

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ”

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

«СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БИМОРФНЫМ ПЬЕЗОАКТИУАТОРОМ»

Автор Акишина Виолетта Андреевна _____
(Фамилия, Имя, Отчество) (Подпись)

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 _____

Квалификация бакалавр _____
(бакалавр, инженер, магистр)

Руководитель Бойков В.И., доцент, к.т.н _____
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

К защите допустить

Зав. кафедрой Бобцов А.А., профессор, д.т.н. _____
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

“ ” _____ 20 ____ г.

Санкт-Петербург, 2017 г.

Студент Акишина В.А. Группа Р3442 Кафедра СУиИ Факультет СУиР
(ФИО)

Направленность (профиль), специализация Управление в технических системах

Консультант(ы):

а) _____
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

б) _____
(Фамилия, И., О., ученое звание, степень) (Подпись)

Квалификационная работа выполнена с оценкой _____

Дата защиты “ ____ ” _____ 20 ____ г.

Секретарь ГЭК _____

Листов хранения _____

Демонстрационных материалов/Чертежей хранения _____

Содержание

Введение.....	5
1 Обзор существующих технических решений	7
1.1 Решения от компании «Physik Instrumente» (Германия).....	7
1.2 Решения от компании «Евротек Дженерал» (Россия).....	9
1.3 Решения от компании «Элпа» (Россия).....	11
1.4 Решения от компании «Cedrat Technologies» (Франция).....	14
1.5 Вывод по итогам обзора существующих технических решений	17
2 Математическая модель пьезокерамического исполнительного устройства	18
3 Разработка функциональной электрической схемы системы управления биморфным пьезоактюатором	23
4 Разработка структурной электрической схемы системы управления биморфным пьезоактюатором	25
5 Синтез регулятора системы автоматического управления.....	26
6 Учет особенностей цифровой реализации регулятора. Исследование динамики автоматической системы	32
7 Разработка алгоритма управления.....	34
8 Разработка элементов технической реализации системы управления	37
8.1 Микроконтроллер	37
8.2 Высоковольтный усилитель.....	38
8.3 Преобразователь напряжения	38
8.4 Датчик положения.....	39
8.5 Усилитель.....	41
Заключение	42
Список использованных источников	43

Перв. примен.		Справ. №		Подп. И дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. И дата		Инв. № подл.																		
<div style="font-size: 1.2em; font-weight: bold; margin-bottom: 10px;">КСЧИ.101.Р3442.001 ПЗ</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Лит</td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Изм.</td> <td style="width: 20%; text-align: center; font-size: 0.8em;">№ докум.</td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Подп.</td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Дата</td> <td style="width: 40%; text-align: center; padding: 5px;"> <div style="font-style: italic;">Система управления биморфным пьезоактюатором</div> <div style="font-style: italic; margin-top: 10px;">Пояснительная записка</div> </td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Лит</td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Лист</td> <td style="width: 10%; text-align: center; font-size: 0.8em;">Листов</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"> <div style="font-style: italic;">Университет ИТМО</div> <div style="font-style: italic;">Кафедра СУиИ</div> <div style="font-style: italic;">Группа Р3442</div> </td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">4</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">44</td> </tr> </table>														Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	<div style="font-style: italic;">Система управления биморфным пьезоактюатором</div> <div style="font-style: italic; margin-top: 10px;">Пояснительная записка</div>	Лит	Лист	Листов						<div style="font-style: italic;">Университет ИТМО</div> <div style="font-style: italic;">Кафедра СУиИ</div> <div style="font-style: italic;">Группа Р3442</div>	4	44
Лит	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата	<div style="font-style: italic;">Система управления биморфным пьезоактюатором</div> <div style="font-style: italic; margin-top: 10px;">Пояснительная записка</div>	Лит	Лист	Листов																						
					<div style="font-style: italic;">Университет ИТМО</div> <div style="font-style: italic;">Кафедра СУиИ</div> <div style="font-style: italic;">Группа Р3442</div>	4	44																							
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.9em;"> Копировал Формат А4 </div>																														

Введение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка модульной быстродействующей системы управления исполнительным механизмом на базе биморфного пьезоактюатора, отвечающей требованиям технического задания, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Требуемые исходные данные

Исполнительное устройство	Пьезоактюатор с перемещением штока до 20 мкм
Управляющее напряжение на пьезоактюаторе	До 200 В
Масса нагрузки	Не более 0,01 кг
Значение перерегулирования	Не более 10%
Допустимая погрешность работы устройства	Не более 0,5% от диапазона перемещений
Напряжение питания	12 В постоянного тока

С развитием систем управления, контроля и безопасности, применением для их создания нано- и микротехнологий, нано- и микросистемной техники возрастает потребность в устройствах для точного позиционирования элементов таких систем. В связи с этим актуальными являются вопросы исследования и создания актюаторов для нано- и микроперемещений. Анализ существующих разработок производителей показывает, что перспективными направлениями создания устройств для таких перемещений являются двигатели, основанные на использовании пьезоэлектрического и пьезомагнитного эффектов.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

5

Пьезоактюатор представляет собой пьезомеханическое устройство (специальный сверхпрецизионный короткоходный линейный электропривод), которое преобразует электрическое напряжение в линейное перемещение или силу. В основе принципа действия устройства лежит обратный пьезоэлектрический эффект, то есть механическая деформация кристалла при воздействии на него электрического поля.

Биморф состоит из двух частей - двух пьезоэлементов (симметричный), соединенных между собой, или пьезоэлемента и металлической пластины (асимметричный), также соединенных между собой с помощью эпоксидного компаунда или легкоплавкого припоя. Напряжение управления на пьезоэлементы (пластины) подается таким образом, чтобы один из них сокращался, а другой расширялся, за счет чего происходит изгиб всей конструкции.

Биморфный пьезоэлектрический актюатор является пассивным нелинейным четырехполюсником и требует наличия источника питания для возбуждения.

Не смотря на то, что величина хода (отклонения) пьезокерамических актюаторов незначительна, они находят широкое применение во многих областях, таких как: настройка оптических инструментов, управление и регулировка гидравлическими и пневматическими клапанами, точная настройка рабочего тела станков, подавление вредной вибрации и т.п.

Основными достоинствами биморфов в сравнении с аналогичными электронными элементами являются:

- высокое быстродействие;
- малое потребление энергии;
- компактность;
- низкая стоимость;
- долговечность и высокая повторяемость.

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	
Инф. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

6

1 Обзор существующих технических решений

1.1 Решения от компании «Physik Instrumente» (Германия)

Актюатор Р-853 (рисунок 1) является линейным приводом со встроенным пьезодвигателем высокого разрешения. Он может управляться вручную как обычный микропривод с точностью в 1 мкм. Информация взята с ресурса [1].

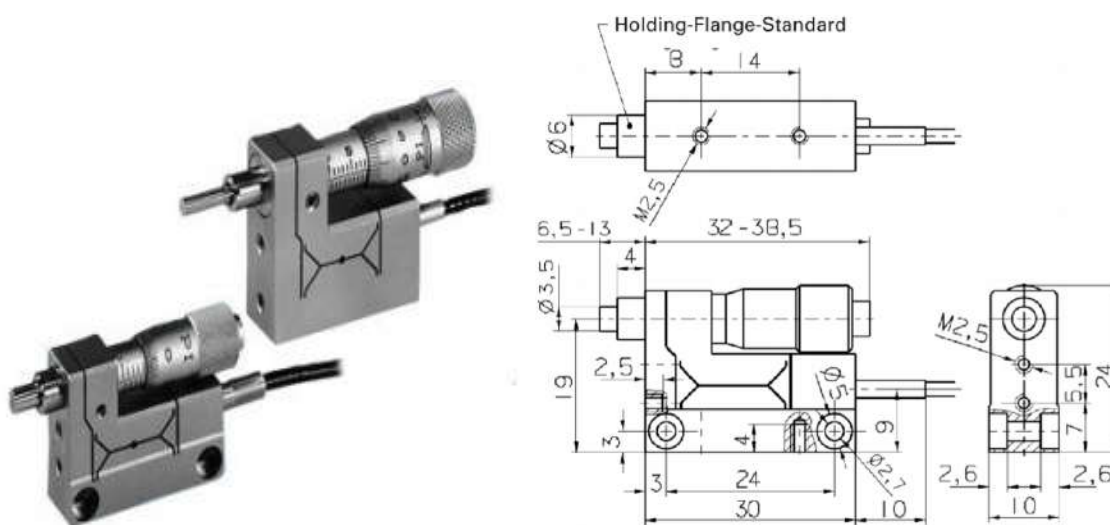


Рисунок 1 – Пьезоактюатор Р-853

При варьировании напряжения пьезонаконечник перемещается относительно позиции, заданной вручную, с субнанометровым разрешением на расстояние до 25 мкм. Таким образом, управление микродвигателем можно осуществлять дистанционно. Характеристики пьезоактюатора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики пьезоактюатора Р-853

Перемещение	25 мкм
Рабочее напряжение	От 0 до 100 В
Разрешающая способность	Меньше 1 нм
Статическая жесткость	1 Н/мкм
Толкающее/тянущее усилие	10 Н / 5 Н

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли Изм. № докум. Подп. Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

7

Копировал

Формат А4

Электрическая емкость	0,45 мкФ
Масса	50 г
Длина	47 мм

В качестве системы управления данным актюатором производитель рекомендует использовать блок управления Е-610 (цифровой контроллер для управления одноосевыми пьезосистемами). Устройство может быть выполнено как в безкорпусном исполнении (рисунок 2), так и помещено в металлический корпус.



Рисунок 2 – Блок управления Е-610

Характеристики блока управления представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики блока управления Е-610

Каналы	1
Процессор	32-битный микроконтроллер
Частота управления	10 кГц
Частота работы датчика	10 кГц
Разрешающая способность установки напряжения	16 бит
Выходное напряжение	От -30 до +130 В
Выходная мощность	До 10 Вт

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

8

Разрешение цифро-аналогового преобразователя

17 бит

Блок управления E-610 способен обрабатывать сигнал с тензометрического датчика. Пройдя через усилитель, сигнал с цифро-аналогового преобразователя (с помощью которого производится управление) поступает на пьезоактюатор. Данная система управления предназначена для реализации системы с обратной связью по перемещению.

1.2 Решения от компании «Евротек Джeneral» (Россия)

Линейные пьезоп приводы N-310 серии NEXACT PiezoWalk сочетают в себе широкий диапазон перемещения и максимальное толкающее / тянущее усилие. Данные устройства отличаются высокой компактностью. Появилась возможность сочетать практически неограниченный диапазон перемещения с высокой точностью. Миниатюрные актюаторы обеспечивают разрешающую способность порядка нанометров и миллисекундное время отклика. Данные двигатели специально разработаны для работы с низким рабочим напряжением. Приводы NEXACT обеспечивают фиксацию положения при выключении питания, таким образом, удерживая нагрузку при отсутствии тока. Информация взята с ресурса [2].

