

Содержание

1.	Введение.....	7
2.	Учебно-лабораторный комплекс.....	9
2.1.	Принципы построения комплекса.....	9
2.2.	Принципы работы комплекса.....	12
3.	Техническое описание УЛК.....	14
3.1.	Нагружающий модуль.....	14
3.2.	Модуль датчиков.....	16
3.3.	Универсальные модули исследуемого двигателя.....	17
3.4.	Методы соединения модулей между собой.....	18
4.	Разработка модуля УЛК для исследования характеристик пьезодвигателя ПД46.....	21
4.1.	История развития и перспективы применения пьезодвигателей.....	21
4.2.	Классификация и особенности пьезодвигателей.....	25
4.3.	Характеристики пьезоэлектрических двигателей вращения типа ПД.....	30
4.4.	Анализ работы ПДВ.....	33
5.	Методика энергетического расчета ЭСП на основе ПДВ.....	35
5.1.	Цели и задачи расчета.....	35
5.2.	Механическая часть ЭСП.....	36
5.3.	Представление ПДВ эквивалентной схемой при энергетическом расчете.....	37
5.4.	Условия обеспечения ЭП требуемого движения ОУ.....	38
5.5.	Определение максимальной механической мощности привода.....	39
5.6.	Проверка ПД на нагрев.....	40
6.	Выбор оптимальной системы управления ПДВ.....	44
6.1.	Выбор СУ ПДВ.....	44
6.2.	Выбор силовой части СУ ПДВ.....	47
6.3.	Моделирование работы силовой части в среде MicroCAP.....	49
6.4.	Анализ результатов моделирования	

и выводы.....	50
7. Аппаратура сопряжения. Плата сопряжения L-card L154.....	51
8. Программное обеспечение.....	54
9. Технологическая часть.....	59
10. Организация и планирование производства.....	74
11. Промышленная экология и безопасность.....	84
12. Список литературы.....	98

1. Введение.

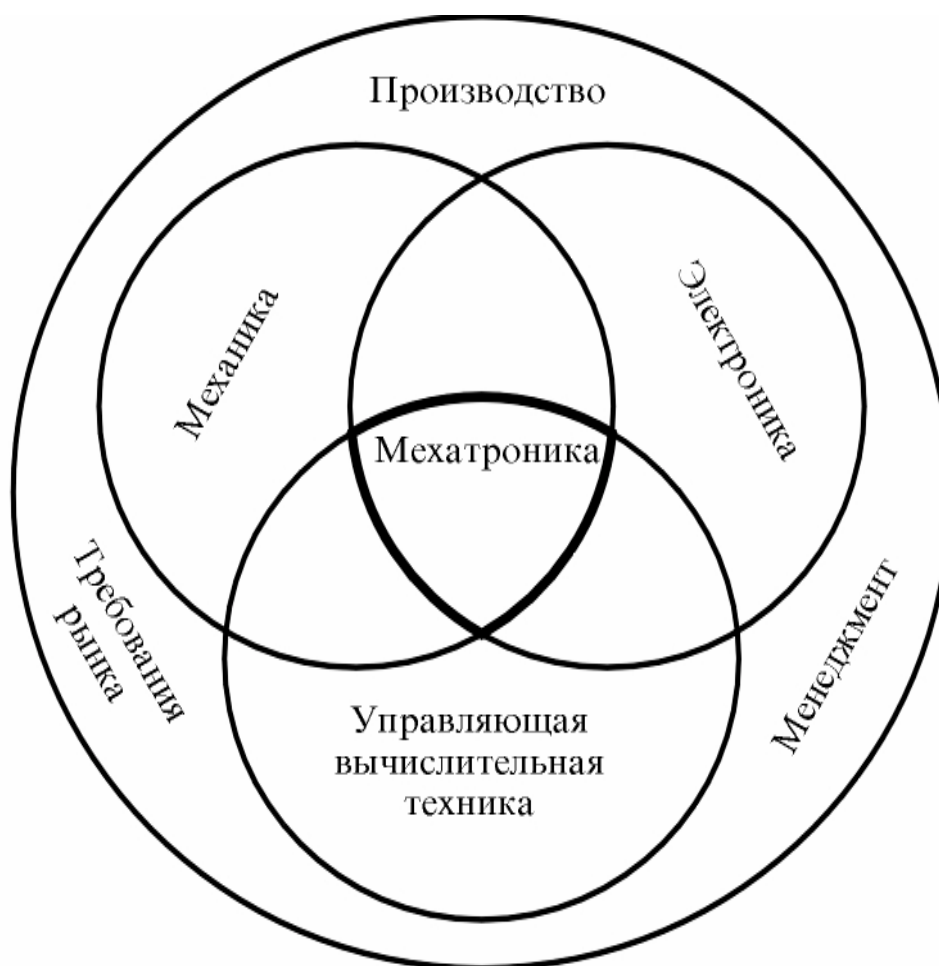
Учебно-исследовательский комплекс предназначен для проведения лабораторных работ по мехатронике. Современный термин "Мехатроника" был введен фирмой Yaskawa Electric в 1969 году и зарегистрирован как торговая марка в 1972 году. Это название получено комбинацией слов "МЕХАника" и "ЭлекТРОНИКА". Объединение этих понятий в едином словосочетании означает интеграцию знаний в соответствующих областях науки и техники, которая позволила совершить качественный скачок в создании техники новых поколений и производстве новейших видов систем и оборудования.

Мехатроника - это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов.

В данном определении особо подчеркнута триединая сущность мехатронных систем (МС), в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных элементов. Наверное, поэтому наиболее распространенным графическим символом мехатроники стали три пересекающихся круга, помещенные во внешнюю оболочку "Производство" - "Менеджмент" - "Требования рынка".

Таким образом, системная интеграция трех указанных видов элементов является необходимым условием построения мехатронной системы.

Мехатроника изучает синергетическое объединение узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых модулей, систем, машин и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.



Мехатронная система включает в себя чувствительные элементы, источники энергии, исполнительные механизмы, ЭВМ. Поэтому необходимо, соответствующим образом согласовать работу ее механической и электрической частей. Создание и эксплуатация мехатронных систем требует воспитания нового поколения специалистов способных разрабатывать такие системы. Целью проведения лабораторных работ является исследование студентами мехатронных систем и их компонентов.

Учебно-исследовательский комплекс включает в свой состав:

1. Универсальный испытательный стенд;
2. IBM – компьютер (386 и выше) с платой сопряжения L154;
3. Эмулятор нагрузки;
4. Датчики положения и момента;
5. Аппаратура сопряжения и интерфейса;
6. Программное обеспечение.

2. Учебно-лабораторный комплекс.

2.1. Принципы построения комплекса.

Универсальный испытательный стенд функционально состоит из двух частей: основания и платформ. Основание выполняет две функции:

1. Служит для фиксации положения в пространстве платформ с исследуемыми компонентами привода;
2. Содержит базовые поверхности для координации взаимного положения платформ и частей привода.

Платформы служат для установки частей исследуемого электрического привода и загружающего модуля, для расположения их требуемым образом относительно друг друга, а также для обеспечения необходимой точности относительного взаимного расположения частей исследуемого электрического привода. Для реализации описанных функций, к основанию испытательного стенда применяются следующие требования:

1. Жесткость конструкции;
2. Точность формы поверхностей, контактирующих с платформами.

Основание состоит из направляющих, на которых устанавливаются платформы, и корпусные детали, в которые крепятся направляющие.

Жесткость конструкции достигается жесткостью ее отдельных элементов и жесткостью их соединения. Точность взаимного расположения обеспечивается тем, что при сборке направляющие базируются по поверхности паза на корпусных деталях (см. рис.1).

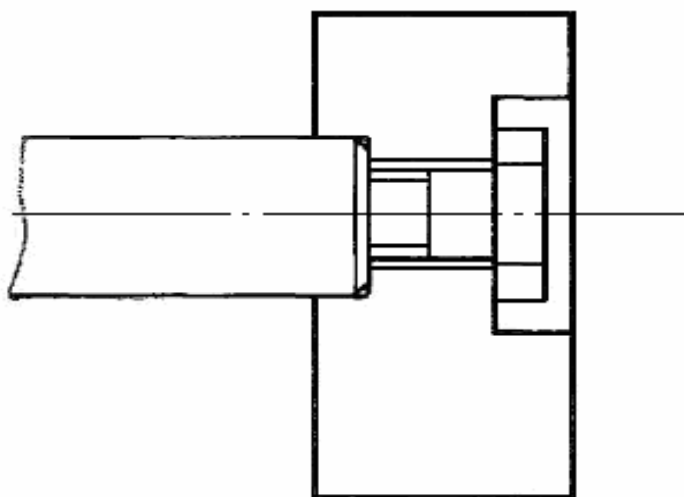


рис.1.

Взаимный перекос в пространстве между направляющими устраняется тем, что при сборке направляющие находятся на ладонной горизонтальной поверхности. Для придания конструкции основания более эстетического внешнего вида все крепежные детали утоплены в поверхность корпусных деталей.

Платформы универсального испытательного стенда обеспечивают точное взаимное расположение частей испытываемого электрического привода путем точного взаимного расположения платформ друг относительно друга и точного расположения частей испытываемого электрического привода на платформах.

Для обеспечения точного взаимного расположения платформ все платформы имеют базовую поверхность (две плоскости одного паза и одна плоскость другого паза, см. рис.2). Паз с двумя базовыми плоскостями является базовым пазом, т.к. по нему осуществляется базирование платформы на основании. При этом контакт базовых поверхностей паза платформы с направляющими и фиксация платформ на основании, осуществляется при помощи прижимных шайб (см. рис. 2).

Прижимная шайба крепится к платформе одним болтом, чтобы

обеспечить равномерное прилегание поверхности прижимной шайбы к направляющей путем самоориентации шайбы.

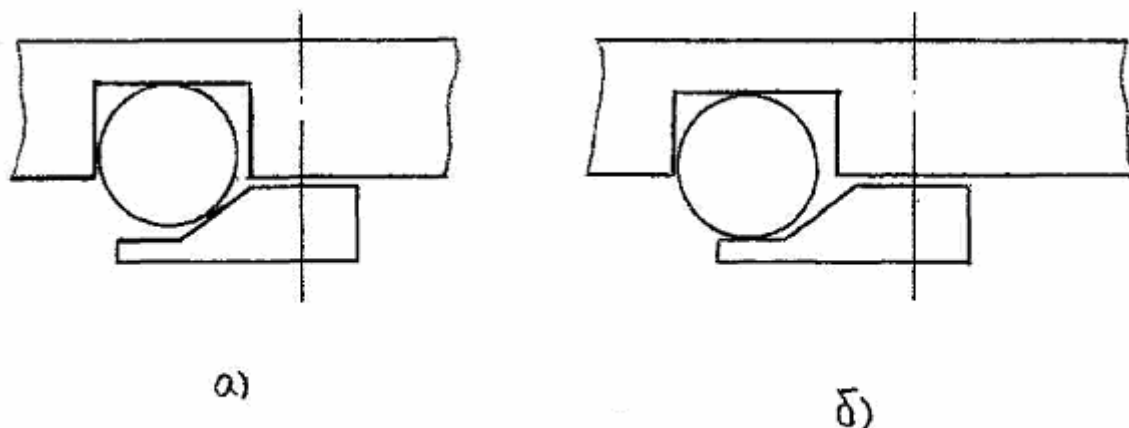


рис.2.

Расположение прижимных шайб и крепежных болтов по краям платформы обеспечивает легкий доступ гаечным ключей к крепежным болтам, поэтому перемещение платформ по основанию осуществляется легко.

Крепление частей испытываемого электрического привода на платформах осуществляется с помощью набора кронштейнов. При этом необходимо решить две задачи:

- 1) Обеспечить базирование кронштейна относительно платформы;
- 2) Обеспечить базирование компонентов электрического привода относительно платформы.

Базирование кронштейна относительно платформы должно обеспечиваться по трем координатам. Для исключения перемещения по двум координатам кронштейн прижимается винтами к двум базовым поверхностям платформы (боковая поверхность и выступ).

Запрещение перемещения по третьей координате осуществляется с помощью, запрессованного в платформу штифта, который входит в паз кронштейна (см. рис. 3).



рис.3.

Необходимо отметить, что конструкция кронштейнов и платформ оптимизирована с целью упрощения формы и, следовательно, изготовления. При этом конструкция испытательного стенда получилась жесткой, но не массивной.

2.2. Принципы работы комплекса.

Конструкция универсального испытательного стенда разработана с использованием принципов модульного построения. Эта особенность позволяет осуществлять гибкое планирование и проведение экспериментов.

Модульная конструкция позволяет быстро производить сборку испытательного стенда из отдельных модулей. Так как модули легко перемещаются по направляющим, стыковка модулей между собой происходит, легко. Для получения соосных соединений необходимо, чтобы оси различных, модулей находились на одной высоте (это необходимо обеспечить при изготовлении кронштейнов). При этом базирование может осуществляться по штифту, либо не осуществляться. Например, если осуществляется соединение различных модулей с помощью муфты, то кронштейны должны базироваться по штифтам для устранения взаимного перекоса. Если же осуществляется, соединение модулей с помощью, например г ременной передачи, базирование по штифтам необязательно»

а ; иногда и невозможно, т.е. для обеспечения натяжения ремня может быть необходимо изменение межосевого расстояния.

Также модульная конструкция позволяет гибко производить исследования электрических приводов. Например, возможно проводить испытания электрических приводов с разными датчиками в обратной связи, или возможно использовать различные типы загружающих модулей. Либо возможно использовать один и тот же загружающий модуль и модуль датчиков для исследования различных приводов. Для проведения испытаний различных приводов целесообразно иметь некоторый набор загружающих модулей различной мощности, набор модулей с датчиками обратной связи разного типа. В этом случае, можно весьма быстро изменять условия эксперимента и структуру исследуемого привода т.ж. Можно быстро снять платформы и установить вместо них другие на их место.

3. Техническое описание УЛК.

3.1. Нагружающий модуль.

Нагружающий модуль функционально состоит из силовой части и измерительной части. Силовая часть представляет собой двигатель постоянного тока ДП 60-90, установленный на кронштейне специальной конструкции. Крепление двигателя осуществляется таким образом, что корпус двигателя установлен в подшипниках и имеет возможность свободно вращаться вокруг своей оси. Эта особенность положена в основу метода измерения момента.

Измерение момента на валу двигателя осуществляется косвенным способом, путем измерения момента на корпусе двигателя. При возникновении момента на валу двигателя, такой же по величине и противоположный по направлению момент возникает на корпусе двигателя. Если корпус двигателя связан с упругим элементом, то по величине деформации этого упругого элемента можно определить величину действующего на корпус момента и, следовательно, величину момента на валу двигателя. При этом возникает проблема, заключающаяся в том, что наличие упругого элемента приведет к возникновению упругости в контуре управления. Таким образом, данный способ измерения момента применим только в том случае, если жесткость упругого элемента относительно высока и соответственно, деформации незначительны.

В данном случае проблема возникновения упругости решается следующим образом: в качестве упругого элемента используется датчик, служащий для измерения величины деформации – датчик перемещения с чувствительным элементом на сапфировой пластине типа С-0.

Требуемая жесткость упругого элемента достигается, во-первых, выбором типа датчика, а, во-вторых, выбором длины рычага, на плече которого действует упругий элемент - датчик.

Таким образом, принцип действия загружающего модуля следующий: момент на валу загружающего двигателя приводит к возникновению такого же по величине и противоположного по направлению момента на корпусе двигателя. При этом корпус двигателя установленный в подшипниках, проворачивается на величину пропорциональную моменту и зависящую от жесткости упругого элемента (датчика). Величина этого поворота и величина момента измеряются датчиком перемещения.

При сборке и использовании загружающего модуля могут возникнуть следующие проблемы: во-первых, это опасность возникновения люфта при наличии ненулевого зазора между штоком датчика и рычагом, соединенным с корпусом двигателя, во-вторых, это проблема центровки датчика и всего загружающего модуля в целом.

Первая проблема может решаться двумя способами: во-первых, можно использовать рычаг, действующий на датчик, состоящий из двух половин. При этом люфт выбирается на этапе сборки путем фиксации половин рычага при полном отсутствии зазора. Во-вторых, можно использовать монолитный рычаг и шток датчика переменной толщины. При этом выбор люфта происходит при регулировке загружающего модуля.

Проблема центровки датчика оказывается решенной автоматически при решении первой проблемы, так как датчик, являясь одновременно и упругим элементом, автоматически устанавливается в нейтральное положение.

Измеренная величина момента на валу двигателя используется для замыкания обратной связи по моменту, если модуль используется для создания возмущающего воздействия на валу исследуемого привода. Либо загружающий модуль может использоваться как датчик момента на валу исследуемого привода.

3.2. Модуль датчиков.

Модуль датчиков представляет собой законченный блок, предназначенный для замыкания цепей обратной связи исследуемого привода, либо для измерения координат по углу и скорости исследуемого привода.

Также возможно использовать модуль датчиков для оценки точности быстродействия и других показателей качества испытываемой системы.

Исходя из задач возлагаемых на модуль датчиков, возможна различная реализация этого устройства. В случае если модуль датчиков используется в качестве датчиков обратной связи исследуемого привода, он может содержать, к примеру, потенциометрический датчик положения и тахогенератор постоянного тока.

С исследуемым приводом такой модуль датчиков может соединяться сильфонной муфтой какой-либо механической передачей, либо он может быть самостоятельным кинематическим звеном между испытываемым приводом и загружающим модулем, имитирующим нагрузку.

Если модуль датчиков используется для оценки точности системы управления положением, он может содержать импульсный либо цифровой датчик положения.

