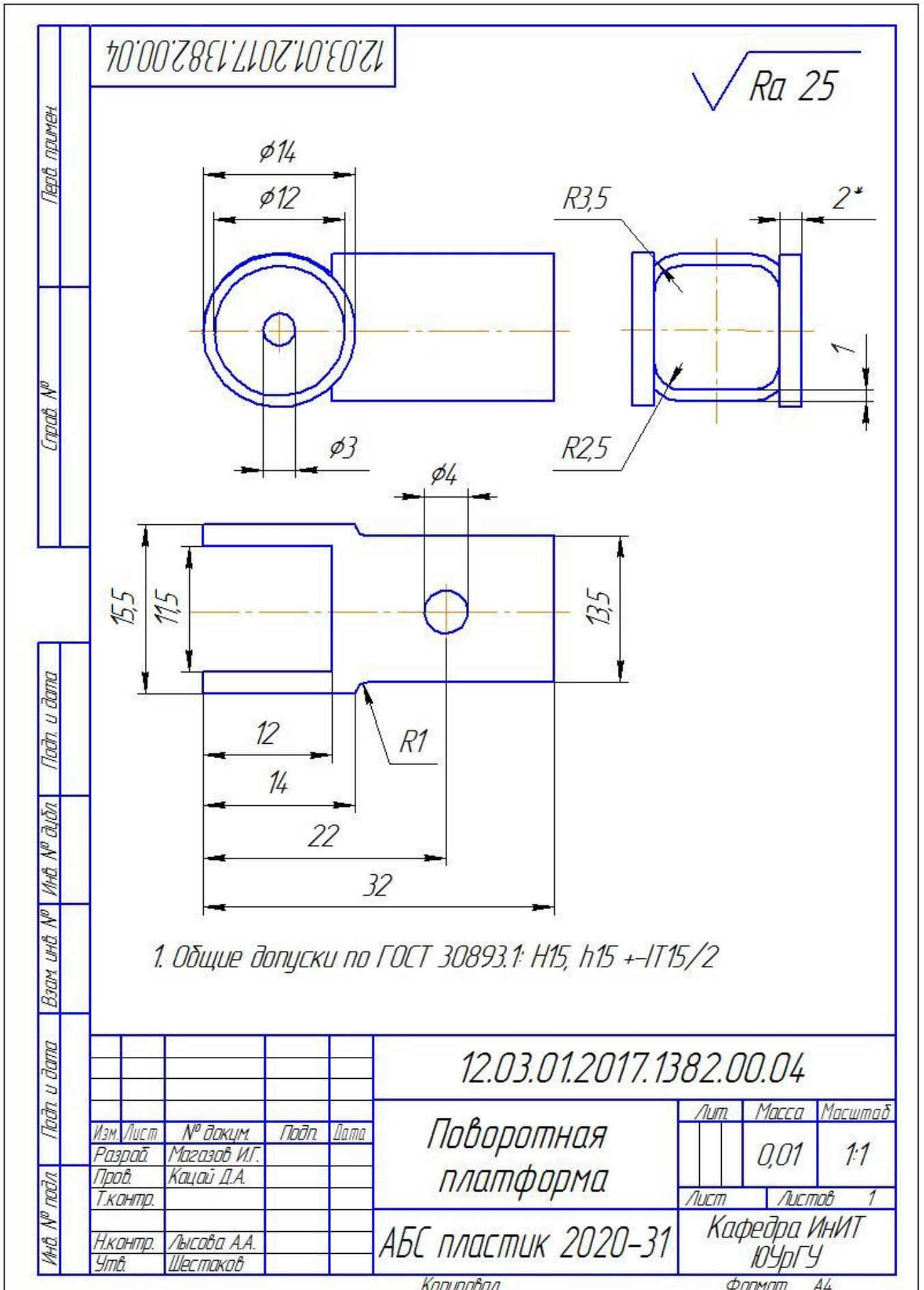
Лист	Масса	Масштаб
	0,02	1:1
Лист	Листов 1	
Кафедра ИНИТ ЮУрГУ		

Копировал

Формат А4

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Рабочий чертеж поворотной платформы



ПРИЛОЖЕНИЕ К

Рабочий чертеж барашка