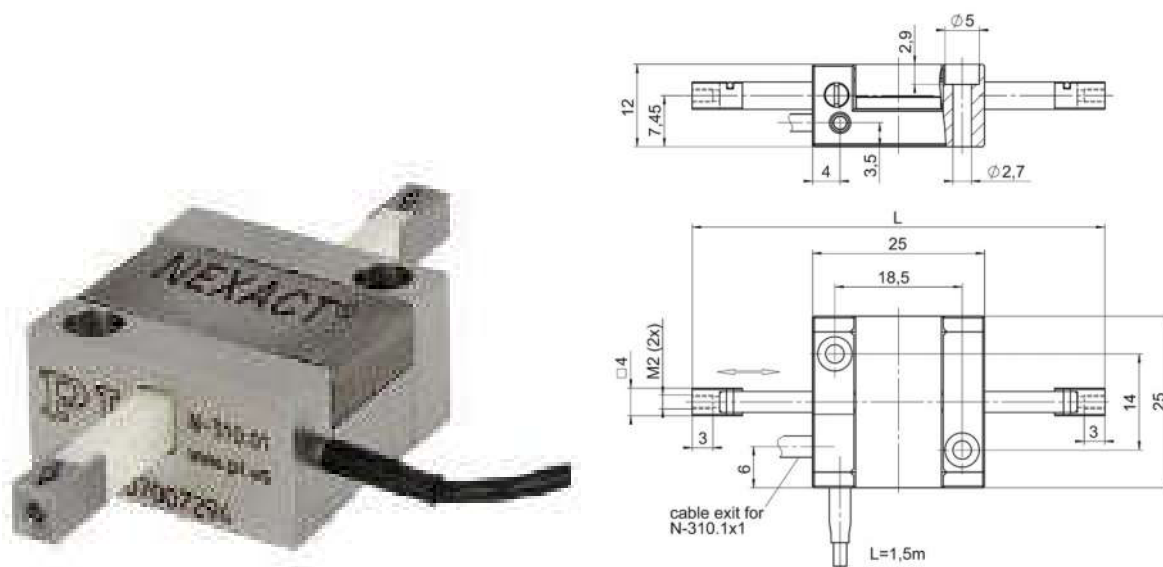


Рисунок 3 – Пьезоактюатор N-310

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Пьезоприводы N-310 предусмотрены для работы в системах без обратной связи. Для режима работы с обратной связью необходимо использовать внешний датчик положения. Характеристики пьезоактюатора представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики пьезоактюатора N-310

Перемещение	До 125 мм
Рабочее напряжение	От -10 до +45 В
Разрешающая способность	0,03 нм
Шаговая частота	1,5 кГц
Толкающее/тянущее усилие	10 Н / 10 Н
Электрическая емкость	0,45 мкФ
Масса	50 г
Длина	60 мм

Для управления данным актюатором производитель рекомендует использовать контроллер E-861.1A1, который является одноканальным. Модель поддерживает оба режима работы пьезодвигателей NEXACT. Для перемещения на значительное расстояние используется шаговый режим работы. Для перемещения на дистанцию менее ≈ 7 мкм используется аналоговый режим (обеспечивает позиционирование с разрешением менее 1 нм). Контроллер E-861.1A1 оснащен интерфейсами USB, RS-232.



Рисунок 4 – Контроллер E-861.1A1

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата
----	------	----------	-------	------

Также устройство оснащено портом ввода/вывода с 4 цифровыми и аналоговыми линиями. Управление в цифровом режиме производится посредством TTL сигналов, в аналоговом – напряжением в интервале от 0 до 5 В. Для ручного управления приводом можно использовать дополнительные опции: джойстик и 4-х кнопочную панель управления. Характеристики блока управления представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики блока управления E-861.1A1

Каналы	1
Управление	ПИД-регулятор
Функциональные возможности	Запись данных, триггер, сторожевой таймер
Тип сигнала с датчика	1 TTL на канал
Вход энкодера	Аналоговый синусно-косинусный вход, схема интерполяции для дифференциальной передачи
Выходное напряжение	От -10 до +45 В
Выходная мощность	До 40 Вт
Потребление тока	2 А (максимально)

1.3 Решения от компании «Элпа» (Россия)

Актуатор ЭП-9-47-ПлБ-002 пластинчатый изгибного типа (биморфный), представляет собой двухслойный элемент, один из слоев которого удлиняется, а другой сжимается, в этом случае имеет место изгиб.

Пьезобиморф представляет класс электромеханических преобразователей, обеспечивающих преобразование электрического напряжения в механическое перемещение и наоборот.

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	
Инф. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

11

Величина изгибного перемещения таких актюаторов намного больше, чем планарного, поэтому по сравнению с пакетными актюаторами биморфные элементы имеют больший ход при соответственно меньшем развиваемом усилии и меньшей резонансной частоте. Информация взята с ресурса [3].

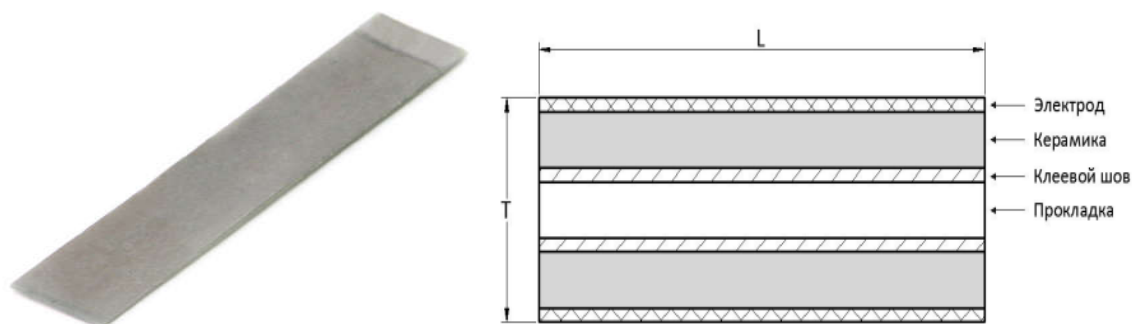


Рисунок 5 – Пьезоактюатор ЭП-9-47-ПлБ-002

Данный пьезоэлектрический преобразователь изготавливается на базе уникальной элементно-структурной технологии с использованием разработанного АО "НИИ "Элпа" специального пьезокерамического материала (ЦТС-46), обладающего высокими электрострикционными характеристиками и низкой температурой спекания. Характеристики пьезоактюатора представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики пьезоактюатора ЭП-9-47-ПлБ-002

Перемещение	15-23 мкм
Управляющее напряжение	± 200 В
Входное сопротивление	15 МОм
Диапазон частот	1-200 Гц
Блокирующее усилие	0,2 Н
Статическая емкость	4 мкФ
Рабочий диапазон температур	От -50 до +85 °С
Длина	20 мм

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

12

К сожалению, компания «Элпа» не производит систем управления пьезоактюаторами, но для управления данным устройством можно воспользоваться блоком управления пьезоприводом PAD от компании «Визионика» (Россия).

Многоканальный блок управления пьезоприводами PAD-120 предназначен для формирования заданных программой ПК уровней напряжения на пьезоприводах деформируемых зеркал, систем коррекции наклонов и т.п. Информация взята с ресурса [4].



Рисунок 6 – Блок управления PAD-120

Характеристики блока управления представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики блока управления PAD-120

Каналы	96
Интерфейс к ПК	Ethernet 10/100; LVDS* или FIBER
Генерация напряжения	Синус, меандр, пила, шум
Скорость нарастания сигнала	До 30 кВ/с (программируется)
Полоса пропускания для нагрузки 2,2 мкФ, по уровню -3 дБ	160 Гц
Выходное напряжение	От 3 до 120 В

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

13

Копировал

Формат А4

Выходной ток	От -250 до 250 мА
Потребляемая мощность	250 Вт

На базе интерфейсного модуля возможна реализация схемы измерения внешних сигналов с тензодатчиков для построения внешней обратной связи, либо преобразования входных аналоговых сигналов.

1.4 Решения от компании «Cedrat Technologies» (Франция)

Пьезоактюатор PPA20M представляет собой корпусный параллельно преднагруженный пьезоэлектрический актюатор (пьезокерамика низкого напряжения – MLA). Встроенный в корпус механизм предварительного механического напряжения компенсирует растягивающие напряжения, которые очень вредны для пьезокерамики. Информация взята с ресурса [5].

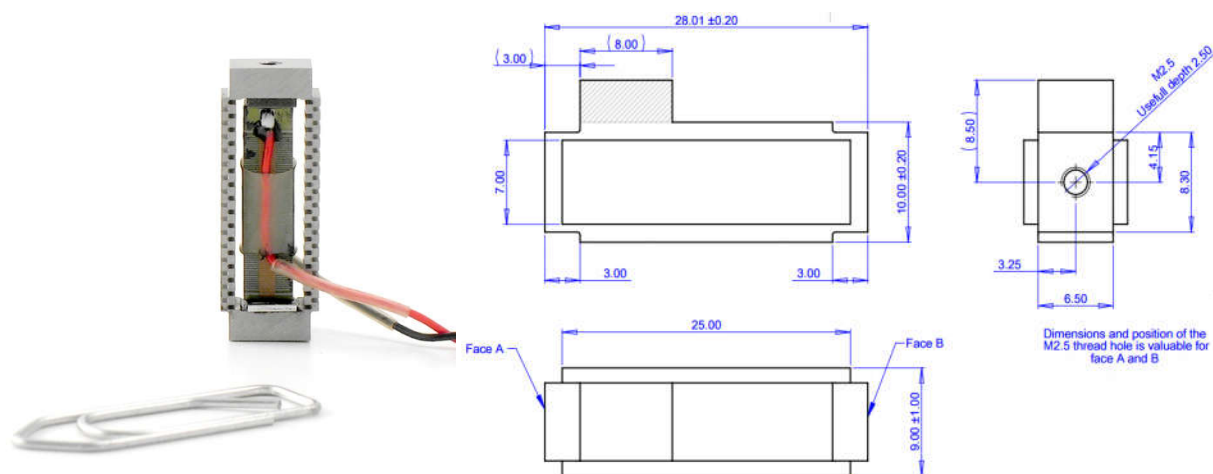


Рисунок 7 – Пьезоактюатор PPA20M

Характеристики пьезоактюатора представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Характеристики пьезоактюатора PPA20M

Перемещение	20 мкм
-------------	--------

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Рабочее напряжение	От -20 до 150 В
Резонансная частота	38800 Гц
Блокирующее усилие	800 Н
Растягивающее усилие	400 Н
Емкость	1,4 мкФ
Жесткость	40 Н/мкм
Разрешающая способность	0,2 нм
Время отклика	0,01 мс
Масса	12 г
Габариты	28x10x6,5 мм
Измерение смещения	Лазерный интерферометр, емкостный датчик перемещения
Измерение допусков	Анализатор импеданса НР 4194 А

Управление актюатором можно производить с помощью современных контроллеров от этой же компании. Когда программа работы нуждается в замкнутом цикле, компания «Cedrat Technologies» предлагает различные решения, основанные на цифровых контроллерах с большей или меньшей гибкостью и возможностями.

Контроллер UC45 обеспечивает контроль положения исполнительных механизмов, активное управление вибрациями, устанавливает через USB-порт связь с графическим интерфейсом, также к устройству можно подключить усилители мощности и кондиционеры для датчиков.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.P3442.001 ПЗ

Лист

15

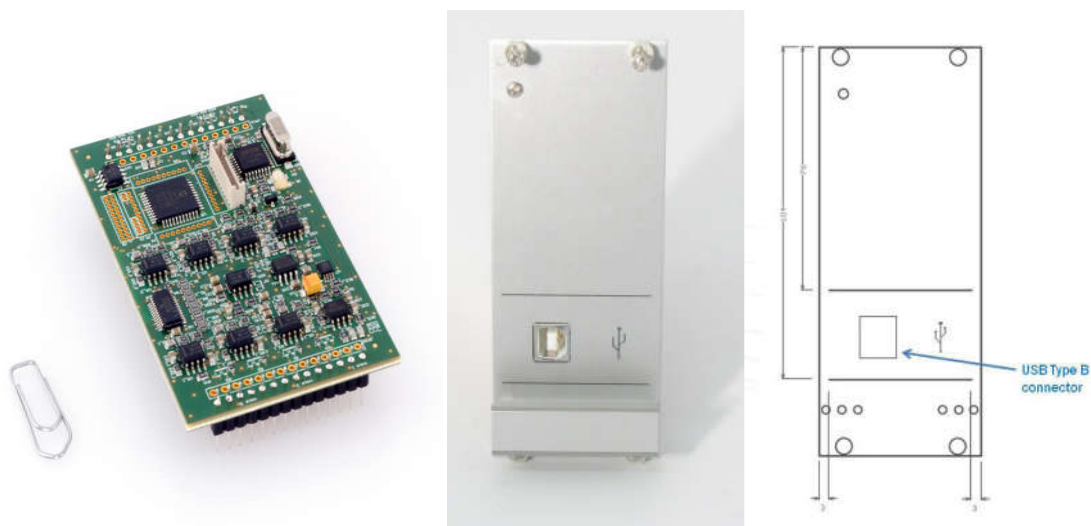


Рисунок 8 – Контроллер UC45

Характеристики контроллера представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики контроллера UC45

Каналы	1
Интерфейс к ПК	USB тип В
Диапазон напряжения	От -10 до +10 В
Малая полоса частот сигналов (-3 дБ) на входе	106 кГц
Малая полоса частот сигналов (-3 дБ) на выходе	4,8 кГц
Управление	ПИД-регулятор, стабилизирующие фильтры
Цифровое разрешение	16 бит
Частота дискретизации	10 кГц

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

16

Копировал

Формат А4

1.5 Вывод по итогам обзора существующих технических решений

Выполнив обзор существующих технических решений, можно сделать вывод, что производство пьезоактюаторов и систем для их управления достаточно развито.