В этом случае оценку точности системы можно проводить с использованием ЭВМ и модуля сопряжения датчиков и ЭВМ. Соответственно, для оценки качества тахометрической системы должен использоваться тахометрический датчик типа синхронного тахогенератора, а для комплексной оценки качества исследуемой системы необходимо использовать блок из точных датчиков угла и скорости, типа импульсного датчика угла и синхронного тахогенератора. Либо при определенных условиях, возможно использование только датчика угла поворота типа импульсного или цифрового датчика и программной, либо аппаратной схемы дифференцирования координаты по положению.

Соответственно в зависимости от функций выполняемых блоком датчиков, изменяется место подключения модуля датчиков.

Если модуль датчиков используется для оценки точности системы, он включается на выходе системы управления на нагрузке, объекте управления либо на валу загружающего модуля имитирующего нагрузку и возможные возмущающие воздействия.

Если модуль датчиков используется для замыкания обратной связи исследуемого привода, он включается на валу исследуемого привода, либо после редуктора или кинематической передачи, имитирующей редуктор.

3.3. Универсальные модули исследуемого двигателя.

Модуль исследуемого привода представляет собой платформу с кронштейном, предназначенным для установки двигателя испытываемого привода.

Предполагается, что для проведения экспериментов иметь набор кронштейнов, каждый из которых имеет универсальные посадочные места для определенного типа двигателей и конструктивные особенности, позволяющие устанавливать на нем любой из двигателей данной серии. Либо возможно изготавливать кронштейн для каждого нового из исследуемых двигателей. Модули исследуемого привода могут изготавливаться в двух вариантах: согласно первому варианту, на модуле устанавливается только исследуемый двигатель; согласно второму варианту, на модуле устанавливается исследуемый двигатель вместе с датчиками обратной связи исследуемого привода.

Первый случай предпочтительнее, когда происходят исследования привода с различными вариантами организации обратной связи, либо с различными вариантами датчиков в цепи обратной связи. В этом случае модуль исследуемого привода остается неизменным, меняются только модули датчиков, второй вариант более рационален в случае, когда датчики обратной связи окончательно выбраны и неизменны.

В этом случае, если двигатель и исследуемые датчики находятся на одной платформе, во-первых, экономится место на основании

испытательного стенда, которое можно использовать для каких-либо других модулей или задач, во-вторых, испытуемый двигатель и датчики обратной связи соединены в пределах одной платформы именно тем способом, которым они были бы объединены в реальном приводе.

Модуль исследуемого привода имеет следующую особенность: кронштейн этого модуля не фиксируется на платформе однозначно по трем координатам, а имеет возможность устанавливаться произвольно по одной из координат. Сделано это для того, чтобы иметь возможность скорректировать положение кронштейна с исследуемым двигателем, т.к. на практике зачастую могут возникнуть случаи, когда двигатель и, к примеру, загружающий модуль, соединены ременной передачей, в этом случае необходимо обеспечить натяжение ремня, для чего одна из осей – ось исследуемого привода сделана подвижной.

При этом для других механических передач может использоваться сильфонная муфта, которая компенсирует возникающие несоосности.

3.4. Методы соединения модулей между собой.

Необходимым условием функционирования стенда является объединение отдельных модулей в единую систему. Для этого могут применяться различные виды механических передач. Одним из путей моделирования является натурное моделирование. При натурном моделировании на испытательном стенде собирается полноразмерная действующая модель электрического привода.

В этом случае исследования могут принести наиболее достоверные результаты, однако данный способ проведения экспериментов абсолютно неприемлем в том случае, если исследуемый привод является чисто экспериментальным, либо изготовление полного варианта системы имеет достаточно большую стоимость, либо, к примеру, редуктор исследуемого привода по своим габаритам не может быть установлен на универсальный испытательный стенд.

В подобных случаях имеет смысл проводить не испытания

полноразмерной модели, а испытания упрощенной модели. К примеру, в случае, когда датчики обратных связей находятся на валу исполнительного двигателя, а редуктор находится между нагрузкой и исполнительным двигателем, имеет смысл проводить исследования системы без редуктора.

В этом случае, естественно, необходимо сделать соответствующие поправки на условия нагружения и результаты экспериментов. Соответственно, в этом случае возможно проведение испытаний намного более мощных приводов с использованием того же загружающего модуля,

Необходимо отметить, что методику проведения испытаний привода с исключением из испытываемых узлов редуктора имеет смысл рекомендовать практически для всех случаев испытаний, т.к. в этом случае, во-первых, стоимость экспериментов существенно снижается, а дешевизна проведения экспериментов является непреложным требованием к испытательному стенду. Во-вторых, упрощаются методики испытаний, и расширяется диапазон исследуемых приводов по мощности. Исключать редуктор из исследуемой системы невозможно только в случае, когда целью испытания является исследование погрешностей редуктора.

Объединение исследуемых модулей в единую систему необходимо производить с помощью элементов механической передачи, которые позволяют наиболее быстро и гибко изменять структуру и конфигурацию испытательного стенда, т.к. эти два условия являются основополагающими принципами построения испытательного стенда.

С использованием универсального испытательного стенда предлагается вариант проведения лабораторных работ, целью которых является исследование студентами регулировочных и механических характеристик разомкнутой и замкнутой по положению АС на основе поворотного вращательного пьезодвигателя (ПДВ) ПД-46. В качестве датчика положения использован импульсный датчик (ИД) типа ПУФ-мини-ФЭП, он жёстко

соединён с валом ПДВ и установлен в специальный кронштейн. Момент на валу ПДВ задаётся нагрузателем на основе ДП60-90, соединённым с ПДВ посредством зубчатой ременной передачи. В качестве датчика момента использован датчик на основе сапфировой пластины С-05. Связь датчиков с компьютером осуществляется через аппаратуру управления и плату сопряжения L-154. Темы лабораторных работ определены следующим образом:

1. Исследование регулировочных и механических характеристик разомкнутой по положению автоматической системы на основе ПДВ (ПД-46).

2. Исследование регулировочных и механических характеристик замкнутой по положению автоматической системы на основе ПДВ (ПД-46).

4. Разработка модуля УЛК для исследования характеристик пьезодвигателя ПД46.

4.1. История развития и перспективы применения пьезодвигателей.

На современном этапе научно-технического прогресса разработаны новые технологические средства, основанные на использовании известных физических явлений и эффектов. В частности к ним относятся пьезоэлектрические двигатели вращения (ПДВ). В литературе эти двигатели часто называются вибродвигателями (в зарубежной литературе – ultrasonic motors). Это название охватывает широкий класс устройств, работа которых основана на принципе преобразования ультразвуковых колебаний в перемещение. Так как тип преобразователя может быть электромагнитным, электродинамическим, магнитострикционным и т.п., а в данной работе рассматриваются двигатели только с пьезоэлектрическими преобразователями, то в дальнейшем будем их называть пьезоэлектрическими двигателями.

Принцип действия пьезоэлектрических двигателей основан на использовании обратного пьезоэффекта. Как известно прямой пьезоэлектрический эффект, открытый в 1880 г. Пьером и Жаком Кюри, заключается в возникновении на противоположных поверхностях твердого тела при его деформации (например, при сжатии или растяжении) одинаковых по величине, но разноименных электрических зарядов, а обратный пьезоэффект – соответственно в возникновении механических деформаций при приложении сил электрического поля к пьезоэлектрикам. Число природных пьезоэлектрических материалов превышает тысячу, хотя используется очень небольшое число соединений.

Практическое применение пьезоэлектриков началось в годы первой мировой войны, когда французский физик Пьер Ланжевен показал, что

кварцевые пластины могут быть приведены в колебание переменным электрическим полем, предложил применить (в 1916 г.) излучаемый при этом мощный ультразвук для подводной сигнализации и измерения глубин.

Следующим большим сдвигом было открытие Кэди У.: колеблющийся с резонансной частотой кварц оказывает на возбуждающее его переменное электрическое поле, стабилизирующее действие. Это послужило началом широкого использованием кварца для генерации и фильтрации радиочастот.

Открытие в 1944-1945 гг. одновременно советскими, японскими, и американскими исследователями сегнетоэлектрических свойств у керамического титаната бария дало возможность применить пьезокерамические преобразователи. Специальной обработкой керамических пьезоматериалов и приданием определенной формы изделиям из них удастся добиться направленных механических деформаций при организации электрического поля необходимого направления. Пьезокерамика из-за технологичности и низкой себестоимости изготовления быстро заменила пьезокристаллы во многих практических применениях. И, наконец, почти одновременное изобретение пьезодвигателей вращения в начале 1970-х: В.В.Лавриненко (в СССР), Н.В. Barth (в США.), Toshiiku Sashida (в Японии) стало началом развития вибропривода. В дальнейшем зарубежные разработчики сосредоточили основное внимание на проектировании волновых пьезодвигателей (по причине принадлежащего им патента). Хотя в основу их работы положен принцип бегущей волны, отличающийся от принципа работы рассматриваемых в дипломе двигателей, но в них достаточно много общего. В СССР в основном велись разработки пьезодвигателей обычного типа. В настоящее время пьезодвигатели нашли свое практическое применение. В Японии в начале 80-х компании Canon, Matsushita, Sony, Nipon, Kogaku и др. анонсировали о разработке волновых двигателей

(traveling wave ultrasonic motor) для промышленности, а в 1987г. компания Canon объявила об их использовании в фотокамерах серии EOS и EF для механизма автофокусировки.

Американское космическое агентство NASA/JPL объявило о разработке высоко-моментных волновых пьезодвигателей вращения, предназначенных для использования в приводах манипулятора марсохода Mars Micro Lander.

Волновые пьезодвигатели также нашли применение в зарубежной военной промышленности. Так корпорация Aerotech (США) объявила об окончании первой фазы трех стадийного контракта с (Ballistic Missile Defens Organization (BMDO)) Организацией по противоракетной обороне (ПРО) (SBIR – space-based interceptor rocket). Корпорация Aerotech разработала две различные подсистемы, основанные на использовании пьезодвигателей для применения в ракетной технике. Первая из них (flight control surface actuation system) система управления полетом ракет Tomahawk, вторая - (safe/arm fusing device for missiles) система приведения в боевое действие заряда ракет (снятия с предохранителя).

Не смотря на все вышесказанное, пьезоэлектрические двигатели (ПЭД) – направление в технике, которое до последнего времени требует значительных усилий для нахождения собственной ниши. ПЭД имеют ряд несомненных преимуществ перед электромагнитными или иными двигателями, имеющими ныне широкое распространение.

Первое, что в них привлекает, - это отсутствие индукционных обмоток, изготовленных, как правило, из медного или алюминиевого провода и специального наборного сердечника. Рабочим элементом в них является пьезоэлектрическая керамика – один из немногих материалов, применяемых сегодня в технике, способных преобразовать электрическую энергию в механическую с фантастическим КПД, превышающим у отдельных видов 90%. Это позволяет получить уникальные приборы, в которых электрические колебания прямо преобразуются во вращательное

движение ротора, при этом усилие, развиваемое на оси такого двигателя столь велико, что исключает необходимость применения какого-либо механического редуктора для повышения крутящего момента.

ПЭД имеют значительно меньшие габариты и массу по сравнению с аналогичными по силовым характеристикам электромагнитными двигателями. Отсутствие обмоток, пропитанными склеивающими составами, делает их пригодными для использования в условиях вакуума. ПЭД обладают значительным моментом самоторможения (до 50% от T_{max} крутящего момента) при отсутствии питающего напряжения за счет своих конструктивных особенностей. Это позволяет обеспечивать очень малые дискретные угловые перемещения (от единиц угловых секунд) без применения каких-либо специальных мер. Это свойство связано с квазинепрерывным характером работы пьезодвигателя. Действительно, пьезоэлемент, который преобразует электрические колебания в механические питается не постоянным, а переменным напряжением резонансной частоты. При подаче одного или двух импульсов можно получить очень маленькое угловое перемещение ротора. Например, некоторые образцы ПЭД, имеющие рабочую частоту вращения 0.2-6 об/с при подаче одиночного импульса на обкладки пьезоэлемента дадут в идеальном случае угловое перемещение ротора в $1/9900000 - 1/330000$ от величины окружности, т.е. 0.13-3.9 угловых секунд.

В СССР велись разработки устройств на основе пьезоэлектрических двигателей. ПЭД планировались применяться в некоторых образцах медицинского и лабораторного оборудования (монитор к аппарату «искусственная почка», перистальтический насос и др.)

ПЭД – также могут с успехом использоваться в тех областях техники, где необходимо достижение минимальных угловых перемещений, например, в астрономии, в космических исследованиях там, где требуется точная ориентировка по весьма малым объектам (звездам); в ускорителях заряженных частиц, где необходимо удерживать энергетический пучок в

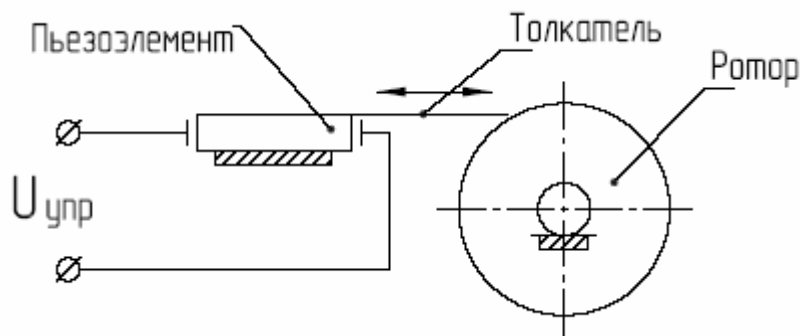
строго заданных геометрических координатах; в научных исследованиях при изучении кристаллографической структуры (ориентировка головки гониометра); в робототехнике и т.д. Такие устройства имеют несомненную перспективу в компьютерах, поскольку их применение позволит на существующих магнитных дисках повысить плотность записи в два - три раза. За счет повышения точности позиционирования считывающей головки можно увеличить объем памяти, по крайней мере, вдвое при сохранении остальных характеристик компьютера.

Существуют перспективы использования двигателей в оборудовании для создания полупроводников, в оптике, в устройствах предназначенных для работы в специальных и экстремальных средах, а также в бытовых электрических приборах. В МГТУ им. Баумана исследования по использованию пьездвигателей обычного типа ведутся более десяти лет. Основное применение такие двигатели нашли в приводах оптических систем (например в приводе информационного канала мобильного робототехнического комплекса).

4.2. Классификация и особенности пьездвигателей.

В простейшем варианте принцип действия пьезоэлектрического двигателя можно объяснить следующим образом. Так, если из пьезокерамики изготовлен брусок с прямоугольным сечением, то при создании в нем электрического поля его длина увеличивается или уменьшается в зависимости от напряженности этого поля. При приложении к пьезоэлементу переменного электрического поля в нем возникает механическая бегущая волна. Амплитуда этой волны максимальна, если на длине пьезоэлемента укладывается целое число полуволн. Это условие выполняется для определенных частот возбуждения пьезопластины, названных резонансными или модами колебаний. На этих частотах амплитуды механического напряжения, колебательной скорости и перемещения максимальны.

На рисунке показана простейшая конструкция двигателя. На обкладки пьезоэлемента 1 подается напряжение переменного тока, вызывающего перемещение толкателя 2. В течение времени удлинения пьезоэлемента 1 пластинка 2 толкает ротор 3, а во время сокращения – проскальзывает по ротору, и он движется по инерции. Существует много конструкций пьездвигателей, в основу которых положены различные принципы использования пьезоэффекта.



Функционирование большинства из них можно представить обобщенной структурной схемой вибродвигателя, к подклассу которого относится пьезоэлектрический двигатель рис. 2. Генератор электрических колебаний 1 подключен к управляющему устройству 1, осуществляющему соответственно с сигналом управления $H(t, X)$ преобразование электрического напряжения поступающего на электроды электромеханического преобразователя (*пьезоэлемента*) 3. Электромеханический преобразователь 3 трансформирует электрическое напряжение в поступательные или крутильные колебания. Благодаря механическому преобразователю, построенному на механической нелинейности (силе трения) в зоне контакта промежуточного упругого элемента (с жесткостью c_i) с подвижным звеном (обладающим массой или моментом инерции), эти колебания преобразуются в перемещение. Промежуточный упругий элемент 5 может отсутствовать, но в этом случае, как правило, его функции выполняет сам электромеханический преобразователь 3, воспринимающий нагрузку по другой координате. Показанные обратные связи реализуются между: а) преобразователем 3 и

генератором 1 для стабилизации колебаний при действии различных дестабилизирующих факторов: старения, температуры, и т.п.; б) преобразователем 3 и устройством управления 2 – для линеаризации и стабилизации регулировочных и механических характеристик; в) подвижным звеном и устройством управления 2 – для стабилизации скорости и управления положением звена.

Все пьезодвигатели можно разделить на следующие группы:

1. По виду нелинейности:

- а) двигатели с косым соударением,
- б) с фрикционной анизотропностью,
- в) асимметрическими циклами колебаний,
- г) с управляемой связью в контакте,
- д) устройства с внешним моментом.

2. По виду движения: вращательного, поступательного и сложного движения.

3. По способу генерации колебаний:

- а) резонансные,
- б) широкополосные.

4. По режиму движения:

- а) безударного движения, когда контакт между преобразователем и подвижным звеном не нарушается,
- б) ударного движения, когда контакт нарушается,
- в) движение со сжимаемой воздушной пленкой, резко снижающей момент или силу перемещения.

5. По характеру движения:

- а) с непрерывным или колебательным движением подвижного звена,
- б) шаговые, с регулируемой величиной и периодом повторения шага,
- в) старт-стопные.

6. По способу управления скоростью подвижного звена:

- а) с амплитудной модуляцией колебаний,

- б) с частотной модуляцией колебаний,
- в) с фазовой модуляцией колебаний,
- г) с модуляцией (как совокупность вышеперечисленных),
- д) с изменением параметров управляемой нелинейности.