Однако зарубежные компании производят законченные устройства (полностью оснащенные как программно, так и технически) и создают множество блоков управления различных функций и конструкций. А российские производители, в свою очередь, больше сосредоточены на разработке специфичных пьезотехнических изделий. Изготовление же систем управления пьезоприводами вообще развито плохо (используются общие стандартные модели для абсолютно разных типов двигателей).

Перспективными направлениями для развития и улучшения систем управления актюаторами можно считать:

- уменьшение массогабаритных показателей блоков управления;
- увеличение точности позиционирования;
- увеличение быстродействия работы устройств.

Данных целей можно достигнуть, если вести разработки индивидуальных блоков управления для решения конкретных задач и обеспечения управляемых устройств необходимыми свойствами для их правильного функционирования.

Для разработки системы управления биморфным пьезоактюатором мною был выбран актюатор ЭП-9-47-ПлБ-002 от компании «Элпа». Он позволяет совершать перемещение в 20 мкм при напряжении до 200 В, что соответствует требованиям технического задания.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

17

2 Математическая модель пьезокерамического исполнительного устройства

Пользуясь описанием и математическими выкладками из пособия [6], биморфный актюатор можно рассматривать как множество последовательно соединенных пьезоэлектрических элементов (рисунок 9), поперечного сечения S_0 , закрепленный одним концом на неподвижном основании, первоначальный размер которого l изменяется под действием электрического поля E в направлении действия поля на значение Δ , и перемещающий исполнительный орган массой m_0 , сочлененный с его свободным концом.

Помимо исполнительного органа перемещаются также элементы объема активной части пьезопривода, масса которого $m_a < m_0$. Инерционностями перемещающихся элементарных объемов пьезоактюатора можно пренебречь или, если актюатор закреплен одним концом и не принимает участия в движении, уточнить значение суммарной приведенной подвижной массы m_Σ , включив в нее кроме m_0 часть m_a .

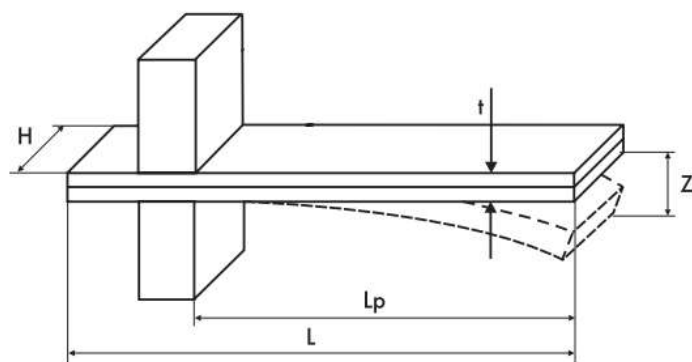


Рисунок 9 – Конструкция пьезобиморфа

Биморфный пьезоактюатор можно описать как объект с сосредоточенными параметрами. Основное динамическое усилие в рассматриваемом случае действует на пьезоактюатор в направлении приложенного поля.

Уравнения пьезоэффектов:

$$S = s^E T + d_n E, \quad (1)$$

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	
Инф. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

$$D = d_t T + \varepsilon^T E, \quad (2)$$

где T – механическое напряжение, E – напряженность электрического поля.

Запишем уравнение обратного пьезоэффекта (1) с учетом того, что механическое напряжение материала препятствует деформации из-за пьезоэффекта:

$$S = -s^E T + d_n E. \quad (3)$$

Теперь запишем уравнение (3) с учетом принятых обозначений, все члены уравнения умножим на YS_0 :

$$\frac{\Delta l}{l_0} Y S_0 = d_n Y S_0 E - S_0 T, \quad (4)$$

где $S = \frac{\Delta l}{l}$, $s^E = \frac{1}{Y}$, а Y – модуль Юнга.

Левая часть выражения (4) описывает усилие упругой деформации:

$$F_y = \frac{Y S_0}{l_0} \Delta l = K_y \Delta l. \quad (5)$$

Из выражения (5) коэффициент упругости элемента K_y , Н/м:

$$K_y = \frac{Y S_0}{l_0 N}, \quad (6)$$

где S_0 – площадь поверхности элемента перпендикулярной направлению перемещения (оси 3).

Коэффициенты прямого и обратного пьезоэффектов K_Π и K_0 , Кл/м:

$$K_\Pi = K_y d_n N, \quad (7)$$

$$K_0 = \frac{Y S_0 d_n U}{N l_3}, \quad (8)$$

где d_n – пьезоэлектрический модуль.

Электрическая емкость элемента C_0 , Ф:

$$C_0 = \frac{N S_0 \varepsilon_r \varepsilon_0 (1 - K_{ЭМ}^2)}{l_3}, \quad (9)$$

где $K_{ЭМ}$ – коэффициент электромеханической связи.

Воспользуемся выражением для тока смещения в диэлектрике:

$$I_{см} = \frac{C_0 dU}{dt} + K_\Pi V, \quad (10)$$

где $U = E l_3$ – напряжение, приложенное к электродам актюатора,

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

$V = \frac{d\Delta l}{dt}$ – скорость смещения объекта управления.

Если заряд актюатора осуществляется от источника ЭДС (усилителя) e_n через его эквивалентное внутреннее сопротивление R_B , то для такой цепи справедливо уравнение:

$$I_{\text{см}} = \frac{(e_n - U)}{R_B}. \quad (11)$$

После совмещения уравнений (10) и (11), преобразовав их, получим:

$$e_n = C_0 R_B \frac{dU}{dt} + U + K_{\Pi} R_B V, \quad (12)$$

где $C_0 R_B = T_{\text{э}}$ – электростатическая постоянная времени, следовательно:

$$e_n = T_{\text{э}} \frac{dU}{dt} + U + K_{\Pi} R_B V. \quad (13)$$

Определим связь между усилием $F_{\text{э}}$ и электрическим напряжением управления:

$$F_{\text{э}} = \frac{N Y S_0 d_n U}{l_3} = N^2 U K_0. \quad (14)$$

Определив все действующие силы, можно составить уравнение равновесия сил, приложенных к подвижной границе активной части актюатора:

$$F_y = F_{\text{э}} + F_c + F_d + F_{\text{дин}}, \quad (15)$$

где $F_y = K_y \Delta l$ – усилие упругой деформации, F_c – статическое усилие, приложенное к объекту управления и действующее на актюатор, $F_d = \frac{-K_A d\Delta l}{dt}$, K_d – коэффициент внутреннего демпфирования, $F_{\text{дин}} = -\frac{m_{\Sigma} d^2 \Delta l}{dt^2}$.

Включим все основные уравнения (13-15) в систему и запишем их в операторной форме:

$$T_{\text{э}}(p + 1)U(p) + K_{\Pi} R_B V(p) = e_n(p), \quad (16)$$

$$F_{\text{э}}(p) = U(p)K_0, \quad (17)$$

$$F_{\text{дин}}(p) = F_{\text{э}}(p) + F_c(p) - F_d(p) - F_y(p), \quad (18)$$

где $V(p) = p \Delta l(p)$, $F_d(p) = K_d p \Delta l(p)$, $F_y(p) = K_y p \Delta l(p)$.

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Используя полученные уравнения (16-18), можно составить структурную схему модели актюатора (рисунок 10).

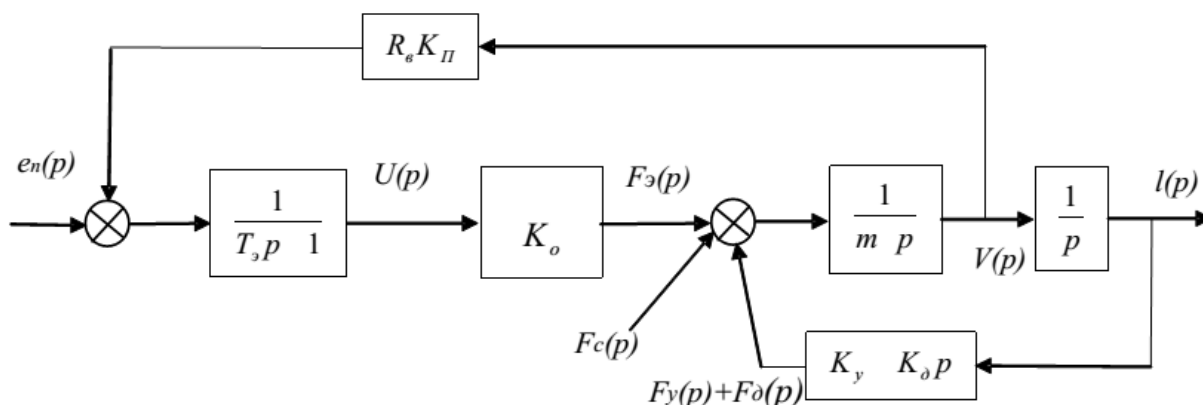


Рисунок 10 – Структурная схема модели актюатора при управлении от источника ЭДС

Используя ту же систему или полученную структурную схему, можно записать передаточную функцию актюатора по перемещению:

$$W_A(p) = \frac{\Delta l(p)}{e_n(p)} = \frac{K_0/K_y}{T_э \frac{m_\Sigma}{K_y} p^3 + \left(\frac{m_\Sigma}{K_y} + T_э \frac{K_d}{K_y} \right) p^2 + \left(T_э + \frac{K_d}{K_y} + K_п R_э \frac{K_0}{K_y} \right) p + 1}. \quad (19)$$

Таблица 10 – Данные для расчета

Масса	8 г
Длина	20 мм
Управляющее напряжение	± 200 В
Толщина слоя пьезокерамики	30 мкм
Количество слоев	7
Электрическая емкость	4 мкФ
Пьезомодуль	$4,5 \cdot 10^{-10}$ м/В
Площадь поперечного сечения	$5,6 \cdot 10^{-5}$ м ²
Модуль Юнга	$10 \cdot 10^{10}$ Н/м ²

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

21

Копировал

Формат А4

По данным из источника [3] выбранный пьезоактюатор использует пьезоматериал ЦТС-46. Характеристики данного материала берутся из статьи [7] при комнатной температуре использования.

$$\text{Коэффициент упругости (6) } K_y = \frac{10 \cdot 10^{10} \cdot 5,6 \cdot 10^{-5}}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 7} = 4 \cdot 10^7 \text{ Н/м.}$$

Коэффициенты прямого и обратного пьезоэффектов (7, 8) равны $K_{\pi} = K_o = 4 \cdot 10^7 \cdot 4,5 \cdot 10^{-10} \cdot 7 = 0,126 \text{ Кл/м.}$

Электростатическая постоянная времени $T_g = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 = 0,0048 \text{ с.}$

Суммарную приведенную подвижную массу $m_{\Sigma} = m_0 + m_k = 0,01 + 0,008 = 0,018 \text{ кг}$ (m_0 – масса нагрузки, m_k – масса самого актюатора).

Сопротивление источника питания $R_B = 100 \text{ Ом.}$

Коэффициент внутреннего демпфирования $K_d = 100 \text{ Н*с/м.}$

Подставив в полученную передаточную функцию (19) все найденные значения, получим:

$$W_A(p) = \frac{\Delta l(p)}{e_n(p)} = \frac{3,15 \cdot 10^{-9}}{2,16 \cdot 10^{-12} p^3 + 1,245 \cdot 10^{-8} p^2 + 4,8 \cdot 10^{-3} p + 1}. \quad (20)$$

Передаточная функция (20) характеризует работу пьезоактюатора.

В результате проведенных расчетов были получены все необходимые параметры актюатора, определена структура его математической модели и выведена его передаточная функция по перемещению. Данные результаты послужат основой для разработки структурной схемы системы управления биморфным пьезоактюатором и синтеза регулятора.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

22

3 Разработка функциональной электрической схемы системы управления биморфным пьезоактюатором

Функциональная схема разрабатываемого устройства представлена на рисунке 11.