7. По возможности изменения знака движения:

- а) нереверсивные,
- б) реверсивные с реверсом осуществляемым изменением частоты, амплитуды или фазы питающего напряжения;
- в) реверсивные, с реверсом осуществляемым переключением ступеней двигателя, т.е. по существу отдельными двигателями, объединенных кинематической связью;
- г) реверсивные с реверсом путем изменения силы упругого натяга в зоне контакта.

8. По синхронизму движения:

- а) асинхронные,
- б) синхронные.

Синхронизм может быть обеспечен введением внешних связей.

9. По наличию обратной связи:

- а) разомкнутые,
- б) замкнутые с обратной связью по положению, скорости, ускорению или силам, действующим в зоне контакта.

10. По размещению электромеханического преобразователя (пьезоэлемента):

- а) с активным ротором – преобразователь находится в роторе,
- б) с пассивным ротором - преобразователь размещается в статоре.

Таким образом, пьезоэлектрический двигатель можно отнести к классу мехатронных систем, так как его функционирование в отличие от обычных двигателей неосуществимо без электронной схемы управления, которая входит в состав двигателя и во многом определяет его свойства.

Следует отметить, что по сравнению с другими видами электрических двигателей пьезодвигатели вращения (ПДВ) обладают следующими отличительными особенностями.

- Отсутствие обмоток с медным проводом, простота и технологичность конструкции, относительная дешевизна конструкционных материалов позволяют получить недорогой и сравнительно надежный электродвигатель.

- В соответствии с принципом действия ПДВ, из-за механического контакта толкателей с внутренней поверхностью ротора этот двигатель является самотормозящимся, т.е. при снятии питающего напряжения его ротор остается в заторможенном состоянии.

- Для ПДВ характерны низкие значения номинальной частоты вращения (20...200 об/мин) и сравнительно большие значения момента нагрузки на валу двигателя (до 1,5 нм).

- Конструкция ПДВ позволяет сравнительно просто выполнить его в защищенном исполнении, позволяющем эксплуатировать двигатель в специальных средах.

- ПДВ обладают малыми постоянными времени разгона и торможения (от долей до нескольких миллисекунд).

- ПДВ потенциально обладают высокой точностью позиционирования.

Эти вышеперечисленные особенности открывают хорошие перспективы для использования ПДВ в высокоточных автоматических системах, в частности в следящих безредукторных микропроцессорных приводах. Но, вместе с тем, существующие модели недостаточно полно отражают физические явления, происходящие в двигателе. Кроме того, недостаточная изученность характеристик двигателя, неполная информация о его параметрах не позволяет разрабатывать качественные устройства управления, обеспечивающие заданные свойства, что сильно сдерживает широкое использование ПДВ.

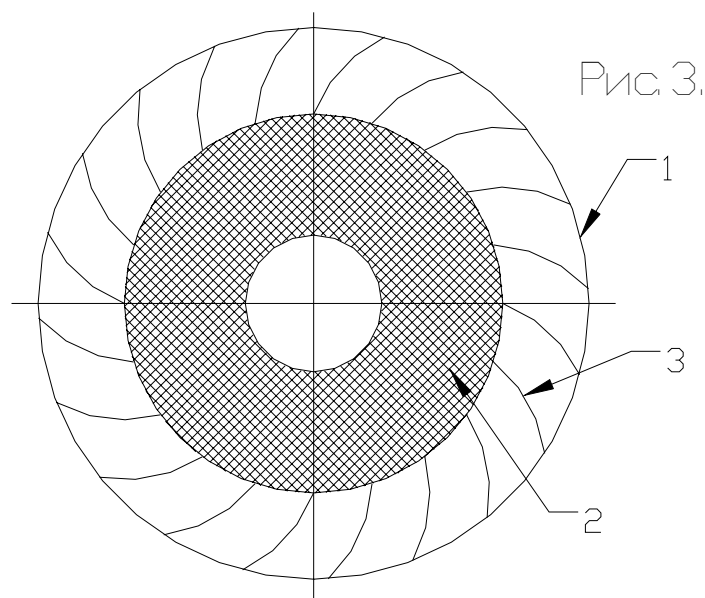
4.3. Характеристики пьезоэлектрических двигателей вращения типа ПД.

В данной работе рассмотрены пьезодвигатели вращения на примере двигателей серии ПД (ПД-28). В таблице 1 приведены основные характеристики выпущенных в виде опытных серий пьезодвигателей вращения. В соответствии с изложенной выше классификацией по п. 1-4 двигатель относится к пьезоэлектрическим двигателям вращательного движения безударного типа, с фрикционной анизотропностью контакта и резонансным возбуждением пьезоэлемента. Классификация по п. 5-9 определяется устройством управления. Нереверсивный двигатель строится по схеме с пассивным ротором, а реверсивный – включает в себя два двигателя объединенных кинематической связью. Один из которых является двигателем с пассивным ротором, а другой – с активным.

Пьезоэлектрические двигатели вращения

Пьезодвигатель	ПД-20	ПД-28	ПД-46	ПД-57
Номинальный момент, Нм	0.08	0.35	0.70	1.20
Максимальный момент, Нм	0.15	0.60	1.50	1.50
Скорость вращения об/мин	100	60	30	20
Напряжение питания, В	40	60	60	60
Ток потребления, А	0.1	0.1	0.2	0.3
Частота питающего напряжения, кГц	74...78	54...58	36...38	30...34
Размеры нереверсивного, мм	35*12	50*20	70*20	86*20
Размеры реверсивного, мм	37*20	52*40	72*40	90*40

Конструкция нереверсивного двигателя положенная в основу далее рассматриваемых типов двигателей, упрощенно изображена на рис. 3.



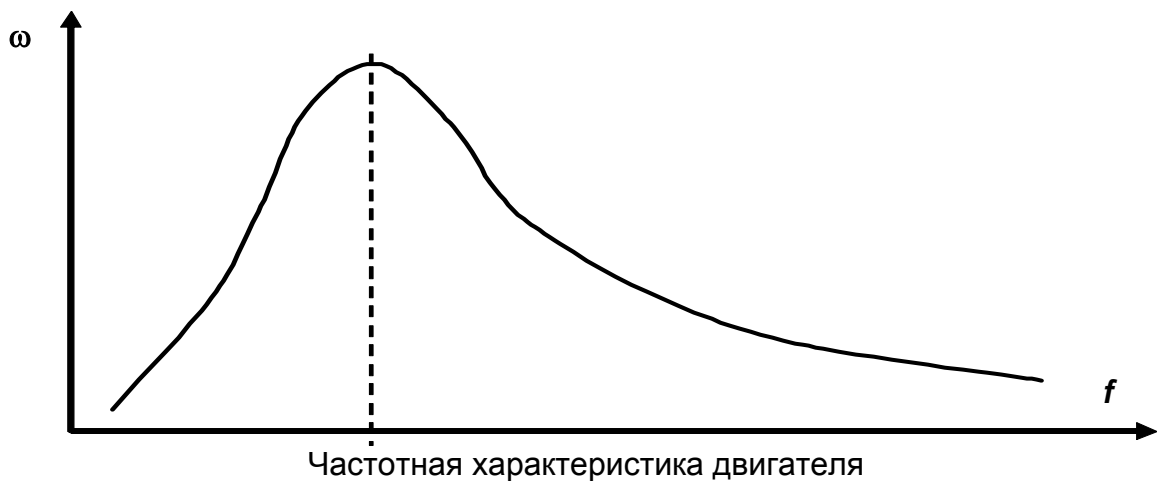
Это – двигатели называемые в литературе «пьезодвигателями с выступающими прокладками» - стальными упругими пластинками (лепестками – толкателями). Благодаря пластинкам выполняющим роль промежуточного упругого элемента, жесткость которых много меньше жесткости пьезоэлемента они относятся к стабильному типу двигателей, т.е. внешние факторы – такие как внешний момент и амплитуда питающего напряжения – сравнительно мало влияют на изменение резонансной частоты двигателя. Они обладают внешним ротором 1, внутри которого находится кольцевой цилиндрический статорный пьезоэлемент 2, закрепленный вдоль внутренней образующей с помощью акустически изолирующего материала.

По его внешней образующей закреплены упругие стальные пластинки – толкатели 3, установленные под определенным углом к внутренней поверхности ротора и находящиеся с ним в механическом контакте с некоторым прижатием. При подаче напряжения переменного тока на обкладки статорного пьезоэлемента его внешняя поверхность вместе с закрепленными на ней стальными толкателями начинает совершать колебания с частотой сигнала переменного тока.

При этом положительная полуволна сигнала увеличивает диаметр пьезоэлектрического статора и через толкатели поворачивает внешний ротор на некоторый угол. Отрицательная полуволна приводит к уменьшению диаметра, в результате чего стальные толкатели проскальзывают относительно внутренней поверхности ротора. Это обеспечивается соответствующей длиной стальных толкателей и их установкой под определенным углом. Для получения максимально возможных перемещений система, состоящая из пьезостатора со стальными толкателями, вводится в электромеханический резонанс путем выбора частоты питающего напряжения.

Из-за того, что пластинки имеют конечную жесткость, а ротор - момент инерции, преобразователь колебательного движения во вращательное представляет собой механическую колебательную систему с относительно низкой собственной резонансной частотой и достаточно высокой добротностью.

На рис. изображена зависимость частоты вращения вала двигателя от частоты питающего напряжения.



Изменяя размеры, материал и взаимное положение статорного пьезоэлемента, ротора и толкателей, удастся получить пьезодвигатели с различными значениями максимального момента и частоты вращения.

4.4. Анализ работы ПДВ.

При организации привода с использованием пьезоэлектрического двигателя в качестве исполнительного элемента необходимо уделять особое внимание тому, что в силу своих специфических особенностей пьезодвигатель требует четкого поддержания резонансной частоты и компенсации ухода этой частоты от температуры и других факторов, что накладывает ряд ограничений и дополнительных условий на СУ. В СУ обязательно должен быть включен управляемый генератор отрабатывающий частоту от 50 до 58 кГц с шагом в 100 – 200 Гц. На диаграмме 3.1. и 3.2. представлены данные о скорости и токе потребления пьезоэлектрического двигателя в зависимости от частоты сигнала генератора. Эти диаграммы построены по данным, полученным в результате экспериментов. При проведении первого эксперимента у зависимости тока были выявлены нехарактерные всплески. При повторных экспериментах эти всплески выявлены не были. При проведении этого эксперимента в качестве измерителя тока потребления от ИП ВН был использован цифровой амперметр, а не встроенный амперметр в источнике питания. В связи с этим были записаны максимальные и минимальные показания прибора. На диаграмме 3.3. показаны ток и напряжение на пьезодвигателе в зависимости от момента сопротивления и частоты сигнала генератора.

Из проведенных диаграмм видно, что скорость является наиболее лучшим фактором, говорящим о нахождении двигателя на резонансной частоте. Ток потребления от ИП ВН также имеет максимум, но этот максимум смещен влево. Это объясняется тем, что ток потребления несет информацию только о резонансе пьезоэлемента, в то время, как скорость несет информацию о резонансе системы пьезоэлемент - пластины-толкатели. Необходимо отметить, что резонансная частота пьезоэлемента изменяется в зависимости от температуры, чего нельзя сказать о резонансной частоте пластин - толкателей. Таким образом, в качестве

параметра для организации обратной связи, поддерживающей пьезодвигатель на резонансной частоте, наиболее пригодна скорость на валу пьезодвигателя. Однако, возможно использование и тока потребления от ИП ВН, но для этого необходимо проведение исследований поведения резонансных частот пьезоэлемента и пластин-толкателей в отдельности.

Важным фактором при построении привода с использованием пьезоэлектрического двигателя в качестве исполнительного элемента является сигнал управления. Иными словами необходимо определить параметр, который наиболее пригоден для управления скоростью вращения вала пьезодвигателя. Как видно из проведенных экспериментов достаточно линейны зависимости скорости от напряжения ИП ВН и от коэффициента заполнения сигнала генератора. Однако, использование коэффициента сигнала генератора в качестве сигнала управления скоростью предпочтительнее. Это обусловлено тем, что при равных диапазонах регулирования скорости и при прогреве двигателя напряжение может принять значения, способные привести к потере пьезоэлементом своих свойств.

При реализации схемы управления пьезодвигателем отдельное внимание нужно уделить усилителю мощности, т.к. частота управления порядка 26 кГц. ПД46 – это двигатель средней мощности с небольшими габаритными размерами, поэтому предъявляются требования к габаритам СУ и УМ.

5. Методика энергетического расчета ЭСП на основе ПДВ.

5.1. Цели и задачи расчета.

При проектировании ЭСП возникают две основные проблемы, первая связана с выбором элементов привода: необходимо выбрать двигатель и УМ, а вторая связана с синтезом регулятора, первую проблему обычно называют энергетическим расчетом. Его необходимость объясняется тем, что никакие корректирующие устройства и связи не могут обеспечить требуемого движения ОУ, если оно не обеспечивается энергетически.

Энергетический расчет – расчет, в котором на основе изучения энергетики процессов управления выявляются необходимые энергетические характеристики и определяются способы обеспечения заданных динамических свойств системы при минимальном расходе энергии.

Энергетические характеристики – требуемые максимальные значения скорости, движущего момента и мощности на валу пьезодвигателя.

Задачи энергетического расчета:

- 1) Рассчитать энергетические характеристики ЭСП;
- 2) Проверить ПД на нагрев (чтобы не допустить его перегрев при работе в следящем приводе (СП), т. к. перегрев ПД ведет к изменению его рабочих характеристик, а, следовательно, и к потере точности работы СП.

Ниже приняты следующие обозначения основных энергетических (или связанных с ними характеристик)

P – мощность [Вт];

M – момент [Н*м];

ω , $\dot{\alpha}$, n – угловая скорость вала [1/сек], [град/сек], [об/мин];

J - момент инерции [кг/м²];

α - угол поворота вала [град];

E - угловое ускорение вала [град/сек²];

5.2. Механическая часть ЭСП.

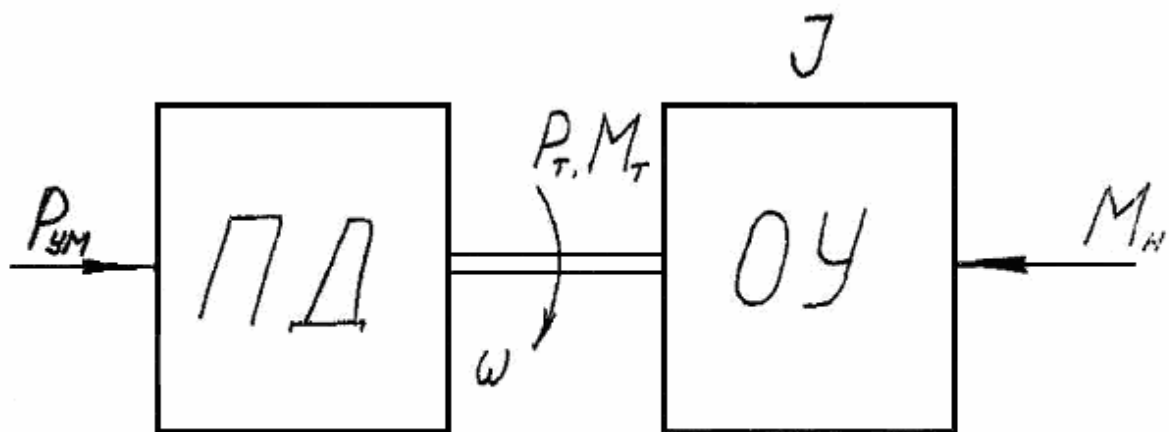


рис. 1.

M - требуемый момент при угловом движении ОУ [$\text{Н} \cdot \text{м}$];

ОУ всегда можно представить в виде инерционной массы с моментом инерции J [$\text{кг} \cdot \text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 / \text{рад}$];

M_n – суммарный нагрузочный момент, препятствует движению ОУ, за исключением инерционного момента.

Суммарный момент нагрузки M_n развивается на валу в процессе работы системы и в общем случае является случайной функцией. Точное определение M_n возможно лишь на основе статической обработки результатов многих измерений типовых нагрузок в реальных условиях работы систем.

Конструктивный расчет даже статической нагрузки носит приближенный характер, т.к. ожидаемый, например, момент трения зависит от качества и состава материалов, от качества обработки, условий сборки, температурных условий, режима работы и других, неподдающихся учету факторов. Необходимость более или менее точной оценки нагрузки очевидна для правильного выбора и расчета двигателя. В общем случае на валу двигателя системы могут иметь место следующие типы моментов нагрузки:

$M_{\text{дин}}(t)$ – динамический момент:

$$M_{\text{дин}}(t) = J(t) \cdot E(t);$$

$M_{\text{ст}}(t)$ – момент сухого трения в оси объекта;

$M_{ну}(t)$ – момент неуравновешенности объекта;

$M_{вт}(t)$ - момент вязкого трения;

$M_{ш}(t)$ - шарнирный момент;

$M_{в}(t)$ - внешний возмущающий нагрузочный момент.

$$M_H(t) = M_{ст}(t) + M_{ну}(t) + M_{вт}(t) + M_{ш}(t) + M_{в}(t);$$

$$M_T(t) = J(t) * E(t) + M_H(t);$$

$M_T(t)$ развивается пьезодвигателем, следовательно, можно записать:

$$M_T(t) = M_D(t).$$

5.3. Представление ПДВ эквивалентной схемой при энергетическом расчете.

Эквивалентной схемой ПЭ является последовательно-параллельный контур $C_э$, L_m , C_m , R_m (рис. 2). Сопротивление такого контура, а,

следовательно, и ток через ПЭ зависит от:

$C_э$ – емкость монтажа ПЭ;

L_m , C_m , R_m – индуктивность, емкость и сопротивление, эквивалентные соответствующим параметрам ПЭ.

L_k – компенсирующая индуктивность (компенсирует $C_э$).

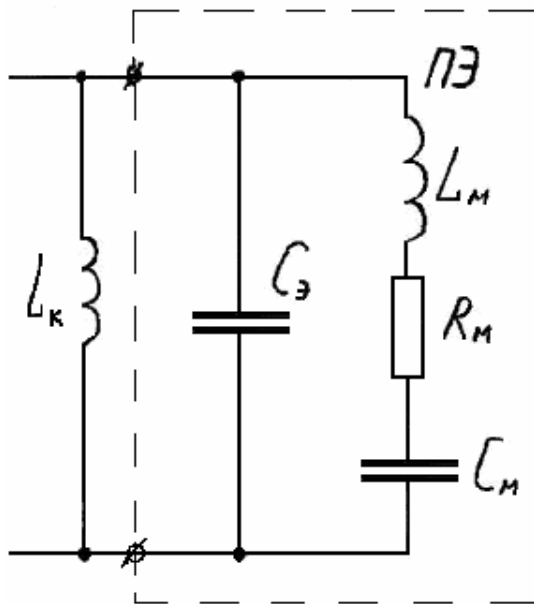


рис. 2

Первым условием вращения ПД является его работа на частоте

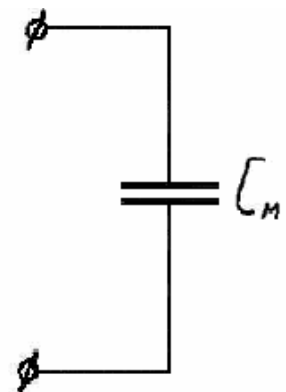


рис. 3.

резонанса ПЭ f_p , при этом значениями L_m и R_m можно пренебречь, а в итоге эквивалентная схема ПД может быть Поставлена в виде (рис.3).

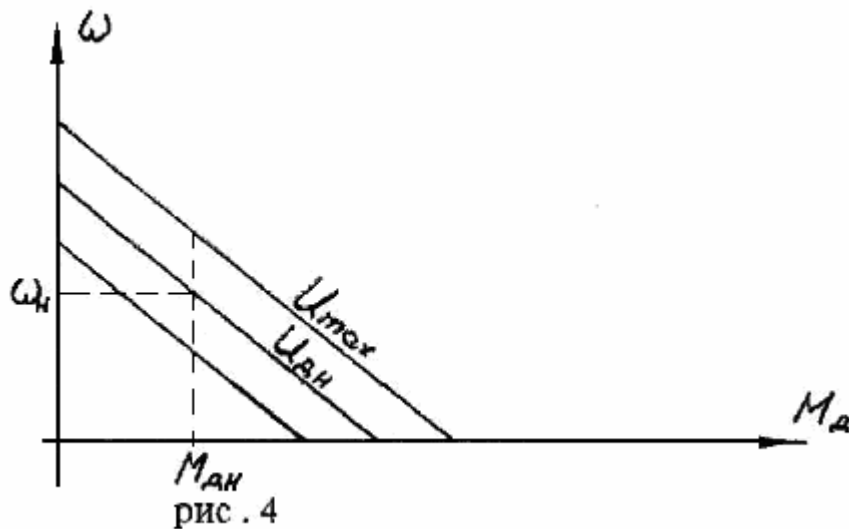
5.4. Условия обеспечения ЭП требуемого движения ОУ.

Выходное напряжение УМ всегда ограничено по величине:

$$U_{\max} = L_{vm} * U_{дн},$$

где $U_{дн}$ – номинальное напряжение ПД, а L_{vm} – максимальный коэффициент форсирования ПД по напряжению (по скорости).

Если $L_{vm} > 1$, то при номинальной нагрузке скорость вращения ПД выше номинальной (рис . 4).



Максимальный момент, развиваемый ПД, также ограничен по величине:

$$M_{д\max} = L_{mm} * M_{дн},$$

где L_{mm} - максимальный коэффициент форсирования двигателя по моменту.

В результате требуется:

$$M_{д}(t) < M_{д\max},$$

$$U_{д}(t) < U_{д\max}.$$

Однако с целью получения гарантированного запаса на различные неучтенные факторы и недопущения перегрева ПД в расчет принимают коэффициенты форсирования по моменту и напряжению L_m и L_v соответственно, которые меньше максимальных значений.

Итак, допустимые моменты и напряжения ПД:

$$M_{дд} = L_m * M_{дн};$$

$$U_{дд} = L_v * U_{дн}$$

Теперь, очевидно, привод обеспечивает требуемое движение ОУ, если одновременно выполняются следующие два условия:

$$M_{дм} = \max \{ M_{д}(t) \} < M_{дд};$$

$$U_{дм} = \max \{ U_{д}(t) \} < U_{дд}.$$

5.5. Определение максимальной механической мощности привода.

Вместе с изменениями во времени входных и выходных координат системы, изменяется и мощность на валу. Мгновенная мощность $P(t)$ изменяется от 0 до $P_{дм}$ – максимальная механическая мощность в приводе, которую двигатель должен развивать на выходном валу для обеспечения заданных динамических свойств системы.

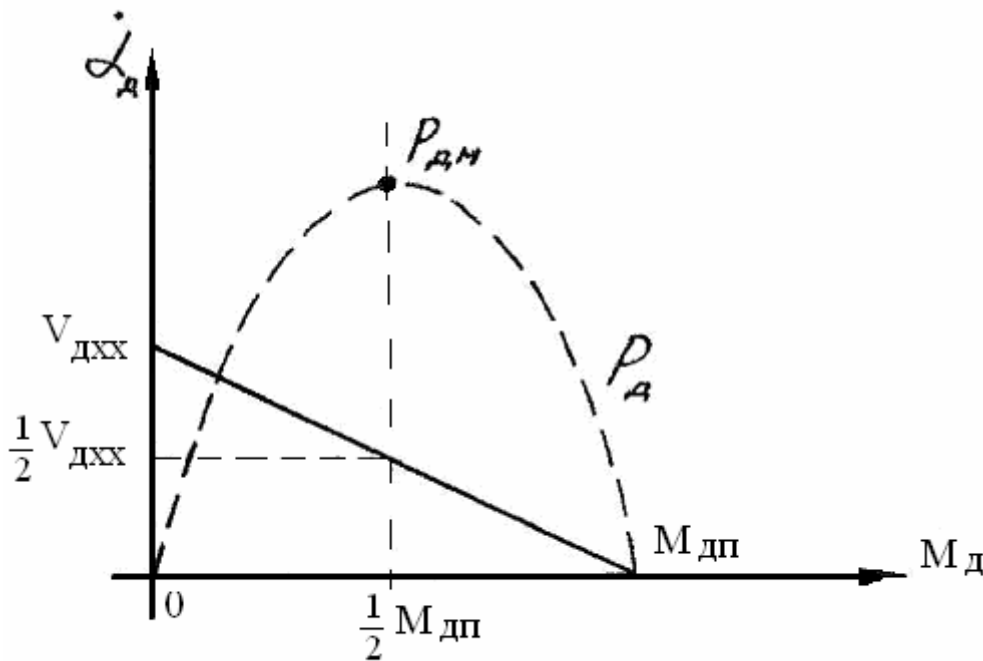


рис. 5.

При $M_d = 0$ имеем холостой ход двигателя и $\dot{\alpha}_d = V_{дхх}$ – скорость холостого хода двигателя.

При $\dot{\alpha}_d = 0$ – пусковой режим:

$M_d = M_{дп}$ – пусковой момент двигателя привода.

Построим кривую механической мощности в приводе на рис. 5:

$$P_d = M_d * \dot{\alpha}_d .$$

Эта кривая – парабола механической мощности в приводе, а $P_{дм}$ – максимальная механическая мощность в приводе равна:

$$P_{дм} = \frac{1}{4} * M_{дп} * V_{дхх}$$

5.6. Проверка ПД на нагрев.

1) Потери мощности при работе ПД, вызывающие его нагрев.

Нагрев ПД происходит за счет потерь мощности в ПЭ и в местах контактов упорных пластинок с ротором из-за трения, т.е.:

$$P_{ПОТЕРЬ}(t) = P_{МЕХ}(t) + P_{ПЭ}(t) .$$

Нагрев двигателей, предназначенных для работы в длительном режиме, осуществляется сравнительно медленно, а мгновенное значение мощности потерь $P_{потерь}(t)$ изменяется в течение работы значительно быстрее, поэтому нагрев двигателя можно оценивать по среднему значению потерь мощности за время работы системы:

$$P_{ПОТЕРЬ.СР} = \frac{1}{t_{РАБ}} * P_{ПОТЕРЬ}(t) dt .$$

Двигатель будет работать не перегреваясь, если $P_{потерь.ср.}$ не превысит потерь мощности в номинальном режиме работы ПД, т. к. номинальный режим гарантирует работу двигателя без перегрева:

$$P_{ПОТЕРЬ.СР} < P_{ПОТЕРЬ.НОМ}$$

Это условие справедливо, если теплоотдача ПД при его работе в следящей системе такая же, как при номинальном режиме. Однако в следящей системе, особенно при работе на малых скоростях, скорость двигателя может быть значительно меньше номинальной, что ухудшает отвод тепла от ПЭ к ротору за счет не перемещения воздуха внутри ПД.

Это зачитывается путем введения коэффициента теплоотдачи двигателя – λ_T в виде:

$$P_{\text{ПОТЕРЬ.СР}} < \lambda_T * P_{\text{ПОТЕРЬ.НОМ}},$$

причем $\lambda_T \approx 0,5$

2) Проверить ПД на нагрев можно исходя из распределения в нем мощностей (см. рис. 6):

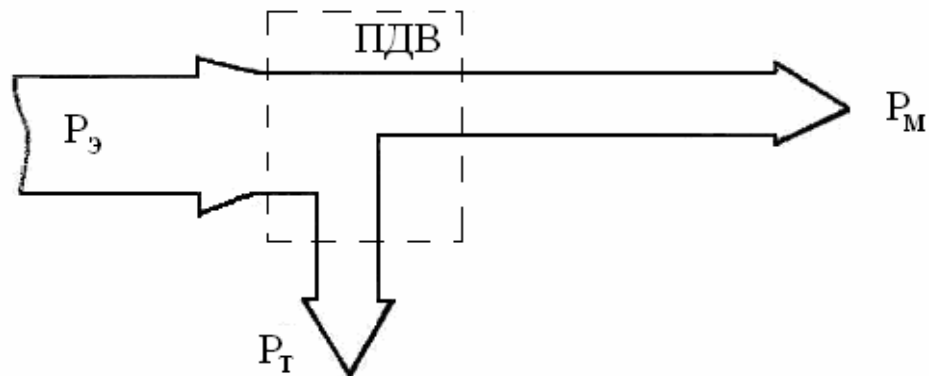


рис. 6.

Приняты следующие обозначения:

$P_э$ – подводимая электрическая мощность;

$P_м$ – полезная механическая мощность;

$P_т$ - тепловая мощность.

Очевидно, что: $P_э = P_т + P_м$,

иначе $P_т = P_э - P_м$, причем $P_м \sim M * \omega$.

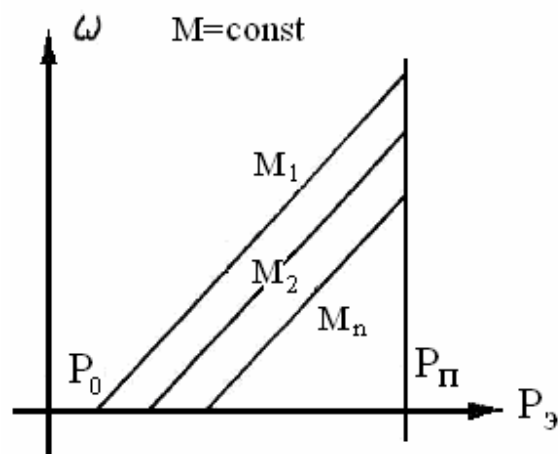


рис. 7.

$$\begin{aligned}
P_T &= P_{\vartheta} - [(P_{\vartheta} - P_0) * K_{\omega} - K_{МП}] * M = \\
&= P_{\vartheta} - P_{\vartheta} * K_{\omega} * M + P_0 * K_{\omega} * M + K_{МП} * M = \\
&= \boxed{P_{\vartheta} * (1 - K_{\omega} * M) + P_0 * K_{\omega} * M + K_{МП} * M < P_{T3}}
\end{aligned}$$

Для обеспечения работы ПД, его тепловая мощность P_T должна быть меньше или равна заданной мощности выделения тепла P_{T3} , при которой ПД в заданном режиме работает без перегрева.

Зависимость $P_T (M)$ показана на рис. 8. случай $P_{T3} > P_{\vartheta}$.

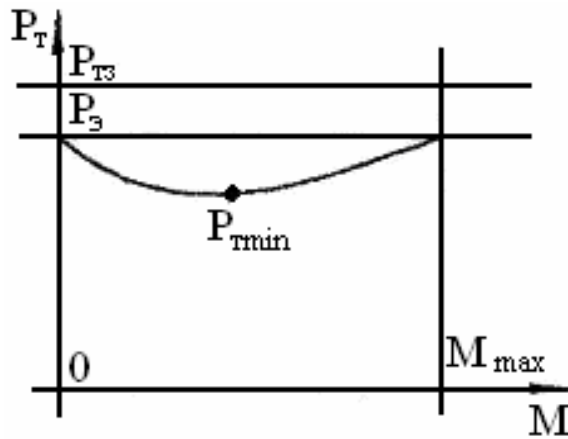


рис. 8

Заштрихованная область – область уверенной работы ПД во всём диапазоне рабочих моментов.

В случае $P_{T3} < P_{\vartheta}$ имеем следующую характеристику:

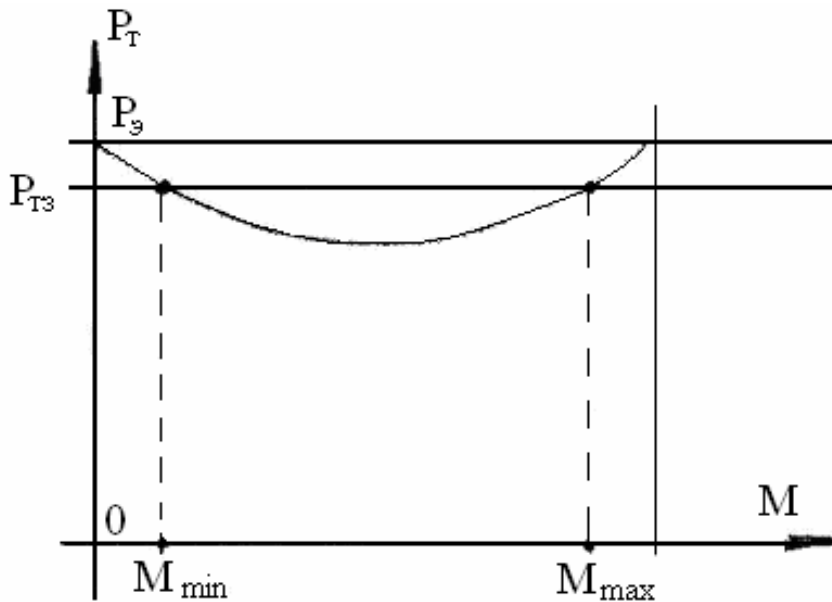


рис. 9.

Отсюда видно, что опасными, с точки зрения перегрева ПД являются его недогрузка ($M < M_{min}$) и перегрузка ($M > M_{max}$), а возможным видится

его использование в диапазоне моментов от M_{\min} до M_{\max} .

По экспериментальным данным построим характеристику $P_T(M)$ для лабораторного образца ПД:

$$\omega_0 = P_0 * K_\omega = 0.21 \text{ рад/сек};$$

$$P_0 = 0.45 \text{ Вт};$$

$$K_\omega = \frac{0.21}{0.45} = 0.46 \text{ рад/Вт*сек};$$

$$K_M = 1.2 \text{ рад м / сек Н};$$

$$P_{\text{ум max}} = P_{\text{э max}} = 4.6 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{ТЗ}} = 7 \text{ Вт}.$$

Следовательно :

$$\begin{aligned} P_T(M) &= P_{\text{э}} - M * (P_{\text{э}} * K_\omega - P_0 * K_\omega) + K_M * M = \\ &= 4.6 - 1.9 * M + 1.2 * M \end{aligned}$$

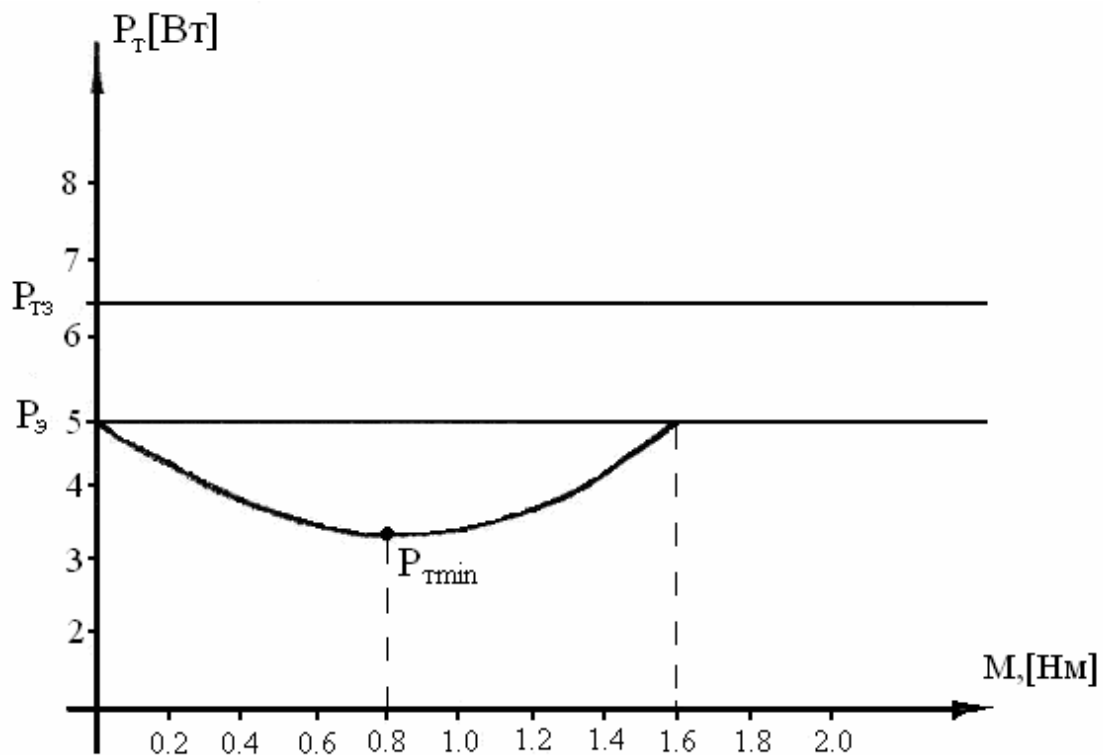


рис. 10.