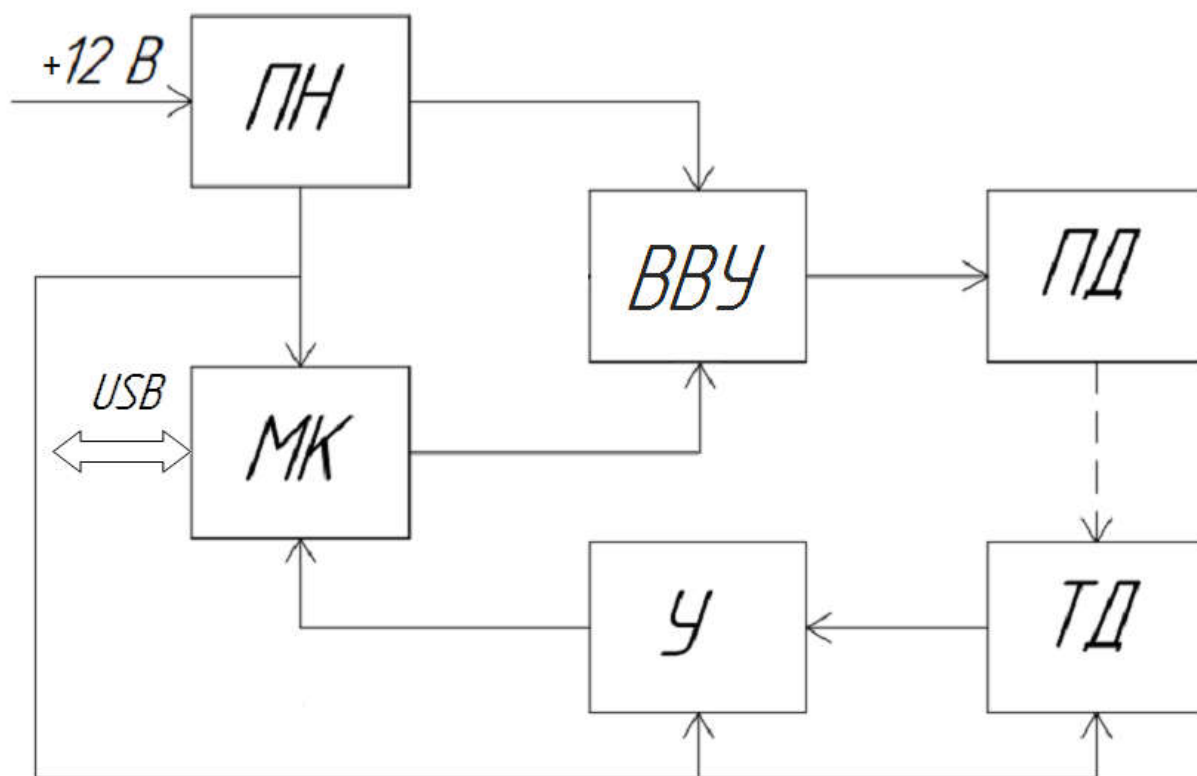


Рисунок 11 – Функциональная схема системы управления биморфным пьезоактюатором (ПН – преобразователь напряжений, ПД – пьезодвигатель, ВВУ – высоковольтный усилитель, ТД – тензометрический датчик, У – усилитель, МК – микроконтроллер)

Система управления работает от 12 В постоянного тока, которые подаются на вход. Далее, для подачи необходимого питания на другие элементы системы управления, используется преобразователь напряжения ПН.

Через USB-кабель с внешнего устройства на микроконтроллер МК подается сигнал о величине перемещения, которое необходимо совершить. Затем программа микроконтроллера МК вычисляет нужную величину

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

управляющего сигнала и формирует его. После чего микроконтроллер МК со встроенными аналого-цифровым (АЦП) и цифро-аналоговым (ЦАП) преобразователями подает этот сигнал на пьезодвигатель ПД через высоковольтный усилитель ВВУ.

Далее, пьезодвигатель ПД совершает необходимое перемещение, данные которого снимаются тензодатчиком ТД и поступают на АЦП микроконтроллера МК через усилитель У.

В аналого-цифровом преобразователе АЦП микроконтроллера МК рассчитывается текущая ошибка регулирования и реализуется работа дискретного регулятора положения.

Инв. № подл.	Подп. И дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

24

4 Разработка структурной электрической схемы системы управления биморфным пьезоактюатором

Структурная схема разрабатываемого устройства представлена на рисунке 12.

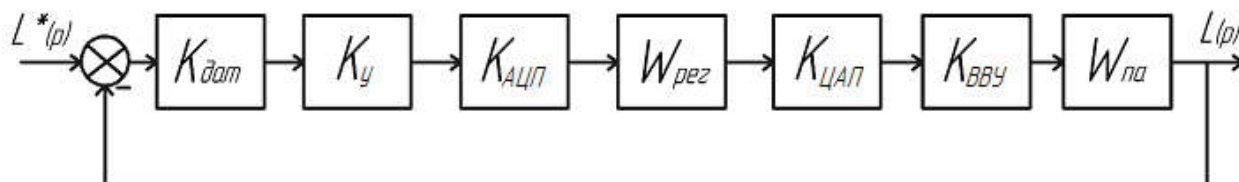


Рисунок 12 – Структурная схема системы управления биморфным пьезоактюатором ($K_{\text{дат}}$ – коэффициент передачи датчика перемещения, K_y – коэффициент усилителя, $K_{\text{АЦП}}$ – коэффициент аналого-цифрового преобразователя, $W_{\text{рег}}$ – передаточная функция регулятора, $K_{\text{ЦАП}}$ – коэффициент цифро-аналогового преобразователя, $K_{\text{ВВУ}}$ – коэффициент высоковольтного усилителя, $W_{\text{па}}$ – передаточная функция пьезоактюатора)

Для увеличения точности работы пьезоактюатора в схеме применена обратная связь по перемещению.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

25

5 Синтез регулятора системы автоматического управления

Рассмотрим модель пьезоактюатора с передаточной функцией (20).
Схема моделирования в системе Simulink представлена на рисунке 13.

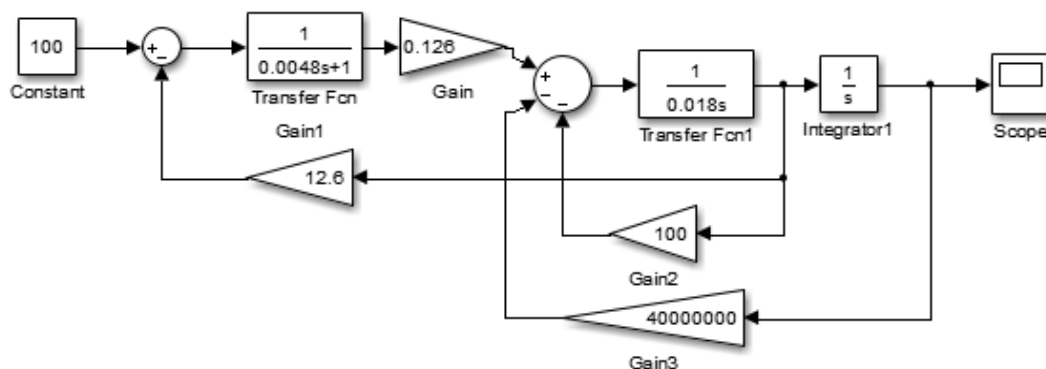


Рисунок 13 – Модель пьезоактюатора

График переходного процесса актюатора представлен на рисунке 14.

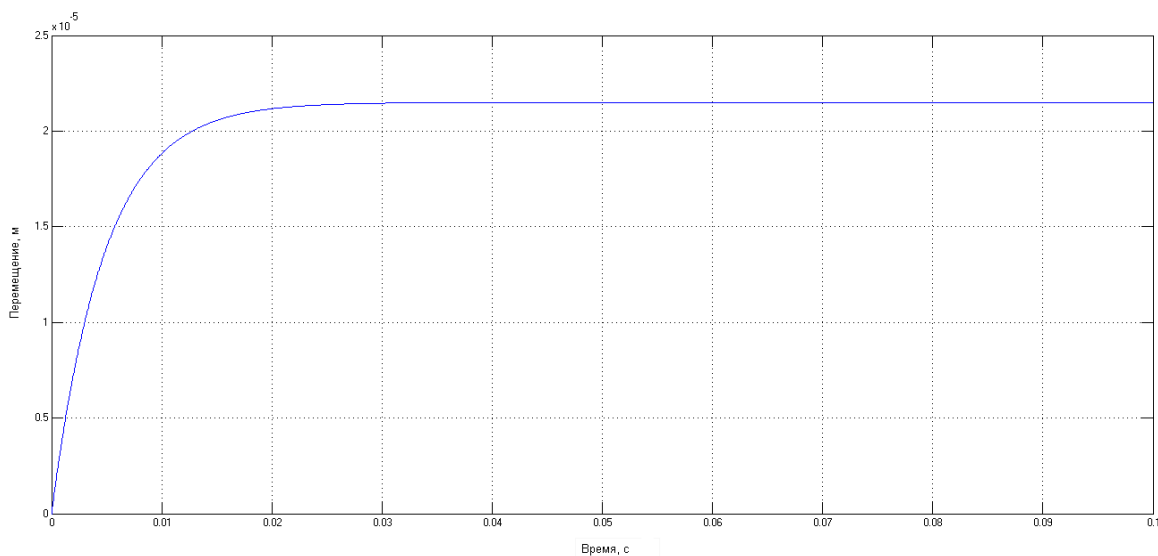


Рисунок 14 – График переходного процесса пьезоактюатора

Исходя из графика переходного процесса, можно сделать вывод, что двигатель совершает перемещение в 21,5 мкм (установившееся значение), что соответствует его технической документации.

А чтобы достичь необходимых по техническому заданию показателей качества и свести колебания системы к минимуму, необходимо спроектировать регулятор.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Построим ЛАЧХ неизменяемой части системы.

Передаточная функция неизменяемой части системы будет состоять из передаточной функции актюатора (20) и коэффициента сигнала K_c , который, исходя из структурной схемы, будет равен:

$$K_c = K_{\text{дат}} * K_y * K_{\text{АЦП}} * K_{\text{ЦАП}} * K_{\text{ВВУ}}, \quad (21)$$

$$W(p) = K_c * W_A(p). \quad (22)$$

Подставив значения в выражения (21, 22), получим:

$$K_c = 10^3 * 10^2 * 1 * 10 = 10^6,$$

$$W(p) = \frac{3,15 \cdot 10^{-3}}{2,16 \cdot 10^{-12} p^3 + 1,245 \cdot 10^{-8} p^2 + 4,8 \cdot 10^{-3} p + 1}. \quad (23)$$

С помощью программы Matlab построим график расположения нулей и полюсов неизменяемой части системы управления (рисунок 15).

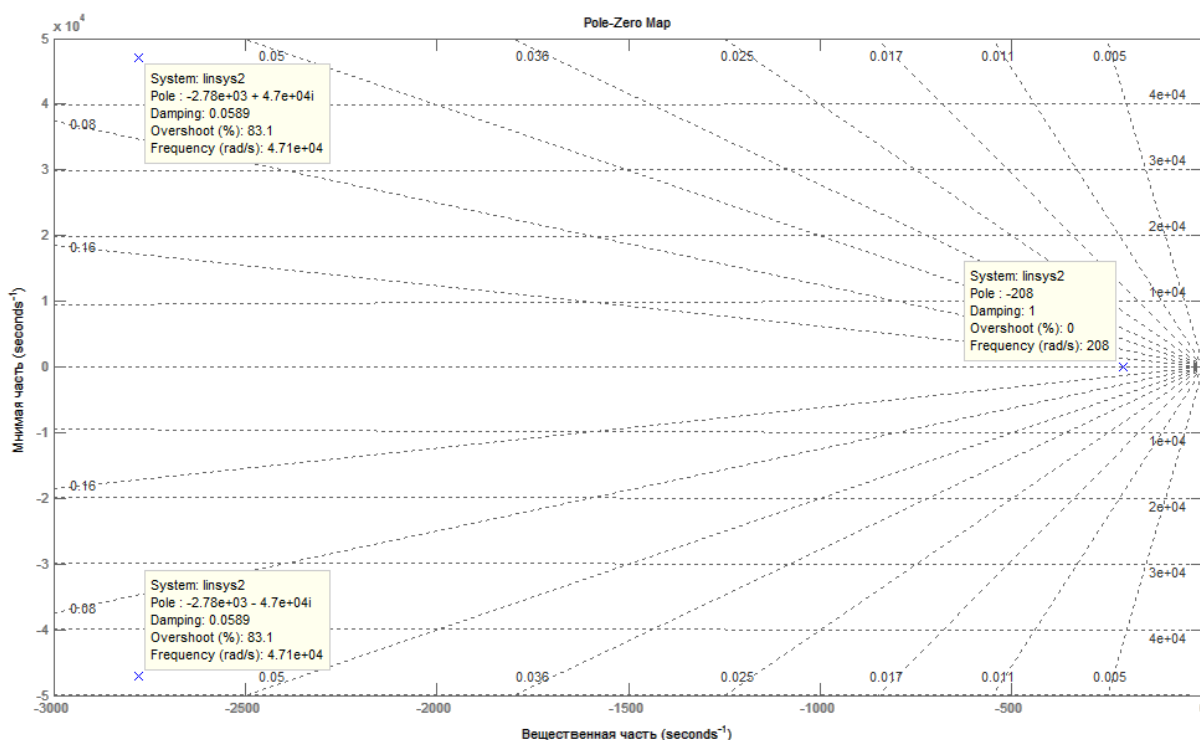


Рисунок 15 – График расположения нулей и полюсов неизменяемой части системы управления

Логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика (ЛАФЧХ) для неизменяемой части системы показана на рисунке 16.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

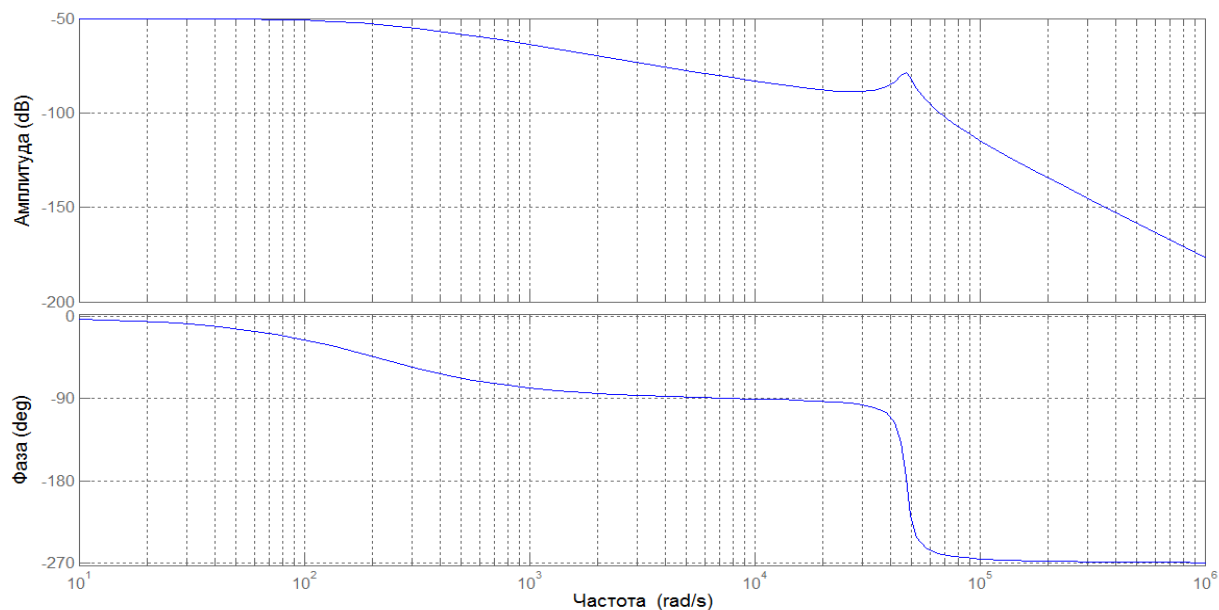


Рисунок 16 – ЛАФЧХ неизменяемой части системы управления

Для построения ЛАЧХ необходимо привести передаточную функцию неизменяемой части системы (23) к альтернативной форме:

$$W(p) = \frac{1,4583 \cdot 10^9}{(p+208,4)(p^2+5555p+2,221 \cdot 10^9)} \quad (24)$$

По рисункам 15 и 16, и по передаточной функции (24) можно сделать вывод, что значение точки излома логарифмической амплитудной частотной характеристики (ЛАЧХ) $\omega_0 = 208,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, а значение резонансной частоты $\omega_p = 47100 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Основываясь на указаниях пособия [8] и ЛАФЧХ неизменяемой части системы, выполним построение желаемой логарифмической амплитудной частотной характеристики.

На низких частотах желаемая ЛАЧХ должна иметь наклон -20 дБ/дек, то есть система будет содержать интегратор, который обеспечит нулевую ошибку в установившемся режиме.

Для обеспечения качественного переходного процесса и устойчивости системы желаемая ЛАЧХ должна пересекать ось абсцисс (частота среза ω_{cp}) под наклоном -20 дБ/дек, а точки излома ЛАЧХ должны находиться на расстоянии 12-16 дБ от оси абсцисс.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Так как перерегулирование = 10%, а время переходного процесса возьмем равным 0,01 с, то по диаграммам Солодовникова определяем

$$\omega_n = \frac{2\pi}{0,01} = 628 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \omega_{\text{ср}} = (0,6 \div 0,9)\omega_n = 471 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Для упрощения функции регулятора необходимо минимизировать различия между желаемой ЛАЧХ и ЛАЧХ неизменяемой части системы, поэтому в области высоких частот после резонансного пика ($\omega_p = 47100 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$) графики этих ЛАЧХ будут совпадать, и их наклон будет равен -60 дБ/дек.

Желаемая ЛАЧХ системы управления представлена на рисунке 17.

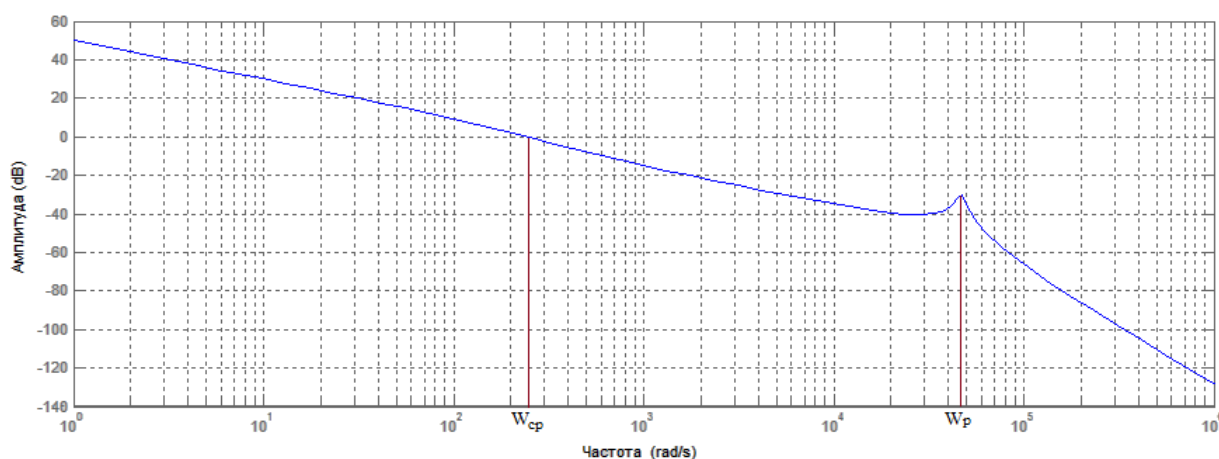


Рисунок 17 – Асимптотическая желаемая ЛАЧХ системы управления

По графику определяем $T_{\text{рег}} = \frac{1}{380} = 2,6 * 10^{-3}$ с.

Передаточная функция желаемой системы $W_{\text{ж}}(p)$:

$$W_{\text{ж}}(p) = W_{\text{рег}}(p) * W_{\text{нч}}(p), \quad (25)$$

где $W_{\text{рег}}(p)$ – передаточная функция регулятора, $W_{\text{нч}}(p)$ – передаточная функция неизменяемой части системы.

Проектируемая система должна содержать интегратор, также будем считать, что она не испытывает внешних возмущений, следовательно, в качестве регулятора наиболее подходящим является ПИ-регулятор.

Выбранный регулятор является наиболее универсальным, избавляет систему от колебаний и учитывает в данный момент времени предыдущую историю изменения входной величины.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Передаточная функция регулятора $W_{\text{рег}}(p)$:

$$W_{\text{рег}}(p) = K_{\text{рег}} * \frac{T_{\text{рег}}p+1}{p}, \quad (26)$$

где $K_{\text{рег}} = \frac{K_{\text{ж}}}{K_{\text{нч}}}$, а $K_{\text{ж}}$ – коэффициент желаемой передаточной функции (определяется по рисунку 17 в точке 10^0), $K_{\text{нч}}$ – коэффициент неизменяемой части системы.

По графику определяем:

$$20\lg(K_{\text{ж}}) = 50.$$

Следовательно:

$$K_{\text{ж}} = 10^{2,5} = 316,23,$$

$$K_{\text{рег}} = \frac{316,23}{3,15 \cdot 10^{-3}} = 100390,5 \approx 10^5.$$

По формуле (26) находим функцию регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = 10^5 * \frac{2,6 \cdot 10^{-3}p+1}{p}. \quad (27)$$

На рисунке 18 представлена ЛАФЧХ системы с регулятором.

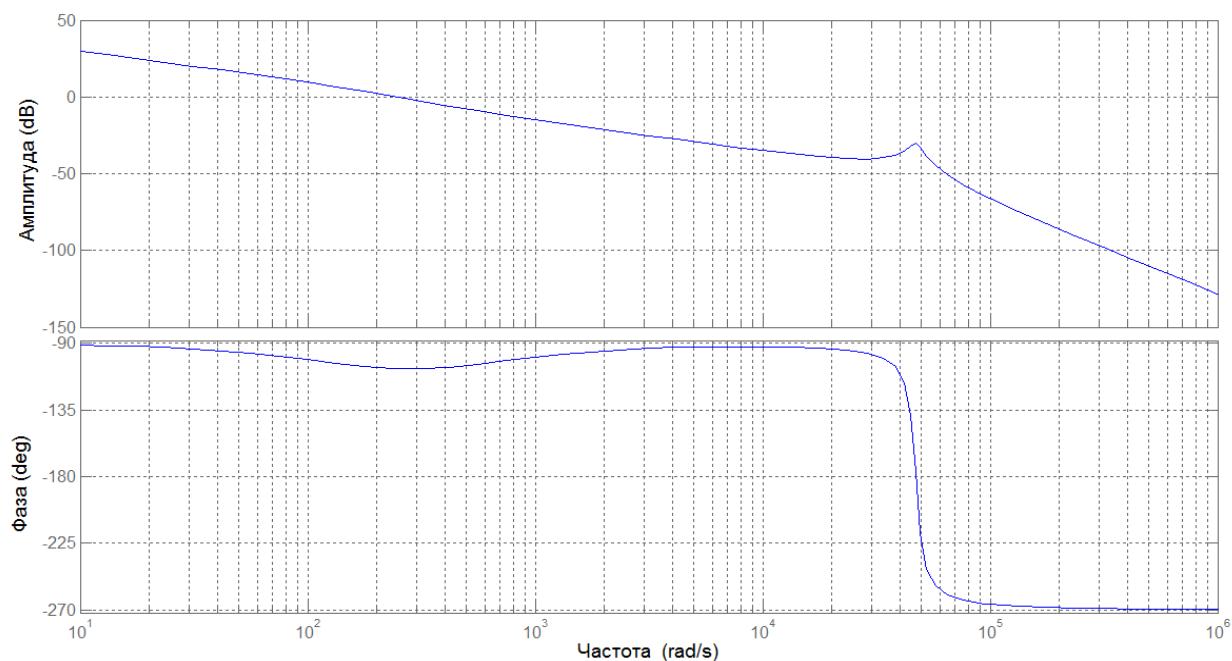


Рисунок 18 – ЛАФЧХ системы с регулятором

Сопоставив два графика, можно сделать вывод, что у данной системы запас по амплитуде = 22 дБ, а по фазе 77° , следовательно, данная система устойчива и обладает необходимым запасом устойчивости.

Инф. № подл.	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Используя значения из выражений (20), (27) и структурную схему, составим схему для моделирования разрабатываемой системы управления (рисунок 19) и получим график ее переходного процесса (рисунок 20).