$P_{T\min}(M)$ достигается при $P_T(M) = 0$;

$$2.4 * M = 1.9 \Rightarrow M = 0.8 \text{ Нм};$$

$$P_T(0.8) = 3.85 \text{ Вт}.$$

6. Выбор оптимальной системы управления ПДВ.

6.1. Выбор СУ ПДВ.

Возникшая проблема, связанная с недостаточной разрядностью управляющего сигнала, требовала решения путем генерации ШИМ-сигнала с большой разрешающей способностью. Единственным способом её решения в рамках одного имеющегося контроллера это генерация сигнала посредством периодического выполнения подпрограммы обработки прерываний от таймера. Кроме того, необходимо одновременно выполнять обработку и анализ данных с импульсного датчика скорости.

Таким образом, был сделан вывод о необходимости введения в систему «быстрого» МК, тактовая частота которого позволит одновременно генерировать ШИМ-сигнал и выполнять роль головного узла, принимающего сигналы с импульсного датчика скорости, обрабатывающего их и принимающего решения о необходимости коррекции ШИМ.

Функциональная схема принимает следующий вид:



После анализа рынка современных микроконтроллеров, было выявлено несколько явных лидеров из числа фирм-производителей микроконтроллеров. К ним относятся такие фирмы как Texas, Atmel и Microchip. После анализа возможностей представленных микроконтроллеров выбор был остановлен на семействе PIC 8-разрядных КМОП МК производства компании Microchip.

Данные МК обладают рядом несомненных преимуществ, делающих их весьма удобными для разработки подобных экспериментальных систем.

PIC18F – семейство дешевых, высокоэффективных 8-разрядных микроконтроллеров с встроенным аналогово-цифровым преобразователем. Все микроконтроллеры данного семейства используют RISC структуру процессорного ядра. Семейство микроконтроллеров PIC18F имеет расширенные возможности ядра, стек глубиной восемь уровней и множество внутренних и внешних прерываний. Гарвардская архитектура с отдельными шинами команд и данных позволяет одновременно передавать 14 разрядные команды и 8 разрядные данные. Двух командный конвейер позволяет выполнять все команды за один машинный цикл, кроме команд ветвления программы, которые выполняются за два цикла. Уменьшенная система команд (35 команд). Высокая эффективность достигается использованием новшеств архитектуры и большого набора дополнительных регистров.

Главная особенность – тактовая частота 40 МГц.

Данные микроконтроллеры по сравнению с другими 8 разрядными микроконтроллерами такого же типа позволяют уменьшить программу 2:1 и увеличить быстродействие 4:1.

Периферийные устройства контроллера включают: три таймера-счетчика, один модуль сравнения-накопления и широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и последовательный порт.

Для того чтобы уменьшить количество внешних компонентов и таким образом уменьшить стоимость, повысить надежность системы и снизить потребление, семейство PIC18F имеет дополнительные возможности. Имеются четыре режима генератора: RC генератор на одном контакте обеспечивает дешевое решение, LP генератор обеспечивает минимальное потребление, XT генератор – стандартное решение и HS генератор- для высокочастотных приложений. Режим останова позволяет резко уменьшить потребление. Пробуждение из режима останова может осуществляться при помощи внешних и внутренних прерываний и сбросов.

Контроллеры дешевы, обладают небольшим набором команд, что делает их легкоосваиваемыми и понятными даже для начинающего программиста. Контроллеры могут быть многократно перезаписаны.

Благодаря наличию встроенных модулей, на базе одного только контроллера может быть построена довольно сложная управляющая или обрабатывающая система. Благодаря активной поддержке компанией Microchip своих продуктов, на сегодняшний день доступно довольно большое количество информации по программированию и использованию МК семейства PIC.

Формула для расчёта частоты ШИМ сигнала следующая:

$$\nu = \frac{F_{OSC}}{4} K$$

Где F_{OSC} – тактовая частота. Для данного микроконтроллера она составляет 40 МГц.

$1/K$ – коэффициент предделителя (целое число от 0 до 255)

Далее необходимо провести оценочный расчёт исходя из следующих соображений:

Необходимая частота ШИМ сигнала на выходе микроконтроллера должна составлять ориентировочно 108кГц. Эта цифра получается следующим образом: опытным путём установлено, что резонансная частота пьезокерамики для двигателя ПДВ-28 составляет 54кГц. В свою очередь схема управления пьезодвигателем построена таким образом, что происходит уменьшение частоты сигнала ШИМ между контроллером и пьезодвигателем в два раза.

Произведём расчёт примерного необходимого коэффициента предделителя:

$$K_{\text{ПРИБЛИЖЁННОЕ}} = \frac{40000000}{4 * 36000} \approx 277.8$$

Алгоритм работы микроконтроллера таков, что он (микроконтроллер)

производит подстройку частоты ШИМ для постоянного нахождения системы пьезоэлемент-лепестки в состоянии резонанса.

Следовательно, важным фактором является ‘шаг’ этой подстройки (разрешающая способность).

Найдём эту разрешающую способность.

Понятно что она зависит от выбора коэффициента предделителя(он принимает только целые значения).

Возьмём два ближайших значения к $K_{\text{ПРИБЛИЖЁННОЕ}}$. Получим числа $K_1=277$ и $K_2=278$.

Рассчитаем какой частоты сигнал ШИМ при этом генерируется.

$$\nu_1 \approx 36101$$

$$\nu_2 \approx 35971$$

Следовательно разрешающая способность – это величина разности между этими генерируемыми частотами ШИМ сигнала.

$$\Delta \nu = 130 \text{Гц}$$

Это значение является вполне приемлемым.

Таким образом, можно сделать вывод, что выбранный микроконтроллер семейства PIC18F вполне удовлетворяет требованиям по настройке на резонансную частоту и быстродействию для одновременной обработки сигнала с датчика скорости.

6.2. Выбор силовой части СУ ПДВ.

Для исследования свойств пьезодвигателя при управлении им ШИМ сигналом необходимо разработать усилитель, преобразующий сигналы генератора до величины, удовлетворяющей требованиям работы пьезодвигателя.

Усилитель должен удовлетворять следующим требованиям:

- * Рабочие частоты 36 .. 38 кГц;
- * Выходное напряжение 100В;

- * Выходная мощность 10 Вт
- * Напряжение входного сигнала до 12-17 В;

При разработке было принято структурное разделение усилителя на:

1. Усилитель мощности;
2. Усилитель напряжения.

Усилитель напряжения. В качестве усилителя напряжения выбран высокочастотный трансформатор. Для расчета трансформатора зададимся следующими параметрами:

- Напряжение ИПВН 15В;
- Напряжение на выходной обмотке 100В;
- Ток в выходной обмотке $I_2=0.3$ А;
- Сердечник - тороидальный ферритовый К40х25х1 1 (магнитная проницаемость 2000 НМ, $B=0.1$ Тл, площадь сечения $S=0.00008$ м²);
- Наименьшая рабочая частота $f_{\min}=30$ кГц;

Для расчета выходной обмотки воспользуемся формулой:

$$W_2 = \frac{U_2}{4 \cdot B \cdot S \cdot f_{\min}} = \frac{100}{4 \cdot 0.1 \cdot 0.8 \cdot 10^{-4} \cdot 30 \cdot 10^3} = 104$$

принимаем $W_2 = 100$ витков.

Определим наименьший диаметр обмоточного провода выходной обмотки из условия нормального нагрева трансформатора на 30 °С:

$$d_2 = 0.7 \cdot \sqrt{I_2} = 0.45 \text{ мм}$$

Из геометрических соображений (полное заполнение обмоткой всего периметра трансформатора):

$$d_2 = \frac{\pi \cdot 24}{100} = 0.78 \text{ мм}$$

Выбираем для выходной обмотки провод ПЭТФ 0.62 (с изоляцией $d=0.656$ мм). Длина обмотки $L_2 = 3.7$ м.

Коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{100}{15} = 6.67$$

Первичная обмотка выполнена со средней точкой, следовательно, количество витков:

$$W_1 = \frac{W_2}{n} = 15 \text{ витков}$$

примем $W_1 = 15$ витков.

Диаметр обмоточного провода для первичной обмотки выбираем из геометрических соображений:

$$d_1 = \frac{\pi \cdot 19}{15} = 3.98 \text{ мм}$$

Выбираем для первичной обмотки провод ПЭТФ 128. Длина обмотки $L_1 = 2.1$ м.

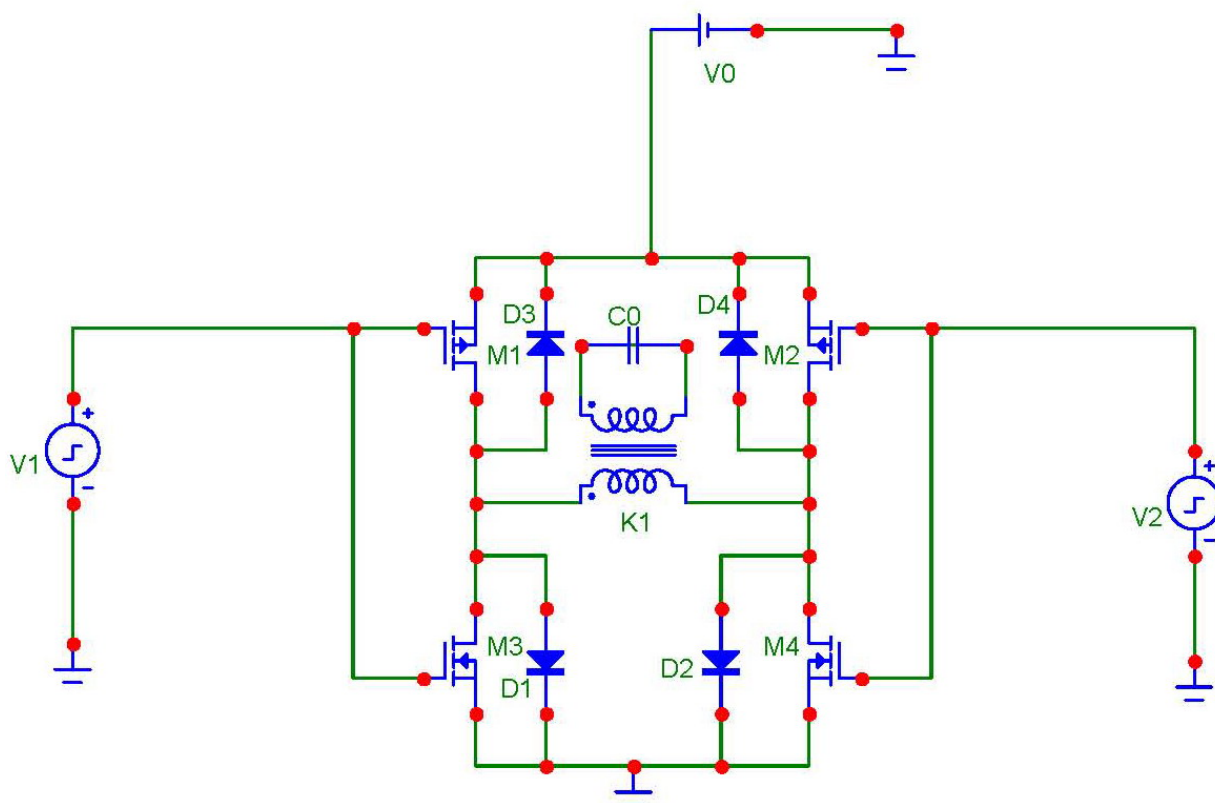
Усилитель мощности. Усилитель мощности выполнен по мостовой схеме. В качестве силовых ключей были выбраны полевые транзисторы IRFR9014. Данные транзисторы отличаются рассеиваемой мощностью, малым временем срабатывания и малым выходным сопротивлением.

Для раскачки полевых транзисторов и для их согласования со схемой логического преобразования необходимо установить специальный «драйвер». В нашем случае была выбрана микросхема драйвера IR2110, предназначенная для применения в импульсных усилителях, организованных по мостовой схеме.

6.3. Моделирование работы силовой части в среде MicroCAP.

Собираем мостовую схему в рабочей области экрана. Т.к. такого компонента как микроконтроллер в стандартной библиотеке нет, необходимо его заменить. В качестве МК и управляющих драйверов используем два источника прямоугольных импульсов, настроив их работу в противофазе. В качестве нагрузки вместо пьезодвигателя будем использовать его физическую модель – конденсатор емкостью 2 мкФ.

Получаем следующую схему:



Но в связи с невозможностью моделирования этой схемы с трансформатором, нагрузка была приведена к первичной обмотке через коэффициент трансформации и уже с измененной схемы были сняты показания напряжений и токов на ИП V1, V2 и нагрузке C0.

6.4. Анализ результатов моделирования и выводы.

Результаты моделирования и конечная модель УМ изображены на листе.

По графикам напряжений на ИП видно, что они работают четко в противофазе без нелинейных искажений и помех. На графиках токов, проходящих через ИП видны паразитные токи небольшой величины. В реальной схеме они будут оказывать негативное влияние на работу всей схемы, но учитывая их небольшую величину ими можно пренебречь.

Рассмотрим график напряжения на нагрузке C0 – фронты сигналов завалены настолько, что в результате мы получаем кривую близкую к

синусоидальному сигналу, что нам и требовалось получить для более точной и плавной работы пьезодвигателя. Частота сигнала равна частоте задающих генераторов, отсюда можно сделать вывод, что при изменении внешних факторов и следовательно смещении резонансной частоты в одну из сторон, МК сможет точно подстроить резонансную частоту под новые условия – что и будет являться выполнением заданных требований. Дополнительно рассмотрен график изменения силы тока на нагрузке – он без существенных нелинейностей, что так же удовлетворяет условиям.

В проекте была предложена схема управления пьезодвигателем на базе МК PIC18 семейства с усилителем мощности на полевых транзисторах. По полученным результатам можно сказать о том, что схема будет отрабатывать необходимую частоту с заданной точностью. Единственным недостатком среды разработки является отсутствие визуализации теплового режима работы транзисторов, необходимого для полного анализа схемы.

7. Аппаратура сопряжения. Плата сопряжения L-card L154.

Плата L154 является быстродействующим устройством для ввода и вывода аналоговой и цифровой информации в персональных компьютерах. Устанавливается в слот типа ISA IBM- компьютера.

На плате имеется один АЦП, на вход которого при помощи коммутатора может быть подан один из 16 (32) аналоговых каналов с внешнего разъёма платы.

Параметры АЦП

Количество каналов	<ul style="list-style-type: none"> • дифференциальных 16 • с общей землёй 32
--------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------

Разрядность	12 бит
Время преобразования	1.7 мкс
Входное сопротивление	2 МОм
Диапазон входного сигнала	$\pm 5.12\text{В}$, $\pm 2.56\text{В}$, $\pm 1.024\text{В}$
Максимальная частота преобразования	70 кГц
Защита входов	<ul style="list-style-type: none"> • при включенном питании компьютера входы защищены на $\pm 20\text{В}$ • при выключенном питании входы защищены на $\pm 10\text{В}$
Интегральная нелинейность преобразования	$\pm 0.8\text{ МЗР}$, макс. $\pm 1.2\text{ МЗР}$
Дифференциальная нелинейность преобразования	$\pm 0.5\text{ МЗР}$, макс. ± 0.75
Отсутствие пропуска кодов	гарантировано 12 бит
Время установления аналогового тракта при максимальном перепаде напряжения (временные параметры приведены для точности установления аналогового тракта до 1 МЗР)	4 мкс
Межканальное прохождение	<ul style="list-style-type: none"> • На полосе 10 кГц меньше 0.5 МЗР • На полосе 50 кГц 1 МЗР
Смещение нуля	$\pm 0.5\text{ МЗР}$, макс. 1 МЗР
Полоса пропускания сигнала	не более 250 кГц

Так же на плате установлен один ЦАП, который выдаёт постоянное напряжение в соответствии с записанным в него цифровым кодом.

Параметры ЦАП

Количество каналов	1
Разрядность	12 бит
Время установления	10 мкс
Выходной диапазон	$\pm 5.12\text{В}$

На плате имеется 8 цифровых входных ТТЛ линий и 8 выходных ТТЛ линий, при помощи которых можно управлять внешними устройствами, осуществлять цифровую синхронизацию ввода и т. п.

Входной порт	8 бит ТТЛШ
Выходной порт	8 бит ТТЛШ
Напряжение низкого уровня	<ul style="list-style-type: none"> • мин. 0.0 В • макс. 0.4 В
Напряжение высокого уровня	<ul style="list-style-type: none"> • мин. 2.5 В • макс. 5.0 В
Выходной ток низкого уровня (макс.)	4 мА
Входной ток высокого уровня (макс.)	0.4 мА

Для нормальной эксплуатации L154 температура должна быть в диапазоне от 0 °С до +70 °С, относительная влажность от 5% до 90%.

8. Программное обеспечение.