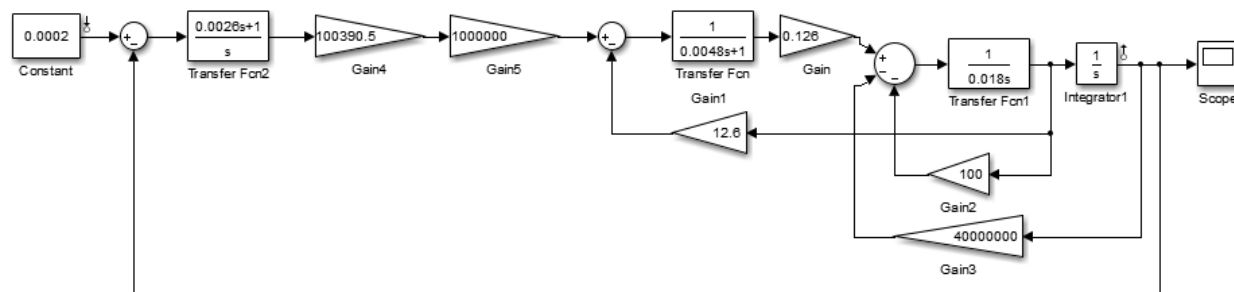


Рисунок 19 – Схема моделирования разрабатываемой системы управления

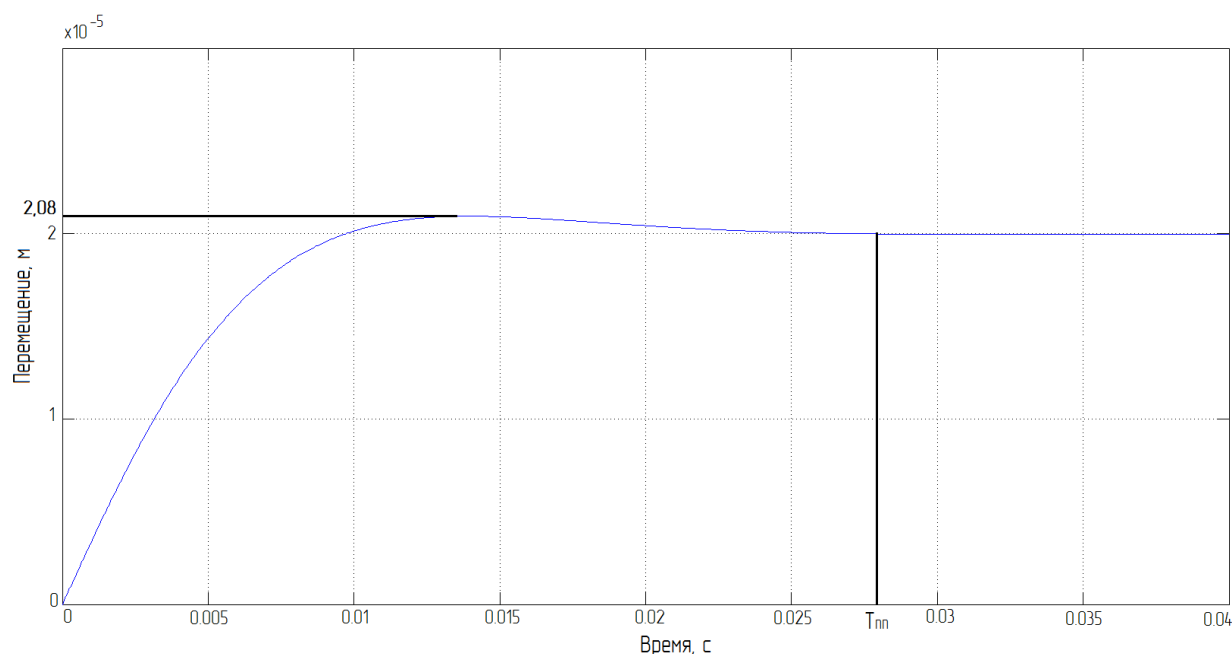


Рисунок 20 – График переходного процесса разрабатываемой системы

По полученному графику переходного процесса можно найти:

- время переходного процесса $T_{\text{пн}} = 0,027 \text{ с}$;
- значение перерегулирования $\sigma = \frac{(2,08-2)}{2} * 100\% = 4\%$;
- значение установившейся ошибки = 0,01%.

Все найденные значения не превышают заданные показатели качества, что полностью соответствует техническому заданию работы.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

6 Учет особенностей цифровой реализации регулятора.

Исследование динамики автоматической системы

В основе системы управления биморфным пьезоактюатором лежит микроконтроллер, который через USB-кабель взаимодействует с внешним устройством – компьютером. Все перечисленные технические средства являются цифровой техникой, следовательно, для создания реального регулятора системы необходимо преобразовать его из непрерывной формы в дискретную. Для этого воспользуемся программой Matlab и функцией c2b (метод «zoh» - нулевой порядок на входах). Частота дискретизации = 20 кГц, а период дискретизации = 0,0001 с.

Передаточная функция регулятора примет вид:

$$W_{\text{рег}}(p) = \frac{261.0153p + 100390.5}{p} \Rightarrow W_{\text{рег}}(z) = \frac{261z - 251}{z - 1}. \quad (28)$$

Найденная дискретная передаточная функция будет реализована в микроконтроллере.

В качестве исследования динамики автоматической системы смоделируем найденную систему управления пьезоприводом, но уже с вычисленным дискретным регулятором (28) – рисунок 21. Также, построим график ее переходного процесса – рисунок 22.

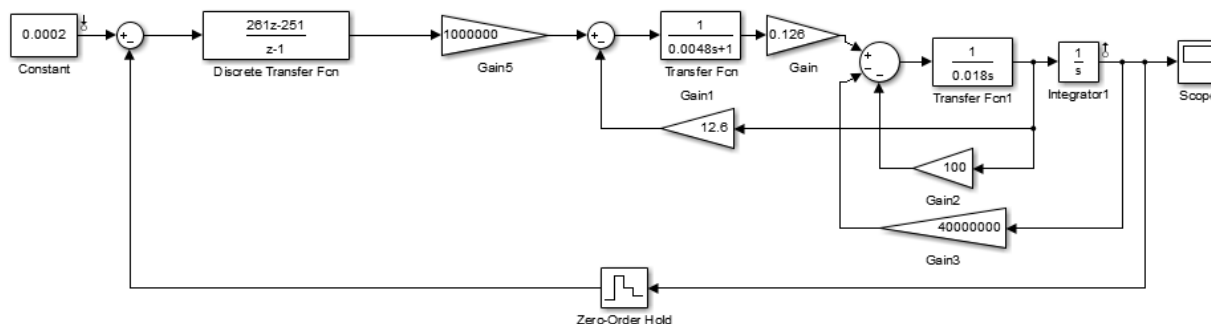


Рисунок 21 – Схема моделирования разрабатываемой системы управления с дискретным регулятором

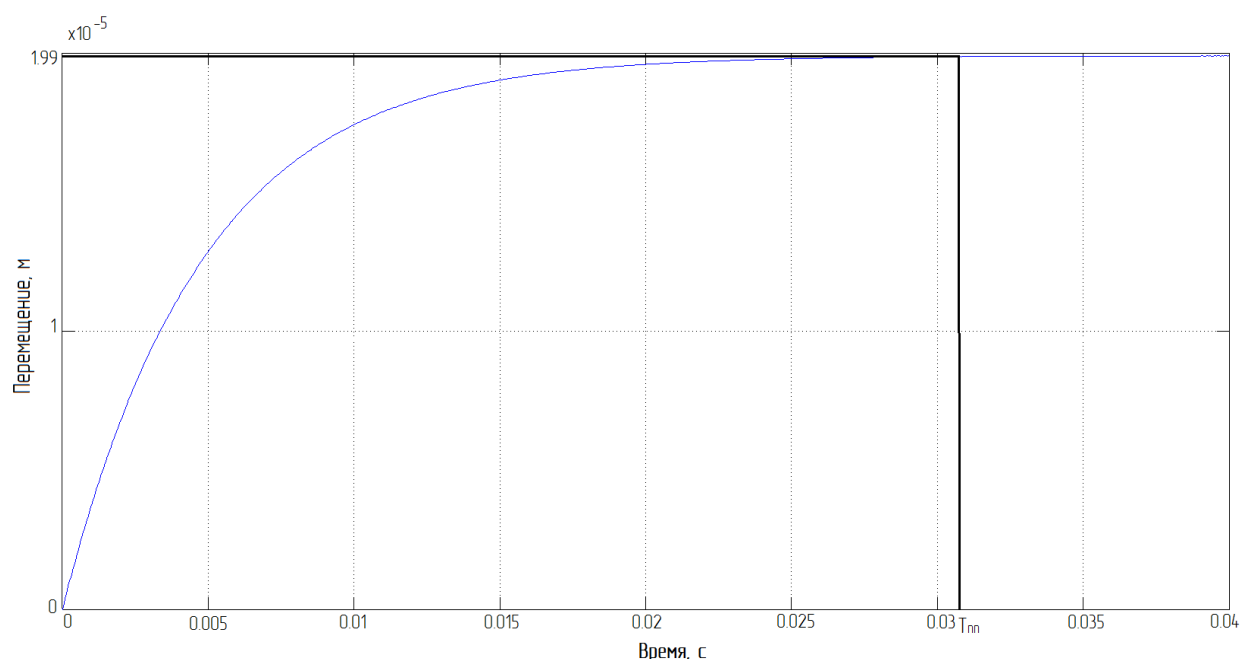


Рисунок 22 – График переходного процесса разрабатываемой системы управления с дискретным регулятором

По полученному графику переходного процесса для системы управления с дискретным регулятором время переходного процесса $T_{пп}$ равно 0,031 с, максимальное совершенное перемещение (установившееся значение) составляет 19,9 мкм, следовательно, погрешность работы устройства равна $\frac{20-19,9}{20} * 100\% = 0.5\%$ (значение найдено с учетом погрешности датчика), что соответствует требованиям технического задания работы.

Подп. И дата

Инб. № дубл.

Взам. инб. №

Подп. И дата

Инб. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

33

Копировал

Формат А4

7 Разработка алгоритма управления

Чтобы система управления работала, необходимо разработать алгоритм ее управления, отвечающий следующим требованиям:

- точное выполнение задачи управления;
- работа с пользователем (изменение рабочих значений);
- быстрота выполнения команд.

Алгоритм управления будет состоять из двух программ: основной (рисунок 23) и программы обработки прерываний, которая, в свою очередь, делится на прерывания по таймеру и прерывания USB (рисунок 24).



Рисунок 23 – Блок-схема основной программы микроконтроллера

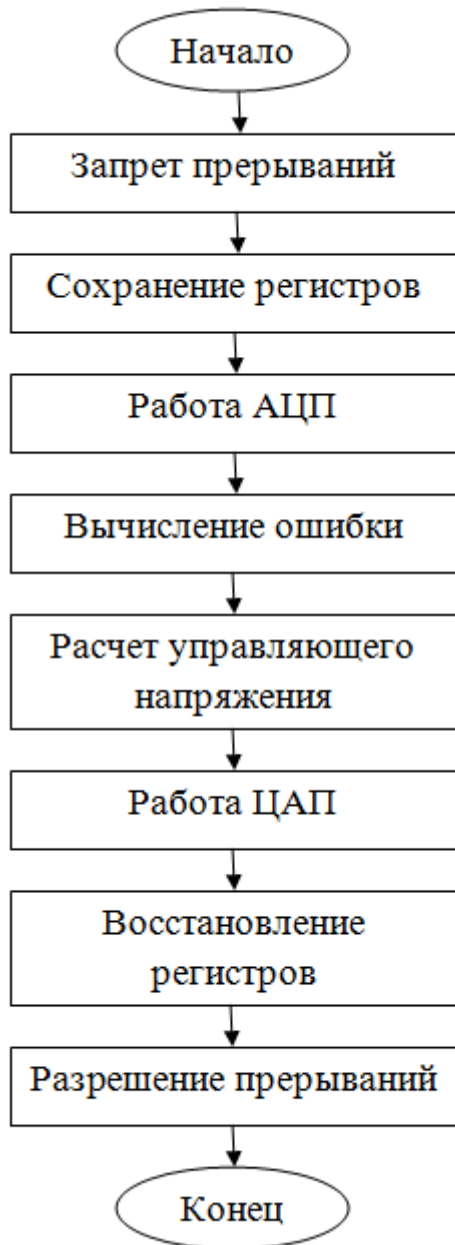
Микроконтроллер начинает свою работу с запуска аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Потом происходит инициализация портов (входов/выходов устройства) и их

Инф. № подл.	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

дальнейшая конфигурация. Затем разрешаются прерывания (приходит в работу программа прерываний микроконтроллера).