Программа RUN.EXE предназначена для управления учебно-исследовательским стендом при проведении лабораторных работ на основе использования поворотного пьезоэлектрического двигателя (ППЭД).

Программа позволяет осуществлять управление ППЭД в автономном включении (главная обратная связь разомкнута) и при использовании его в составе автоматической системы, замкнутой по положению и по скорости. При этом программа формирует по выбору различные задающие воздействия: ступенчатый входной сигнал и периодические входные сигналы синусоидальной, пилообразной и прямоугольной формы.

Каждый из режимов работы программы задается из главного меню, которое имеет следующие основные разделы, отображенные в верхней части экрана со следующими надписями: **Файл, Установка, Момент, Работа, График, Масштаб.**

При вызове каждого из разделов основного меню, раскрываются подменю с соответствующими пунктами-опциями. Ниже перечисляются основные функции, которые будут исполняться при инициализации соответствующей опции подменю.

Опции подменю **Файл**:

Загрузить – загрузить установочный файл по имени или по умолчанию.

Новый – начальная установка системы.

Сохранить как – сохранить под именем.

Сохранить - сохранить.

Выход - выход в ДОС.

Опции подменю **Установка**:

Сигнал - выбор управляющего сигнала:

Синус -синусоидальный сигнал: $A \times \sin(f \times t)$. Амплитуда A задается в

опции **Амплитуда**, а частота **f** в опции **Частота**.

Меандр -ступенька: $A \times \text{Sign}(\text{Sin}(f \times t))$. Амплитуда **A** задается в опции **Амплитуда**, а частота **f** в опции **Частота**.

Треугольный -пилообразный сигнал: $A \times t$, $t < \text{Level}$. Скорость **A** задается в опции **Амплитуда**, а уровень переключений в опции **Частота**.

Угол -отработка угла α .

Замкнуть - замкнуть систему:

Kyc+ - коэффициент усиления системы

Kyc- - коэффициент усиления системы

Замкнуть - замкнуть систему.

K инт. - коэффициент интегратора ПИ.

Разомкнуть - разомкнуть систему.

Калибровка - автоматическое согласование реального времени.

Опции подменю **Момент**:

Сигнал - выбор управляющего момента:

Синус -синусоидальный момент: $A \times \sin(f \times t)$. Амплитуда **A** задается в опции **Амплитуда**, а частота **f** в опции **Частота**.

Меандр -ступенька: $A \times \text{Sign}(\text{Sin}(f \times t))$. Амплитуда **A** задается в опции **Амплитуда**, а частота **f** в опции **Частота**.

Треугольный -пилообразный момент: $A \times t$, $t < \text{Level}$. Скорость **A** задается в опции **Амплитуда**, а уровень переключений в опции **Частота**.

Угол -постоянный момент α .

Коэффициент - коэффициенты ПИ регулятора момента:

K интегратора - коэффициент интегратора ПИ.

K пропорциональности - коэффициент пропорциональности ПИ.

Опции подменю **Работа**:

Поиск нуля - поиск нулевого положения датчика.

Пуск - запуск отработки входного сигнала.

Опции подменю **График:**

Загрузить кар. - загрузка сохраненной ранее картинки.

Сохранить кар. - сохранить картинку.

Нарисовать кар. - последнее отображение сигнала выхода на экране.

Показать кар. - выдает на экран форму входного сигнала.

Установить показ - установка картинки:

Вход - вывод на экран при запуске отработки программы входного сигнала.

Выход - вывод на экран при запуске отработки программы выходного сигнала.

Ошибка - вывод на экран при запуске отработки программы сигнала ошибки системы.

Скорость - вывод на экран при запуске отработки программы сигнала скорости.

Опции подменю **Масштаб:**

Автомасштаб - автомасштабирование. Вывод двух периодов сигнала с амплитудой на весь экран.

Масштаб вход - введение масштаба отображения на экране амплитуды входного сигнала.

Масштаб выхода - введение масштаба отображения на экране амплитуды выходного сигнала.

Масштаб ошибки - введение масштаба отображения на экране амплитуды сигнала ошибки.

Масштаб скорости- введение масштаба отображения на экране амплитуды сигнала скорости.

Время развертки - установка времени развертки экрана.

Работа с программой

Для запуска программы необходимо включить питание аппаратуры

управления стендом и выполнить файл RUN.EXE. При этом на экране компьютера высветится главное меню программы и структурная схема исследуемой автоматической системы.

Для выбора типа задающего воздействия необходимо войти в раздел главного меню **Seting** и ввести требуемый вариант воздействия через подменю выбора управляющего сигнала **Signal**, далее необходимо установить требуемые параметры сигнала: амплитуда(**Angel**) и частота (**Frec**) для **Sin**-синусоидального входного сигнала, амплитуда ступеньки (**Step**) и частота (**Frec**) для **Step**-прямоугольного входного сигнала, скорость (**Velocity**) и уровень переключения (**Level**) для **Line**-периодического пилообразного входного сигнала, угол (**Angle**) для **Angle**-ступенчатого входного сигнала. Математическая формула входного сигнала отображается на экране над структурной схемой системы, а его графическое изображение можно вывести на экран выполнив опцию **Test pic** раздела **Draw** главного меню.

Для исследования работы автоматической системы замкнутой по положению необходимо ввести обратную связь по положению. Для этого используется опция **Switch**-замкнуть систему, из подменю **Back Up** раздела **Seting** главного меню. Для исследования работы ППЭД в автономном включении (обратная связь разомкнута) необходимо разомкнуть систему, для этого используется опция **Back Out**. Наличие обратной связи графически отображается на экране в структурной схеме системы.

Запуск отработки системой входного воздействия осуществляется инициализацией опции **Start** раздела **Work** главного меню. При этом на экране выводится координатная система (ось абсцисс-время, ось ординат-амплитуда выводимых на экран сигналов системы), происходит пуск ППЭД, а на экране в координатной системе графически отображается изменение амплитуды сигналов исследуемой автоматической системы в реальном масштабе времени. Выбор отображаемых на экран сигналов

осуществляется в подменю **Set pic** раздела **Draw** главного меню: **Input**-задающий входной сигнал (желтый), **OutPut**-выходной сигнал (красный), **Error**-сигнал ошибки (голубой) и **Speed**-сигнал скорости (синий). Выбранные для вывода на экран сигналы отображаются в соответствующих местах структурной схемы красным цветом, а отмененные белым.

Масштаб вывода сигналов устанавливается в разделе **Scale** главного меню по каждому сигналу в отдельности (**ScaleAngle**, **ScaleAngOut**, **ScaleError**, **ScaleSpeed**) и автоматически по всем из выбранных (**AutoScale**). В опции **TimeDis** раздела **Scale** устанавливается азвертка экрана.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Выполнил: Карандеев Д.И.

Консультант: Сгибнев А.В.

1. Деталь

Изготавливаемая деталь «Втулка» применяется в блоке загрузителя лабораторного испытательного стенда. Материал детали – дюралюминий ГОСТ 2590-71, обладает лучшей обрабатываемостью. Поэтому обработку можно вести при высоких скоростях резания. Для получения требований соосности ступеней втулки будем обрабатывать эти поверхности, используя одну и ту же технологическую базу.

2. Заготовка

Исходя из требований повышения производительности для уменьшения припусков на обработку и уменьшения количества рабочих ходов, необходимо повысить точность заготовки, получить максимальную степень приближенности формы и размеров заготовки к формам и размерам детали. Заготовку получим резкой на пресс-ножницах, калиброванных прутком из сортового проката по ГОСТ 7417-75.

3. Разработка маршрутной технологии

Наименование детали – ВТУЛКА;

Марка материала – дюралюминий;

Количество деталей в изделии – 1;

Время станочное – 14,97 мин.;

Время ручное – 8,2 мин.;

ИТОГО – 23,17 мин.

Размер партии – 20 шт.;

Размер заготовки Ø 100 мм x 64 мм.

ОПЕРАЦИЯ № 1

Наименование операции: заготовительная;

Цех: заготовительный;

Оборудование: пресс-ножницы модель НБ633;

$T_{шт.} = 0,2$ мин.; $T_{п.-з.} = 6,0$ мин.

ОПЕРАЦИЯ № 1.1.

Наименование операции: токарная;

Цех: механический;

Оборудование: станок токарный 16Б05А;

$T_{шт.} = 9,17$ мин.; $T_{п.-з.} = 20$ мин.

ОПЕРАЦИЯ № 1.2.

Наименование операции: токарная;

Цех: механический;

Оборудование: станок токарный 16Б05А;

$T_{шт.} = 0,98$ мин.; $T_{п.-з.} = 20$ мин.

ОПЕРАЦИЯ № 2.

Наименование операции: сверлильная;

Цех: механический;

Оборудование: станок вертикально-сверлильный 2М112;

$T_{шт.} = 3,03$ мин.; $T_{п.-з.} = 6$ мин.

ОПЕРАЦИЯ № 3.

Наименование операции: слесарная;

Цех: механический;

Оборудование: метчик метрический ГОСТ 3266-81;

$T_{шт.} = 6,8$ мин.; $T_{п.-з.} = 9$ мин.

4. Разработка операционной технологии

ОПЕРАЦИЯ № 0. Заготовительная

Оборудование: пресс-ножницы модель НБ633;

Материал: дюралюминий (пруток);

Размеры заготовки: пруток $\varnothing 100$ мм.

Содержание переходов:

1. Установить пруток на нож и подать до упора.
2. Отрубить заготовку длиной 64 мм.

Инструмент режущий: ножи (при станке).

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73

$T_{\text{осн.}} = 1$ мин.; $t_0 = 0,1$ мин.

ОПЕРАЦИЯ № 001. Токарная

Оборудование: станок токарный 16Б05А;

Содержание переходов:

А. Установить заготовку в патрон и закрепить.

$t_{\text{в}} = 0,17$ мин.

1. Подрезать торец $\varnothing 100$ мм до размера 62 мм.

Инструмент режущий: резец подрезной ГОСТ 18880-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$t = 2$ мм, $S = 0,1$ мм/об., $V = 63$ м/мин., $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,26$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,15$ мин.

2. Обточить поверхность $\varnothing 84$ мм в размер 40 мм.

Инструмент режущий: резец проходной ГОСТ 18878-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль 0 ÷ 125 мм ГОСТ 166-73.

$i = 4$; $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 2$ мм; $S = 0,11$ мм/об., $V = 70$ м/мин.,
 $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 1,52$ мин.; $t_{\text{в}} = 1,45$ мин.

3. Проточить фаску 1 мм х 45° на Ø 84 мм.

Инструмент режущий: резец проходной ГОСТ 18878-73.

$t = 1$ мм, $S = 0,11$ мм/об., $V = 48$ м/мин., $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,05$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,15$ мин.

4. Обточить поверхность ($\angle 45^\circ$) Ø 84 мм ÷ 100 мм.

Инструмент режущий: резец проходной ГОСТ 18878-73.

$i = 4$; $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = 2$ мм; $S = 0,2$ мм/об., $V = 43$ м/мин.,
 $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,32$ мин.; $t_{\text{в}} = 1$ мин.

5. Центрировать торец Ø 4 мм.

Инструмент режущий: сверло центровочное Ø 4 мм ГОСТ 14952-73.

$t = 2$ мм, $S = 0,1$ мм/об., $V = 27,04$ м/мин., $n = 2000$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,23$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,1$ мин.

6. Сверлить отверстие Ø 60 мм на глубину 62 мм.

Инструмент режущий: сверло Ø 60 мм ГОСТ 10903-77.

Инструмент мерительный: штангенциркуль 0 ÷ 125 мм ГОСТ 166-73.

$t = 28$ мм, $S = 0,15$ мм/об., $V = 38,8$ м/мин., $n = 2000$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 2,2$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,1$ мин.

7. Обработать поверхность Ø 74 мм в размер 62 мм.

Инструмент режущий: расточный резец ГОСТ 18878-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$i = 3$; $t_{1,2} = 2,5$ мм; $t_3 = 2$ мм; $S = 0,1$ мм/об., $V = 68$ м/мин.,
 $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 1,1$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,15$ мин.

8. Обработать поверхность $\varnothing 78$ мм в размер 10 мм.

Инструмент режущий: расточный резец ГОСТ 18878-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$i = 1$; $t = 1$ мм; $S = 0,1$ мм/об., $V = 48$ м/мин., $n = 200$ об/мин.
 $t_{\text{осн.}} = 0,14$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,05$ мин.

Б. Переустановить деталь.

$t_{\text{в}} = 0,4$ мин.

1. Подрезать торец $\varnothing 100$ мм до размера 60 мм.

Инструмент режущий: резец подрезной ГОСТ 18880-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$t = 2$ мм, $S = 0,1$ мм/об., $V = 63$ м/мин., $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,26$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,15$ мин.

2. Точить поверхность $\varnothing 78$ мм в размер 12 мм.

Инструмент режущий: расточный резец ГОСТ 18878-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$i = 1$; $t = 1$ мм; $S = 0,1$ мм/об., $V = 48$ м/мин., $n = 200$ об/мин.
 $T_{\text{осн.}} = 0,15$ мин.; $t_{\text{в}} = 0,05$ мин.

3. Точить поверхность в $\varnothing 98$ мм

Инструмент режущий: резец проходной упорный ГОСТ 18879-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125$ мм ГОСТ 166-73.

$t = 1$ мм, $S = 0,2$ мм/об., $V = 63$ м/мин., $n = 200$ об/мин.

$T_{\text{осн.}} = 0,16 \text{ мин.}; \quad t_{\text{в}} = 0,15 \text{ мин.}$

4. Точить поверхность $\varnothing 80 \text{ мм}$ в размер 2 мм .

Инструмент режущий: резец подрезной ГОСТ 18880-73.

Инструмент мерительный: штангенциркуль $0 \div 125 \text{ мм}$ ГОСТ 166-73.

$t = 2 \text{ мм}; \quad S = 0,1 \text{ мм/об.}, \quad V = 63 \text{ м/мин.}, \quad n = 200 \text{ об/мин.}$

$T_{\text{осн.}} = 0,11 \text{ мин.}; \quad t_{\text{в}} = 0,05 \text{ мин.}$

В. Снять деталь.

ОПЕРАЦИЯ № 002. Сверлильная

Оборудование: станок вертикально-сверлильный 2М112;

Содержание переходов:

А. Установить деталь в кондуктор по $\varnothing 74 \text{ мм}$ и закрепить по $\varnothing 80 \text{ мм}$ (накладкой).

1. Сверлить 4 отверстия $\times 90^\circ \varnothing 3,6 \text{ мм}$ на глубину 15 мм .

Инструмент режущий: сверло $\varnothing 3,6 \text{ мм}$ ГОСТ 10903-77.

Инструмент мерительный: шаблон.

$t = 1,8 \text{ мм}, \quad S = 0,1 \text{ мм/об.}, \quad V = 18,8 \text{ мм/мин.}, \quad n = 1200 \text{ об/мин.}$

$T_{\text{осн.}} = 0,21 \text{ мин.}; \quad t_{\text{в}} = 0,1 \text{ мин.}$

Б. Снять деталь.

ОПЕРАЦИЯ № 3. Слесарная

Содержание переходов:

А. Установить деталь в тиски.

1. Подрезать резьбу М4 в 4 отверстиях на глубину 11 мм .

Инструмент режущий: метчик М4 ГОСТ 3266-81;

Инструмент мерительный: Пробка М4.

$T_{\text{осн.}} = 1,3 \text{ мин.}; \quad t_{\text{в}} = 1 \text{ мин.}$

Б. Снять деталь.

5. Расчет режимов резания и определение норм времени

Операция №001.

Переход №1.

Подрезка торца.

Выбираем глубину резания $t = 2 \text{ мм}$.

Выбираем подачу (в зависимости от диаметра детали, размера державки резца и обрабатываемого материала):

$S = 0,1 \text{ мм/об.}$

Определяем скорость резания:

$$V = K_V * \frac{l_V}{T^m * S^y}$$

где $K_V = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv}$,

K_{mv} – коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания;

K_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{uv} – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента.

C_v, m, y – справочные коэффициенты.

T – период стойкости инструмента.

$$K_{MV} = K_{\Pi} * \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^m = 1.0 * \left(\frac{750}{750}\right)^{1.0} = 1;$$

$K_{nv} = 0,9$ для заготовки из проката;

$K_{uv} = 0,65$ для марки инструмента Т5К10.

$$K_v = 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,585.$$

$C_v = 47; y = 0,8; m = 0,2; T = 45 \text{ мин.}$

$$V = 0.585 * \frac{47}{45^{0.2} * 0.1^{0.8}} = 63 \text{ м/мин};$$

Частота вращения заготовки:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * d_{\max}} = \frac{1000 * 63}{3.14 * 100} = 200 \text{ об/мин}$$

принимаем $n=200$ об/мин;

истинная скорость резания $V=63$ м/мин;

Основное время на переход:

$$t_{\text{осн}} = \frac{(h+l) * i}{n * S};$$

где h – длина обрабатываемой поверхности [мм], l – длина врезания и перебега инструмента [мм].

$$h = \frac{d}{2} = 50 \text{ мм};$$

$$l = 2 \text{ мм};$$

i – кол-во переходов;

$$t_{\text{осн1}} = \frac{50 + 2}{200 * 0,1} = 0,26 \text{ мин}$$

Вспомогательное время на обработку:

$$t_B = t_{\text{уп}} + t_{\text{с.и.}},$$

где $t_{\text{уп}}$ – время управления станком [мин], $t_{\text{с.и.}}$ – время смены инструмента [мин]

$$t_{\text{уп}} = 2 * \left(\frac{x_0}{V_{\max \text{ пр}}} + \frac{y_0 - d/2 - l/2}{V_{\max \text{ поп}}} \right) + \frac{d/2 + l/2}{V_{\max \text{ поп}}} \cong 0,1 \text{ мин}$$

$$t_{\text{с.и.}} = 3 \text{ сек} = 0,05 \text{ мин}$$

где $V_{\max \text{ пр}}$ – скорость быстрого продольного перемещения суппорта [мм/мин],

$V_{\max \text{ поп}}$ – скорость поперечного перемещения суппорта [мм/мин].

$$t_B = t_{\text{уп}} + t_{\text{с.и.}} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ мин}$$

Переход №5. Центрование.

Выбираем: $t = 2$ мм; $S = 0,06$ мм/об.

Скорость резания:

$$V = \frac{C_V * D^q}{T^m * S^y} * K_V;$$

$$K_V = K_{MV} * K_{HV} * K_{IV} = 1,0 * 0,5 * 1,0 = 0,5;$$

$$C_V = 7,0; \quad q = 0,4; \quad y = 0,7; \quad m = 0,2.$$

T=45 мин для Р6М5.

$$V = \frac{7 * 4^{0,4}}{45^{0,2} * 0,06^{0,7}} * 0,5 = 27,04 \text{ м / мин}$$

Частота вращения заготовки:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * d_{\max}} = \frac{1000 * 27}{3,14 * 4} = 2150 \text{ об / мин};$$

Принимаем n=2000 об/мин.

Фактическая V=25,12 м/мин.

$$\text{Основное время на переход: } t_{\text{очс}} = \frac{6+3}{2000 * 0,06} = 0,075 \text{ мин.}$$

Вспомогательное время на переход:

$$t_{\text{упс}} = \frac{100-1,5}{4000} + \frac{6+100}{4000} = 0,05 \text{ мин};$$

$$t_{\text{с.п.}} = 0,05 \text{ мин}$$

$$t_{\text{Б.5}} = 0,05 + 0,05 = 0,1 \text{ мин}$$

Операция № 002. Сверление.

Выбираем глубину резания: t = 0,5D = 1.8 мм

Выбираем подачу: S=0.1 мм/об;

$$\text{Скорость резания: } V = \frac{C_V * D^q}{T^m * S^y} * K_V;$$

$$\text{где } K_V = K_{MV} * K_{UV} * K_{IV} = 1.0 * 0.5 * 1.0 = 0.5;$$

$$C_V = 7.0, \quad q = 0.4, \quad y = 0.7, \quad m = 0.2, \quad D = 3.6 \text{ мм}, \quad T = 15 \text{ мин}$$

$$V = \frac{7 * 3.6^{0.4} * 0.5}{15^{0.2} * 0.1^{0.7}} = 19.4 \text{ м / мин}$$

Частота вращения заготовки:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * d_{\max}} = \frac{1000 * 19.4}{3.14 * 3.6} = 1235 \text{ об / мин}$$

Принимаем n=1200 об/мин;

Фактическая V=18.8 м/мин;

Основное время на переход:

$$t_{\text{осн}} = \frac{(h+l) * i}{n * S} = \frac{15+3}{1200 * 0.1} = 0.21 \text{ мин};$$

$$t_B = t_{y\Pi} + t_{c\Pi} = 0.1 \text{ мин}$$

6. Станочные приспособления

Для установки заготовки, направления сверла, обеспечения перепозиционирования заготовки при сверлении четырех отверстий разработан кондуктор.

Он состоит из основания с креплениями (1) и верхней части (2) кондуктора, которая может вращаться вокруг основания за счет смазки. Крепление детали в кондукторе обеспечивается за счет прижимной крышки (3), которая крепится к верхней части кондуктора болтом (7) и затягивается гайкой (8). Болт (7) крепится к верхней части кондуктора посредством 2 гаек (10 и 11). Позиционирование прижимной крышки относительно верхней части кондуктора обеспечивается штифтом (6), запрессованным в основание.

Для направления сверла используются кондукторные втулки (5). Отверстие кондукторной втулки изготавливают по ходовой посадке II класса точности. Кондукторную втулку изготавливают из стали марки I10A с закалкой до твердости HRC60÷65. Так как срок службы такой втулки несколько тысяч просверленных отверстий, то быстросменность не предусмотрена. Кондукторные втулки фиксируются в накладке, которая устанавливается на заготовку по Ø 80 мм и штифт вручную, а затем осуществляется прижим накладки с целью фиксации заготовки гайкой 8.

С целью оптимизации времени и точности сверления четырех отверстий верхняя поворотная часть кондуктора фиксируется в четырех положениях рукояткой (4). В свою очередь рукоятка крепится к верхней части кондуктора посредством винта с гайкой (9).

7. Разработка маршрутной технологии сборки испытательного стенда

Наименование изделия – стенд испытательный.

Количество деталей на изделие – 81.

Время сборки – 35,5 мин.

№ операции	Название операции	Содержание операции	Оборудование	Инструмент и приспособления	Средства контроля	Время операции, мин
005	Установка направляющих в опоры	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары 2 опоры и 3 направляющие. 2. Разместить направляющие на эталонной горизонтальной поверхности. 3. Взять из тары 6 винтов и 6 шайб. 4. Прикрутить отверткой опоры к направляющим. 5. Затянуть винты. 	Стол монтажный цеховой	Эталонная горизонтальная поверхность, отвертка шлицевая	Эталонная горизонтальная поверхность	10
010	Установка платформ на направляющие	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары платформу. 2. Взять из тары 6 винтов и 6 шайб. 3. Закрепить платформу на направляющих с помощью винтов и отвертки. 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		6
015	Установка стойки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары стойку нагрузителя. 	Стол	Отвертка		1

	загрузателя на платформу	2. Взять из тары 2 винта. 3. Закрепить стойку блока загрузателя на платформе.	монтажный цеховой	крестовая		
020	Установка стойки ИД на платформу	1. Взять из тары стойку ИД. 2. Взять из тары 2 винта. 3. Закрепить стойку ИД на платформе.	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1
025	Установка стойки ПДВ на платформу	1. Взять из тары стойку ПДВ. 2. Взять из тары 2 винта. 3. Закрепить стойку ПДВ на платформе.	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1
030	Установка ИД в стойку ИД	1. Взять ИД из тары. 2. Взять из тары 2 винта и 1 прокладку. 3. Закрепить ИД на стойке.	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1
035	Установка ППЭД (ПД-46) в стойку ППЭД	1. Взять ИД из тары. 2. Взять из тары 4 винта и 1 прокладку. 3. Закрепить ИД на стойке.	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1,5
040	Установка датчика момента в стойку загрузателя	1. Взять датчик момента из тары. 2. Взять из тары 4 винта и 1 прокладку. 3. Закрепить датчик момента на стойке блока загрузателя.	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1
045	Установка подшипников во втулку загрузателя	1. Взять из тары втулку для блока загрузателя. 2. Взять из тары 2 подшипника. 3. Установить подшипники во	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		2

		втулку.				
050	Фиксация ДП 60-90 упорными кольцами	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары двигатель ДП 60-90. 2. Вставить двигатель во втулку блока загрузателя. 3. Закрепить двигатель во втулке с помощью упорных шестью винтами. 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		3
055	Установка блока загрузателя в стойку загрузателя	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары 4 винта. 2. Закрепить блок загрузателя на стойке с помощью винтов. 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		1
060	Установка планки датчика момента	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары планку датчика момента. 2. Взять из тары 2 винта. 3. Установить планку датчика момента. 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		2
065	Установка зубчатых колес	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары зубчатое колесо. 2. Взять из тары винт. 3. Закрепить ЗК на валу ПДВ. 4. Взять из тары второе ЗК. 5. Взять из тары винт. 6. Установить ЗК на вал двигателя ДП. 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		2
070	Установка зубчатого ремня	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары зубчатый ремень. 2. Надеть ремень на зубчатые колеса ДПВ и ДП 	Стол монтажный цеховой	Отвертка крестовая		0,5
075	Установка валика	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взять из тары валик. 2. Установить валик на вал ИД и вал 	Стол монтажный	Отвертка крестовая		1,5

		ДПВ.	цеховой			
--	--	------	---------	--	--	--

$$T_{\Sigma} = 34,5 \text{ мин}$$

Организация и планирование производства

Выполнил: Карандеев Д.И.
Консультант: Русанова Г.В.

В этой части дипломного проекта производится расчет экономических параметров разработки плана НИОКР.

Основой организации разработки плана НИОКР является планирование сроков выполнения работ и определение их сметной стоимости. В процессе разработки плана устанавливаются стадии разработки и перечень выполняемых на каждой стадии работ, определяется их трудоемкость, продолжительность и число исполнителей.

Исходными данными для планирования являются объемные и трудовые нормативы. На основании объемных нормативов устанавливается состав выполняемых работ. Трудовые нормативы определяют затраты времени в нормо-часах на выполнение каждой работы.

Для достижения этой цели необходимо определить трудоемкость работ на всех стадиях и этапах разработки документации, рассчитать соответствующие циклы стадий и этапов, а также построить графики проведения работ. Составить смету затрат на заработную плату для всех стадий и этапов запланированного комплекса конструкторских работ.

1. Составление плана НИОКР.

Анализ ранее выполненных разработок и рекомендации Государственных стандартов позволяют представить структуру проекта и стадии решаемых задач в следующем виде:

1. Формирование технического задания:
 - назначение и технические характеристики;
 - технико-экономическое обоснование;
 - определение технических параметров узлов и изделия в целом;
 - определение требований к изделию.
2. Формирование эскизного проекта:
 - разработка схематических чертежей УИК;

- выбор системы элементов;
- разработка конструкции узлов.
- 3. Математическая модель:
 - выполнение расчетов и моделирование работы узлов УИК.
- 4. Разработка технического проекта:
 - разработка уточненных чертежей общего вида и подетальных чертежей;
- 5. Разработка рабочего проекта:
 - разработка управляющей программы;
 - технологическая и материальная подготовка производства, изготовления деталей, сборки и монтажа узлов;
 - проведение стендовых и эксплуатационных испытаний.
- 6. Ввод в эксплуатацию:
 - разработка методики наладки и ввода в эксплуатацию.

2. Определение трудоёмкости НИОКР.

Для определения трудоёмкости воспользуемся методом переводных коэффициентов. Суть метода состоит в том, что по известной трудоёмкости сходных по тематике этапов НИОКР (базовая НИОКР), путём расчёта переводных коэффициентов, рассчитывают трудоёмкости этапов НИОКР нового изделия.

Результаты расчета представим в табличной форме (табл.1). В графе 1 указано содержание этапа. Всего на 6 стадиях проектирования выделено 13 этапов.

В графе 2 фиксируется фактическая трудоёмкость этих этапов по базовой НИОКР.

Графа 3 содержит количественную характеристику каждого этапа НИОКР. В качестве такого показателя в данном случае используется количество литературных источников в обзорной части проекта, технической документации в проектной части НИОКР и проводимых

опытов.

Графа 4 содержит базовые коэффициенты сложности, которые получают путем деления трудоёмкости этапа на средневзвешенную трудоёмкость.

$$K_c = \frac{Tp_i}{\overline{Tp}}$$

Средневзвешенная трудоёмкость рассчитывается по формуле средневзвешенной арифметической

$$\overline{Tp} = \frac{\sum_{i=1}^{13} Tp_i * f_i}{\sum_{i=1}^{13} f_i}$$

где f_i – количественная характеристика этапа.

Далее рассчитываются базовые суммарные коэффициенты сложности, которые получаются путем умножения количественных характеристик на базовые коэффициенты сложности.

$$K_{c\Sigma B} = K_c * f_i$$

Графа 6 содержит количественные характеристики этапов планируемой НИОКР.

Коэффициенты сложности этапов новой НИОКР ($K_{cн}$ – графа 7) не рассчитываются, а определяются с учетом возможного усложнения данной работы по сравнению с аналогом.

Суммарные коэффициенты сложности (графа 8) планируемых этапов новой НИОКР рассчитываются как произведение количественной характеристики на планируемый коэффициент сложности.

$$K_{c\Sigma} = K_{cн} * f_i$$

В завершении расчёта трудоёмкость планируемого этапа новой НИОКР получают путем умножения базового этапа на соответствующий переводной коэффициент.

Для получения общей трудоёмкости новой НИОКР трудоёмкости всех этапов суммируются.

На основании результатов расчётов продолжительности этапов строится календарный план-график выполнения НИОКР.

Таблица 1.

Содержание этапа	Трудоёмкость базового этапа, чел./ч	Количественная характеристика базового этапа	Базовые коэффициенты сложности	Базовые суммарные коэффициенты сложности	Количественная характеристика планируемого этапа	Коэффициенты сложности планируемых этапов	Суммарные коэффициенты сложности планируемых этапов	Переводные коэффициенты	Трудоёмкость планируемого этапа, чел./ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Установление основного назначения изделия, оп-ределение тактико-техни-ческих характеристик	24	15	0,06	0,9	15	0,08	1,2	1,33	32
Технико-экономическое обоснование разработки	32	12	0,08	0,96	12	0,07	0,84	0,87	27,84
Определение техничес-ких параметров узлов и УИК в целом	120	10	0,33	3,3	10	0,3	3	0,9	108
Определение требований к УИК	24	8	0,06	0,48	8	0,08	0,64	1,33	31,92
Разработка схематиче- ских чертежей УИК об- щего вида конструкции	240	15	0,66	9,9	15	0,5	7,5	0,75	180
Выбор системы	32	5	0,08	0,4	5	0,05	0,25	0,5	16

элементов									
Разработка конструкции ячеек	80	12	0,22	2,64	12	0,18	2,16	0,81	64,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Проведение необходимых расчётов	288	15	0,8	12	15	0,8	12	1	288
Разработка уточнённых чертежей общего вида, составление подетальных чертежей	352	20	0,97	19,4	20	0,85	17	0,87	306
Составление управляющей программы	24	16	0,6	9,6	16	0,6	9,6	1	24
Технологическая и материальная подготовка производства, изготовление деталей, сборка и монтаж узлов	2240	18	6,23	112,14	18	5,8	104,4	0,93	2083
Проведение стендовых и эксплуатационных испытаний	120	20	0,22	4,4	20	0,18	3,6	0,81	97,2
Разработка методики наладки и ввода в эксплуатацию	48	20	0,13	2,6	20	0,1	2	0,76	36

Исходя из данных таблицы, произведем расчёт суммарной трудоёмкости планируемой НИОКР по всем этапам.

$$Tp_{\Sigma} = \sum_i Tp_i = 3295$$

3. Расчёт затрат на НИОКР.

Произведем расчёт расходов на заработную плату работников, занятых выполнением комплекса работ. Сведём в таблицу 2 данные об исполнителях.

Таблица 2.

Содержание этапа	Исполнители		Число рабочих дней
	категория	количество	
1	2	3	4
Установление основного назначения изделия. Определение тактико-технических характеристик	Ведущий инженер	1	4
Технико-экономическое обоснование разработки	Ведущий инженер	1	2
	инженер	1	2
Определение технических параметров узлов и комплекса в целом	Ведущий инженер	1	5
	инженер	1	5
	инженер-программист	1	5
Определение требований к комплексу	инженер	1	4
Разработка схематических чертежей общего вида конструкций	Ведущий инженер	1	8
	инженер	2	8
Выбор системы элементов	инженер	2	1
Разработка конструкции ячеек	инженер	2	4
Проведение	инженер	3	12

необходимых расчётов			
Разработка уточнённых чертежей общего вида, составление подетальных чертежей	инженер	4	10
Составление управляющей программы	инженер-программист	1	3
1	2	3	4
Технологическая и материальная подготовка производства, изготовление деталей, сборка и монтаж узлов	инженер-технолог	2	32
	рабочий	6	32
Проведение стендовых и эксплуатационных испытаний	инженер-технолог	1	4
	инженер	1	4
	Инженер-программист	1	4
Разработка методики наладки и ввода изделия в эксплуатацию	Ведущий инженер	1	1
	инженер	1	1
	Инженер-программист	1	1

В таблице 3 приведены заработные платы исполнителей НИОКР, а также суммарное количество рабочих дней по каждой категории и затраты на заработную плату для каждой категории.

Таблица 3.

Категория специалиста	Оклад, руб.	Количество дней	Затраты по категориям, руб.
Ведущий инженер	15 000	20	12 000
Инженер	12 000	118	56 640
Инженер-технолог	11 000	68	29 920
Инженер-программист	8 000	13	4 160

Расчёт заработной платы рабочих проводится на основе тарифной системы. Заработная плата вычисляется по формуле:

$$L = I \cdot t,$$

где I – стоимость одного нормо-часа [руб./нормо-час],

t – трудоёмкость работ [нормо-час].

Тогда затраты на заработную плату рабочим составят:

$$L = 8 \cdot 6 \cdot 32 \cdot 35 = 53\,760 \text{ руб.}$$

Рассчитаем затраты по заработной плате при проведении НИОКР:

Основная заработная плата работников – 156 480 руб.

Премия по окончании по завершении НИОКР – 10 % (15 648 руб.).

Отчисления в фонд соц. страхования – 26 % (40 685 руб.).

В результате расходы по заработной плате с учетом премий и отчислений составят 212 813 руб.

Так как расходы по заработной плате составляют приблизительно 25 % затрат на проведение НИОКР, можем оценить итоговую сумму на проведение НИОКР:

$$S = 212\,813 / 25 \cdot 100 = 851\,251 \text{ руб.}$$

Промышленная экология и безопасность.

Выполнил: Карандеев Д.И.

Консультант: Девисилов В.А.

Защита окружающей среды – это проблема, требующая усилий учёных и практиков. Активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решение целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений.

Охрана труда – это комплекс правовых, инженерно – технических, санитарно – гигиенических и организационных мероприятий, цель которых – создание безопасных условий труда, сохранение материальных ценностей и их эффективное использование в народном хозяйстве. Создание безопасных и здоровых условий труда за счёт внедрения средств техники и безопасности, устраняющих производственный травматизм: проведение санитарно-гигиенических мероприятий, предупреждающих профессиональные заболевания – это неотъемлемая часть всего организационного процесса. В ходе проектирования необходимо выявить все опасные места, возникающие в процессе производства продукции и предусмотреть меры по их устранению. Полностью безопасных и безвредных производств не существует, поэтому задача охраны труда – свести к минимуму вероятность поражения или заболевания работающего персонала с одновременным обеспечением комфорта при максимальной производительности труда.