Прерывания таймера



Прерывания USB

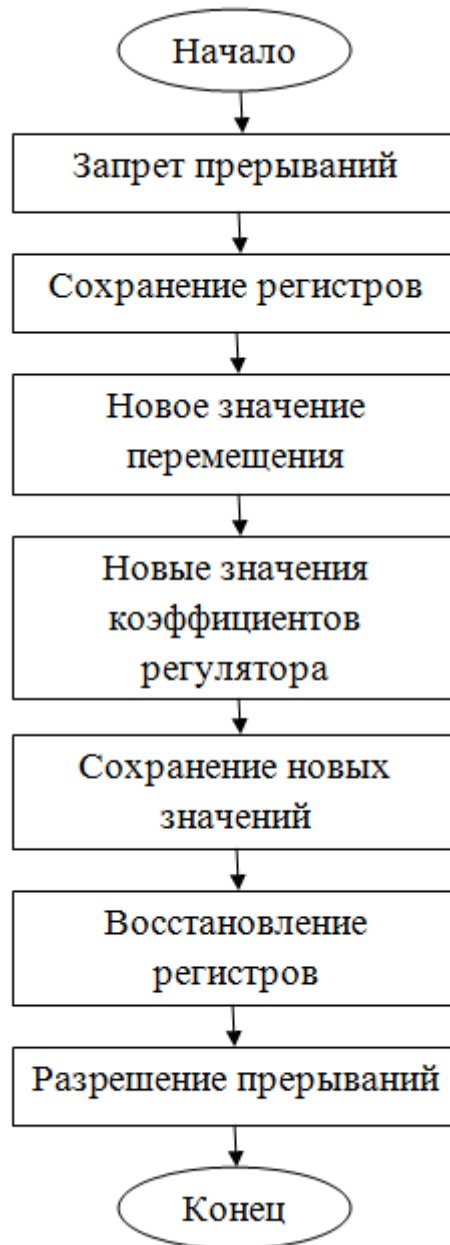


Рисунок 24 – Блок-схема программы обработки прерываний микроконтроллера

При осуществлении одних из прерываний запрещаются другие прерывания, и происходит сохранение регистров.

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Прерывания по таймеру: запускается аналого-цифровой преобразователь (АЦП), после чего пришедший аналоговый сигнал за некоторый промежуток времени преобразуется в цифровой сигнал. После считывания этой информации вычисляется значение ошибки (ошибка равна разности заданного и измененного значений). Далее происходит расчет управляющего напряжения, то есть реализация регулятора. Затем рассчитанная информация поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), который за определенное время снова преобразует информацию, но уже обратно в аналоговый сигнал.

Прерывания USB (непосредственная работа с пользователем через внешнее устройство - компьютер): пользователь задает необходимые значение перемещения и значения коэффициентов регулятора, которые сохраняются в постоянной памяти микроконтроллера для дальнейшей работы с ними.

По окончании работы прерывания восстанавливаются регистры и разрешаются новые прерывания.

Подп. И дата

Инб. № дубл.

Взам. инб. №

Подп. И дата

Инб. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

36

8 Разработка элементов технической реализации системы управления

8.1 Микроконтроллер

Выбранный микроконтроллер должен обладать следующими параметрами: наличием встроенных аналого-цифрового (АЦП) и цифро-аналогового (ЦАП) преобразователей, USB-порта для связи с компьютером. К данным требованиям подошел микроконтроллер STM32F372CBT6 от компании «ST Microelectronics».

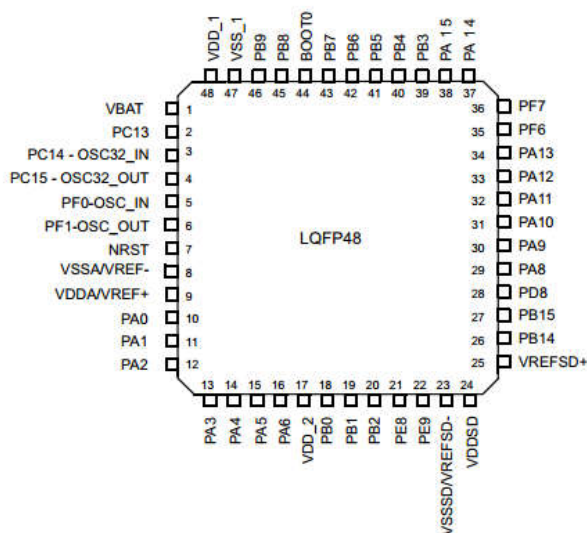


Рисунок 25 – Конфигурация портов микроконтроллера

Технические характеристики:

- ядро – ARM Cortex-M4;
- flash-память – 128 Кбайт, RAM-память – 24 Кбайт;
- максимальная частота ядра – 72 МГц;
- кол-во каналов АЦП – 14, разрешение АЦП – 16 бит;
- кол-во каналов ЦАП – 1, разрешение ЦАП – 16 бит;
- 2 сторожевых таймера, 1 интерфейс USB-устройства;
- напряжение питания от 2 В до 3.6 В.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

8.2 Высоковольтный усилитель

Данный усилитель должен усиливать выходное напряжение микроконтроллера (0 – 3.6 В) в управляемое напряжение, которое подается на пьезоактуатор (100 – 150 В). Мной выбран высоковольтный операционный усилитель ADA4700-1ARDZ от компании «Analog Devices».

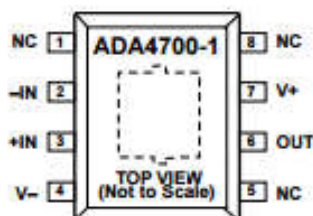


Рисунок 26 – Конфигурация портов усилителя

Технические характеристики:

- достаточно широкий диапазон рабочих напряжений – от 5 В до 50 В;
- относительно высокий выходной ток привода – 30 мА;
- высокая пропускная способность усиления.

8.3 Преобразователь напряжения

Чтобы осуществить работу микроконтроллера необходимо преобразовать 12 В постоянного тока в 2 – 3.6 В постоянного тока. Для достижения этой цели будем использовать DC/DC преобразователь напряжения LM2676S-ADJ от компании «Texas Instruments».

Выбранное устройство принимает входное напряжение от 8 В до 40 В и преобразует его в регулируемое выходное напряжение от 1,2 В до 37 В (также есть фиксированное значение 3.3 В, что удовлетворяет условию). Эффективность работы больше 90% получают за счет использования переключателя питания DMOS с низким сопротивлением. Фиксированная частота внутреннего генератора – 260 кГц.

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

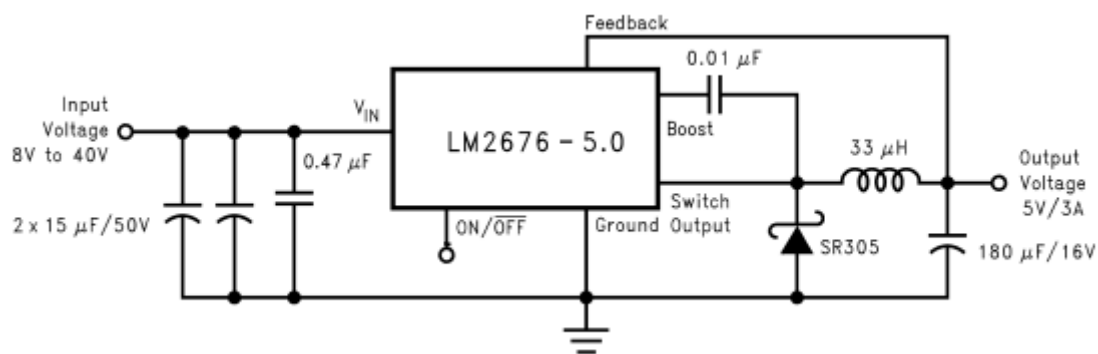


Рисунок 27 – Схема подключение преобразователя напряжения

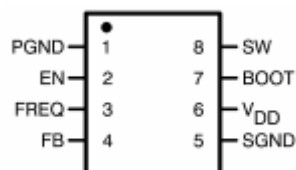


Рисунок 28 – Контакты преобразователя напряжения

8.4 Датчик положения

Принцип работы биморфного пьезоактюатора заключается в деформации пластин, из которых он состоит, следовательно, для наиболее точного измерения изменения положения актюатора подойдет тензометрический датчик и его полная мостовая схема с активными датчиками во всех четырех плечах моста.

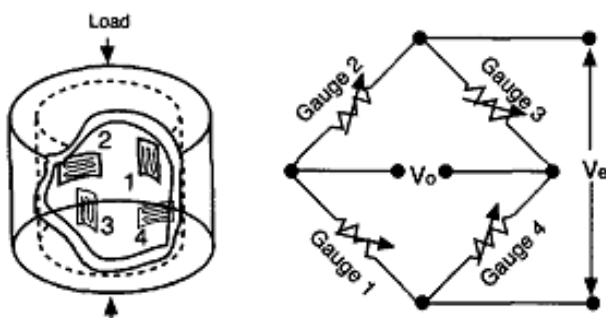


Рисунок 29 – Полная мостовая схема тензометрического датчика

Для данной цели будем использовать полномостовой тензорезисторный датчик N11MA212023 от компании «RS Pro». Выбранный датчик имеет

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инф. №	Инф. № дубл.
Подп. И дата	
Инф. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

ламинированную поверхность и интегральные провода и пригоден для измерения как статической, так и динамической деформации.

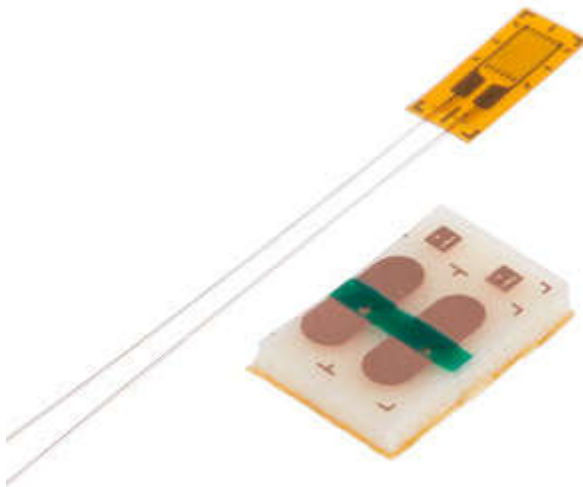


Рисунок 30 – Тензометрический датчик N11MA212023

Технические характеристики:

- тип клеммы – проводник;
- размеры – 6х2,5 мм;
- калибровочный множитель – 2;
- диапазон рабочих температур – от -30 до +80°C;
- сопротивление датчика – 120 Ом.

+ Bridge Voltage	1	24	+ V _S
N/C	2	23	N/C
Compensation	3	22	-V _S
N/C	4	21	N/C
N/C	5	20	Bridge Ref Input
+ Input	6	19	N/C
N/C	7	18	Feedback
N/C	8	17	N/C
N/C	9	16	Output
- Input	10	15	N/C
N/C	11	14	N/C
- Bridge Voltage	12	13	Zero Adjust

Рисунок 31 – Контакты тензометрического датчика

Инф. № подл.	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

8.5 Усилитель

Чтобы обеспечить правильную работу всего устройства необходимо усилить сигнал с тензометрического датчика. Для этого будем использовать инструментальный усилитель AD8221 от компании «Analog Devices».

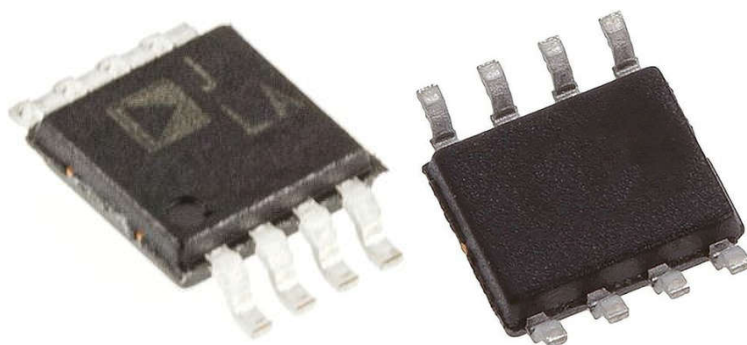


Рисунок 32 – Инструментальный усилитель AD8221

В данном усилителе можно регулировать коэффициент усиления (от 1 до 1000) в зависимости от R_G . Усилитель является прецизионным с обратной связью по току. Рабочее напряжение от $\pm 2,3$ В до ± 18 В.