Анализ условий труда студентов в лаборатории. Разработка эргономически обоснованных комфортных условий труда.

Под условиями труда понимается совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда.

Исследования условий труда показали, что факторами производственной среды в процессе труда являются: санитарно – гигиеническая обстановка,

психофизиологические элементы, эстетические элементы, социально – психологические элементы.

Из вышеперечисленного следует, что производственная среда, создающая здоровые и работоспособные условия труда, главным образом обеспечивается выбором технологического процесса, материалов и оборудования; распределением нагрузки между человеком и оборудованием; режимом труда и отдыха, эстетической организацией среды и профессиональным отбором работающих.

При организации условий труда необходимо также учитывать воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов, которые могут привести к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья и заболеванию или снижению работоспособности.

Опасным называется производственный фактор, воздействие которого на работающего в определённых условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Если же производственный фактор приводит к заболеванию или снижению работоспособности, то его считают вредным.

Опасные и вредные производственные факторы по ГОСТ 12.0.003-74 подразделяются по природе действия на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Организация и улучшение условий труда на рабочем месте является одним из важнейших резервов производительности труда и экономической эффективности производства, а также дальнейшего развития самого работающего человека. В этом главное проявление социального и экономического значения организации и улучшения условий труда.

Для поддержания длительной работоспособности человека большое значение имеет режим труда и отдыха. Под рациональным физиологически

обоснованным режимом труда и отдыха подразумевается такое чередование периодов работы с периодом отдыха, при котором достигается высокая эффективность общественно- полезной деятельности человека, хорошее состояние здоровья, высокий уровень работоспособности и производительности труда.

После установления нормального производственного процесса сменный режим труда и отдыха рабочих становится фактором ритмизации труда, эффективным средством предупреждения утомления работающих.

Рациональная организация труда на рабочем месте связана с такой проблемой, как правильная организация работы в течение всей недели, что обеспечивается систематической научной организацией производства.

Для создания оптимальных условий труда необходимо, чтобы в лаборатории были оптимальные показатели этих условий.

Требования к освещению.

Помещения, в которых проводятся лабораторные работы должны быть снабжены общим люминесцентным освещением.

Согласно строительным нормам и правилам СНиП 23-05-95 задаются качественные и количественные характеристики искусственного освещения. В частности необходимо иметь такую схему общего освещения, чтобы освещение от расположенных в лаборатории светильников было равномерно распределено по всей площади.

В качестве светильников выберем источник света типа «ЛЮУ» с люминесцентными лампами ЛБ-40. Этот вид освещения обеспечивает высокий уровень видимости, правильную цветопередачу и значительную экономию электроэнергии по сравнению с лампами накаливания любых типов.

В лаборатории используется 3 вида освещения: естественное (источником его является солнце), искусственное (когда используются только искусственные источники света); совмещенное или смешанное

(характеризуется одновременным сочетанием естественного и искусственного освещения).

Совмещенное освещение применяется в том случае, когда только естественное освещение не может обеспечить необходимые условия для выполнения лабораторных работ.

Действующими строительными нормами и правилами предусмотрены две системы искусственного освещения: система общего освещения и комбинированного освещения.

Естественное освещение создается природными источниками света прямыми солидными лучами и диффузным светом небосвода (от солнечных лучей, рассеянных атмосферой). Естественное освещение является биологически наиболее ценным видом освещения, к которому максимально приспособлен глаз человека.

В данном примере в лаборатории используется боковое естественное освещение, т.е. через оконные проемы.

В зданиях с недостаточным естественным освещением применяют совмещенное освещение - сочетание естественного и искусственного света. Искусственное освещение в системе совмещенного может функционировать постоянно (в зонах с недостаточным естественным освещением) или включаться с наступлением сумерек.

С точки зрения гигиены труда основной светотехнической характеристикой является освещенность (E), которая представляет собой распределение светового потока (Φ) на поверхности площадью (S) и может быть выражена формулой $E = \Phi/S$.

Общее освещение $E = 300$ лк.

Комбинированное освещение = 400 лк.

Коэффициент естественного освещения = 3 %.

Световой поток (Φ) - мощность лучистой энергии, оцениваемая по производимому ею зрительному ощущению. Измеряется в люменах (лм).

В физиологии зрительного восприятия важное значение придается не

падающему потоку, а уровню яркости освещаемых производственных и других объектов, которая отражается от освещаемой поверхности в направлении глаза. Зрительное восприятие определяется не освещенностью, а яркостью, под которой понимают характеристику светящихся тел, равную отношению силы света в каком-либо направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению. Яркость измеряется в нитах (нт). Яркость освещенных поверхностей зависит от их световых свойств, степени освещенности и угла, под которым поверхность рассматривается.

Сила света - световой поток, распространяющийся внутри телесного угла, равного 1 стерadianу. Единица силы света - кандела (кд).

Световой поток, падающий на поверхность, частично отражается, поглощается или пропускается сквозь освещаемое тело. Поэтому световые свойства освещаемой поверхности характеризуются также следующими коэффициентами:

- коэффициент отражения - отношение отраженного телом светового потока к падающему;
- коэффициент пропускания - отношение светового потока, прошедшего через среду, к падающему;
- коэффициент поглощения - отношение поглощенного телом светового потока к падающему.

К гигиеническим требованиям, отражающим качество освещения, относятся:

- равномерное распределение яркостей в поле зрения и ограничение теней;
- ограничение прямой и отраженной блескости;
- ограничение или устранение колебаний светового потока.

Равномерное распределение яркости в поле зрения имеет важное значение для поддержания работоспособности человека. Если в поле зрения постоянно находятся поверхности, значительно отличающиеся по яркости

(освещенности), то при переводе взгляда с ярко- на слабоосвещенную поверхность глаз вынужден переадаптироваться. Частая переадаптация ведет к развитию утомления зрения и затрудняет выполнение производственных операций.

Степень неравномерности определяется коэффициентом неравномерности - отношением максимальной освещенности к минимальной. Чем выше точность работ, тем меньше должен быть коэффициент неравномерности.

Чрезмерная слепящая яркость (блесткость) – свойство светящихся поверхностей с повышенной яркостью нарушать условия комфортного зрения, ухудшать контрастную чувствительность или оказывать одновременно оба эти действия.

Светильники – источники света, заключенные в арматуру, предназначенные для правильного распределения светового потока и защиты глаз от чрезмерной яркости источника света. Арматура защищает источник света от механических повреждений, а также дыма, пыли, копоти, влаги, обеспечивает крепление и подключение к источнику питания.

По светораспределению светильники подразделяются на светильники прямого, рассеянного и отраженного света. Светильники прямого света более 80% светового потока направляют в нижнюю полусферу за счет внутренней отражающей эмалевой поверхности. Светильники рассеянного света излучают световой поток в обе полусферы: одни - 40-60% светового потока вниз, другие - 60-80% вверх. Светильники отраженного света более 80% светового потока направляют вверх на потолок, а отражаемый от него свет направляется вниз в рабочую зону.

Для защиты глаз от блескости светящейся поверхности ламп служит защитный угол светильника - угол, образованный горизонталью от поверхности лампы (края светящейся нити) и линией, проходящей через край арматуры.

Светильники для люминесцентных ламп в основном имеют прямое

светораспределение. Мерой защиты от прямой блескости служат защитный угол, экранирующие решетки, рассеиватели из прозрачной пластмассы или стекла.

С помощью соответствующего размещения светильников в объеме рабочего помещения создается система освещения. Общее освещение может быть равномерным или локализованным. Общее размещение светильников (в прямоугольном или шахматном порядке) для создания рациональной освещенности производят при выполнении однотипных работ по всему помещению и при большой плотности рабочих мест (сборочные цеха при отсутствии конвейера, деревоотделочные и др.) Общее локализованное освещение предусматривается для обеспечения на ряде рабочих мест освещенности в заданной плоскости (термическая печь, кузнечный молот и др.), когда около каждого из них устанавливается дополнительный светильник (например, кососвет), а также при выполнении на участках цеха различных по характеру работ. Местное освещение предназначено для освещения рабочей поверхности и может быть стационарным и переносным, для него чаще применяются лампы накаливания, так как люминисцентные лампы могут вызвать стробоскопический эффект. Для местного освещения следует применять светильники, установленные на металлорежущих станках и отрегулированные так, чтобы освещенность в рабочей зоне была не ниже значений, установленных. Для местного освещения должны использоваться светильники с непросвечиваемыми отражателями с защитным углом не менее 30° . Кроме того, должны быть предусмотрены меры по снижению отраженной блескости.

Чистка стекол оконных проемов, ламп и осветительной арматуры должна проводиться не реже двух раз в год.

Для расчета общего освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока, учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток группы ламп светильника при использовании люминисцентных ламп рассчитывают по

формуле:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} * S * z * k}{N * \eta},$$

отсюда:
$$N = \frac{E_{\text{н}} * S * z * k}{\Phi_{\text{л}} * \eta}$$

где $E_{\text{н}}$ – нормированная минимальная освещенность [лк];

S – площадь освещаемого помещения [м^2];

z – коэффициент минимальной освещенности;

k – коэффициент запаса;

N – число светильников в помещении;

η – коэффициент использования светового потока ламп.

Зная $\Phi_{\text{л}}$ (4000), $E_{\text{н}}$ (500), S (100 м^2), z (1,1), k (1,5) и рассчитав η по формуле:

$$\eta = \frac{A * B}{H * (A + B)} = \frac{10 * 10}{3 * (10 + 10)} = 1.67$$

следовательно:

$$N = \frac{500 * 100 * 1.1 * 1.5}{4000 * 1.67} = 12.35,$$

т.к. люминесцентные лампы могут перегорать возьмем коэффициент запаса 1.6, получим $N=20$ шт.

Требования к микроклимату.

ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования" определяет микроклимат помещений как климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Перечисленные факторы оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье, и надежность работы средств измерения. В производственных условиях характерно суммарное действие микроклиматических факторов.

Температура воздуха является одним из основных параметров, характеризующих тепловое состояние микроклимата помещений, -

измеряется в градусах Цельсия или в Кельвинах.

Скорость движения воздуха V – вектор усредненной скорости перемещения воздушных потоков (струй) под действием различных побуждающих сил. Скорость движения измеряется в м/с.

Влажность воздуха – это содержание в нем паров воды. Для характеристики содержания влаги в воздухе используют понятия абсолютная, максимальная и относительная влажность.

Особенно большое влияние на микроклимат оказывают источники тепла, существующие в помещении.

Для оценки метеорологических условий в помещениях производят измерение температуры, влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения. Результаты измерений сравнивают с нормативами.

Температуру измеряют с помощью ртутных и спиртовых термометров, относительную влажность – с помощью психрометров, а скорость движения воздуха – с помощью анемометров и кататермометров.

С целью создания нормальных условий для студентов установлены нормы производственного микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88). Эти нормы устанавливают оптимальные и допустимые величины температуры, влажности и скорости движения воздуха для рабочей зоны производственных помещений с учетом избытка явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

ГОСТ 12.1.005-88 устанавливает нормы и требования к показаниям микроклимата и допустимое содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Показателями, характеризующими микроклимат являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Интенсивность теплового облучения от нагретых поверхностей оборудования, осветительных приборов не должна превышать 70 ватт/м при величине облучения поверхности от 25% до 50%.

Запыленность воздуха пылью растительного и животного происхождения не должна превышать требований, изложенных в ГОСТ 12.1.005-88 (2÷6 мг/куб. м).

Помещения должны быть оборудованы системой механической приточно - вытяжной вентиляции.

Содержание вредных веществ в воздухе не должны превышать предельную допустимую концентрацию.

Требования по электробезопасности.

Компьютер (системный блок и монитор) является неотъемлемой частью современного лабораторного рабочего места, поэтому возникает необходимость принятия необходимых мер безопасности при обращении с этим электрооборудованием.

В лабораториях используется переменное напряжение 220 В при частоте переменного тока 50 Гц. Это напряжение опасно для жизни человека, поэтому для соблюдения техники безопасности необходимо принимать следующие меры:

1. Заземление всех электроприборов.
2. Использование предохранителей.
3. Применение заземляющих браслетов, при пайке микросхем.
4. Предупреждающие надписи на электроприборах.
5. Инструктаж рабочего и обслуживающего персонала.

Состояние электрических коммуникаций контролируется соответствующими службами промышленного предприятия.

Разветвленные сети большой протяженности имеют значительные ёмкости и небольшие активные сопротивления, поэтому однофазные прикосновения в таких сетях весьма опасны. Поэтому применяется

разделение сетей на отдельные, не связанные между собой участки, разделительными трансформаторами, что способствует резкому снижению опасности поражения электрическим током, за счет снижения емкостной проводимости.

Малым называется напряжение не более 42В, применяемое с целью уменьшения опасности поражения электрическим током. Малые напряжения используются для питания электрифицированного инструмента, переносных светильников и местного освещения в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных. Электрозащитные средства по назначению подразделяются на:

- изолирующие;
- ограждающие;
- вспомогательные.

Изолирующие служат для изоляции человека от токоведущих частей и в свою очередь подразделяются на основные и дополнительные.

Основные — это те средства защиты, изоляция которых длительно выдерживает рабочее напряжение. Они позволяют прикасаться к токоведущим частям под напряжением. К ним относятся:

- изолирующие штанги;
- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- диэлектрическая обувь;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками;
- указатели напряжения.

Дополнительные средства сами по себе не обеспечивают защиту от электрического тока, а применяются совместно с основными средствами, это -изолирующие подставки, коврики, боты.

Ограждающие защитные средства служат для временного ограждения токоведущих частей, а также для предупреждения ошибочных действий в работе с коммутационной аппаратурой. Это переносные ограждения, щиты,

изолирующие накладки, переносные заземления. Вспомогательные средства служат для защиты от падения с высоты, тепловых ударов. К ним относятся предохранительные пояса, страхующие канаты, когти, очки и рукавицы. Согласно ПУЭ все электрические устройства подвергаются испытаниям на механическую и электрическую прочность.

Сигнализация (звуковая, световая и комбинированная) предназначена для предупреждения персонала о наличии напряжения или его отсутствии.

Плакаты служат для предупреждения об опасности приближения к частям электроустановок. Они могут быть: предупреждающими, запрещающими, предписывающими и указательными.

Блокировка — это устройство предотвращающее попадание работающих под напряжение в результате ошибочных действий. Блокировка по принципу действия подразделяется на: электрическая (непосредственно коммутирует блок контакта в электрической цепи); механическая (запирает замок).

Защитное заземление есть преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Принцип действия защитного заземления основан на снижении напряжения относительно земли до допустимых уровней напряжения прикосновения. Соединение металлических нетоковедущих частей оборудования с землей осуществляется с помощью заземляющих проводников и заземлителей. Заземлитель — это совокупность металлических стержней, находящихся в земле и соединенных между собой металлическим проводником. Заземлители бывают искусственные (только для заземления) и естественные (металлические предметы в земле для иного предназначения). Заземляющие проводники соединяют части заземляемых установок с заземлителем. Естественные заземлители — трубопроводы.

Нормируемой характеристикой является сопротивление защитного заземляющего контура. Согласно ПУЭ в электрических установках напряжением до 1000В ПДУ не более 4 Ом, а для установок свыше 1000В не

более 10 Ом. Присоединение установок к общему заземляющему проводнику осуществляется параллельно и чем меньше мощность заземляемых установок, тем меньше должно быть сопротивление заземления.

Определяем сопротивление растекания тока единичного стержня заземлителя:

$$R_{cn} = \frac{0,366 \rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} * \lg \frac{4H + l}{4H - l} \right)$$

Определяем количество стержней заземлителей:

$$n = \frac{R_{CT}}{n_{CT} * R_{gon}}$$

В соответствии с рассчитанным значением п по таблице определяем уточненное значение коэффициента использования стержней заземлителей η_{CT} и заново рассчитываем значение п, после этого определяем среднее значение п.

Определяем длину полосы: $l_{пол} = 1,05 * a * n$

Определяем сопротивление растеканию тока по полосе соединительного провода:

$$R_{пол} = \frac{0,366 \rho}{l_{пол}} * \lg \frac{2l_{пол}^2}{b * H}$$

Сопротивление группового искусственного заземления $R_{гр}$ равно:

$$R_{гр} = \frac{R_{пол} * R_{CT}}{R_{пол} * \eta_{CT} * n + R_{CT} * \eta_{пол}}$$

Критерий расчета соблюден, если $R_{гр} < R_{доп}$.

Защитное зануление — это преднамеренное электрическое заземление с нулевым защитным проводом на конце металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

12. Список литературы.

1. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В. С. Пьезоэлектрические двигатели. - М.: Энергия, 1980. - 110 с.
2. Ерофеев А. А. Пьезоэлектронные устройства автоматики. - Л.: Машиностроение, 1982. - 212 с.
3. Трофимов А. И. Пьезоэлектрические элементы автоматики. - Томск: Издательство ТПИ, 1980. - 94 с.
4. Бансевичус Р. Ю., Рагульскис К. М. Вибродвигатели. - Вильнюс: Мокслас, 1981. - 193 с.
5. Бансевичус Р. Ю., Рагульскис К. М.: Вибрационные преобразователи движения. - Л.: Машиностроение, 1984. - 64 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя в 2-ух томах. Под ред. А.Г. Косиловой – М.: Машиностроение, 1986г.
7. Приспособления для металлорежущих станков. М.А. Ансеров, – М.: Машиностроение, 1986г.
8. Проектирование станочных приспособлений. А.П. Белоусов, – М.: Машиностроение, 1979г.