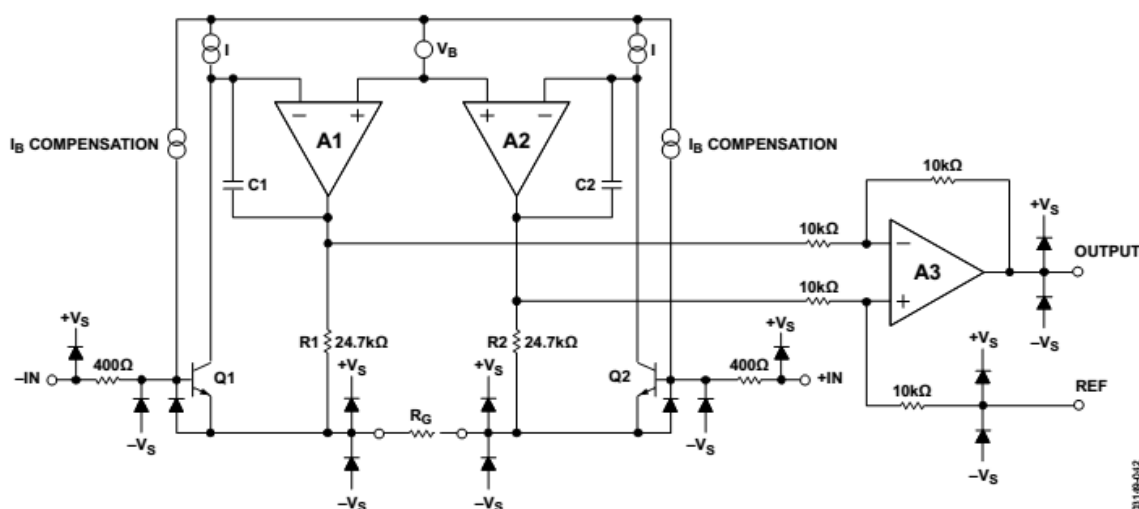


Рисунок 33 – Схема инструментального усилителя

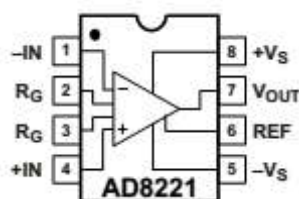


Рисунок 34 – Контакты инструментального усилителя

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

Заключение

По итогу выполнения выпускной квалификационной работы была разработана быстродействующая система управления исполнительным механизмом на базе биморфного пьезоактюатора.

Разработанное устройство состоит из пьезоактюатора, на который прикреплен тензометрический датчик (для обеспечения точных измерений перемещения), микроконтроллера, в котором встроены аналого-цифровой (АЦП) и цифро-аналоговый (ЦАП) преобразователи, служащий для обработки поступающей информации и создания управляющего сигнала, также присутствуют вспомогательные элементы: преобразователь напряжения и усилители напряжений, которые необходимы для питания всех элементов системы.

В программе Matlab и пакете Simulink был промоделирован выбранный актюатор, найден регулятор, необходимый для обеспечения всех заданных показателей качества, проведена дискретизация этого регулятора, так как система должна работать с цифровым устройством, а также спроектирована полная система управления пьезодвигателем. Время переходного процесса $T_{\text{пп}} = 0,03$ с, перерегулирование отсутствует, погрешность работы устройства с учетом погрешности работы датчика = 0,5%.

Разработанная система не имеет аналогов, а элементы ее технической реализации находятся в свободном доступе, следовательно, есть возможность промышленного применения данного устройства.

Так как в России разработка и производство систем управления недостаточно развиты, можно считать выполненную работу актуальной.

Выпускная квалификационная работа представлена отдельными документами:

- КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ – Пояснительная записка;
- КСУИ.101.Р3442.002 Э1 – Схема электрическая функциональная;
- КСУИ.101.Р3442.003 Э2 – Схема электрическая структурная.

Инф. № подл.	Подп. И дата	Взам. инф. №	Инф. № дубл.	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.Р3442.001 ПЗ

Лист

42

Список использованных источников

- 1 <http://www.physikinstrumente.com> [Электронный ресурс] «Physik Instrumente» (Германия). URL: <https://www.physikinstrumente.com/en/products/linear-stages-and-actuators/piezo-stages/p-853-p-854-piezoelectric-micrometer-drive-704100/> (дата обращения: 25.02.2017)
- 2 www.eurotek-general.ru [Электронный ресурс] «Евротек Дженерал» (Россия). URL: http://www.eurotek-general.com/products/systems_pi_micro/line_actuator/n-310-/?sphrase_id=1415#ad-image-0 (дата обращения: 25.02.2017)
- 3 <http://www.elpapiezo.ru> [Электронный ресурс] «Элпа» (Россия). URL: <http://www.elpapiezo.ru/Datasheets/BYMORF.pdf> (дата обращения: 25.02.2017)
- 4 <http://www.visionica.ru> [Электронный ресурс] «Визионика» (Россия). URL: http://www.visionica.ru/info/DataSheet-PAD-120_a4_rus.pdf (дата обращения: 25.02.2017)
- 5 <http://www.cedrat-technologies.com> [Электронный ресурс] «Cedrat Technologies» (Франция). URL: http://www.cedrat-technologies.com/fileadmin/user_upload/cedrat_groupe/Mechatronic_products/Piezo_actuators_electronics/APAs/Technical_Datasheet/PPA/PPA20M_GB_v3.4.pdf (дата обращения: 25.02.2017)
- 6 Панич, А.Е. Пьезокерамические актюаторы / А. Е. Панич. – Ростов-на-Дону. 2008. – 153 с.
- 7 <http://www.elpapiezo.ru> [Электронный ресурс] «Элпа» (Россия). URL: <http://www.elpapiezo.ru/cts-46.shtml> (дата обращения: 11.03.2017)
- 8 Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления / Бесекерский В. А., Попов Е. П. - Спб.; Профессия, 2003 - 752 с.

Инф. № подл.	Подп. И дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. И дата	Подп. И дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

43

9 Бобцов, А.А. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений / А.А. Бобцов, В.И.Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев - СПб.: НИУ ИТМО, 2011. - 131с.

10 Бойков В. И. Правила оформления курсовых и квалификационных работ / В. И. Бойков, С. В. Быстров, А. С. Кремлев, К. А. Сергеев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 36с., ил.

11 <http://www.st.com> [Электронный ресурс] «STMicroelectronics» (Швейцария). URL: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/f0/ac/ee/70/19/13/4f/56/DM00046749.pdf/files/DM00046749.pdf/jcr:content/translations/en.DM00046749.pdf> (дата обращения: 22.04.2017)

12 <http://www.analog.com> [Электронный ресурс] «Analog Devices» (Америка). URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADA4700-1.pdf> (дата обращения: 22.04.2017)

13 <https://www.ti.com> [Электронный ресурс] «Texas Instruments» (Америка). URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2676.pdf> (дата обращения: 22.04.2017)

14 <http://ru.rsdelivers.com> [Электронный ресурс] «RS Components Russia» (Российский дистрибьютор). URL: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0ddf/0900766b80ddff66.pdf> (дата обращения: 22.04.2017)

15 <http://www.analog.com> [Электронный ресурс] «Analog Devices» (Америка). URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8221.pdf> (дата обращения: 22.04.2017)

Подп. И дата

Инф. № дубл.

Взам. инф. №

Подп. И дата

Инф. № подл.

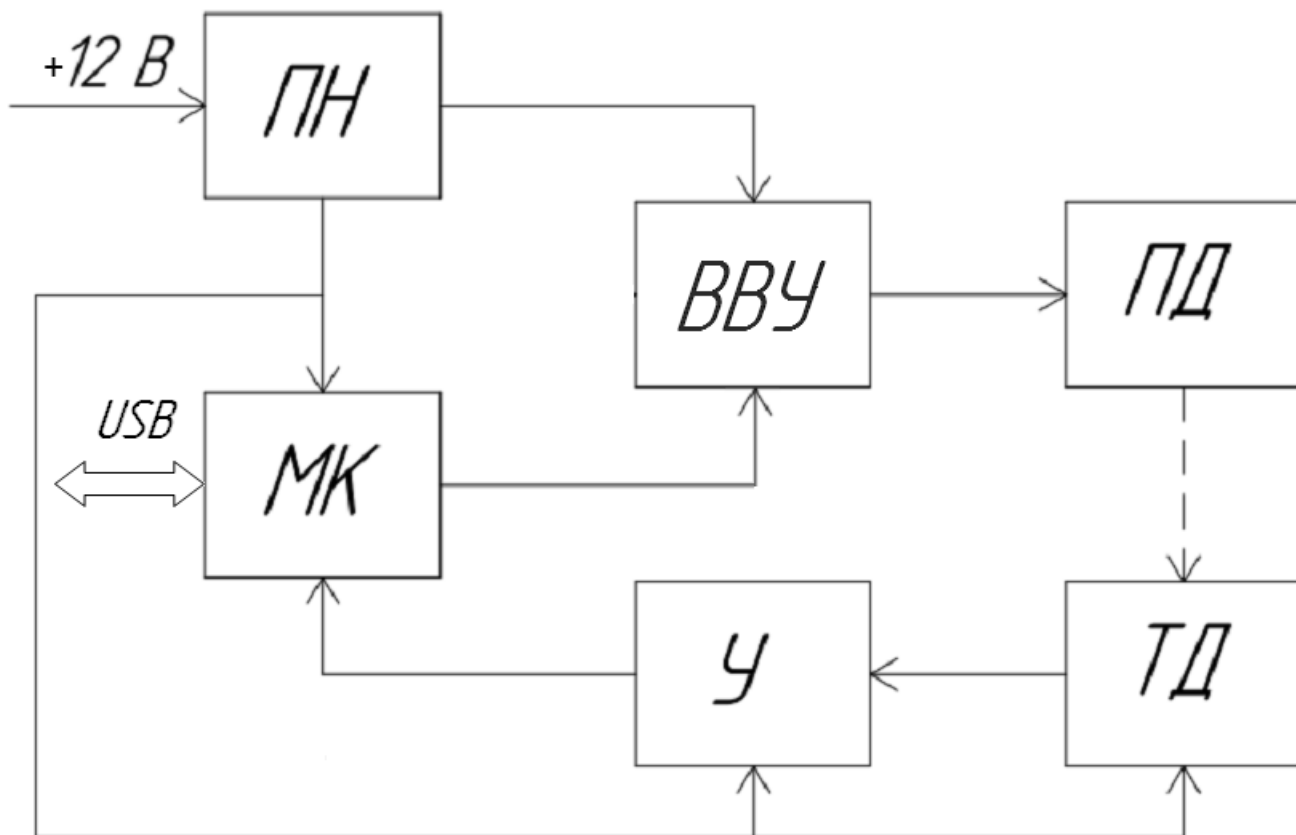
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.РЗ442.001 ПЗ

Лист

44

КСЧУ.101.P3442.002 Э1



КОМПАС-3D V16 Учебная версия © 2015 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

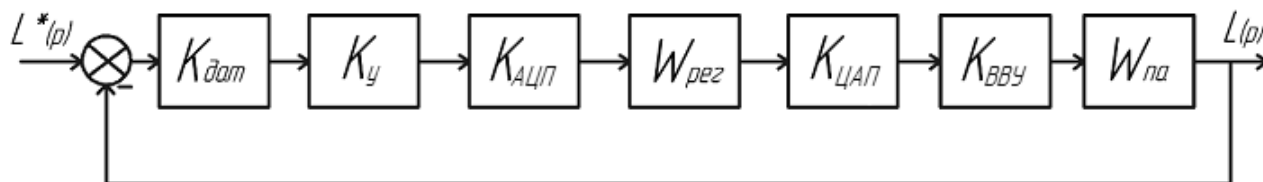
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Акишина В.А.			
Пров.	Бойков В.И.			
Т.контр.				
Н.контр.	Ведяков А.А.			
Утв.	Бодцов А.А.			

КСЧУ.101.P3442.002 Э1			
Система управления биморфным пьезоактюатором		Лит.	Масса
Схема электрическая функциональная		Лист	Листов 1
		Университет ИТМО Кафедра СЧУИ Группа Р3442	

КСУИ.101.P3442.003 Э2

Перв. примен.

Справ. №



КОМПАС-3D V16 Учебная версия © 2015 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Акишина В.А.		
Пров.		Бойков В.И.		
Т.контр.				
Н.контр.		Ведяков А.А.		
Утв.		Бодцов А.А.		

КСУИ.101.P3442.003 Э2

Система управления
диморфным пьезоактюатором

Схема электрическая
структурная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист	Листов	1
Университет ИТМО Кафедра СУИИ Группа Р3442		