

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ
ПРЕЦИЗИОННЫХ ПРУЖИН**

Студент(ка)	<u>Е.Д. Темников</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент В.А. Медведев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____ (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

Аннотация

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Темникова Евгения Дмитриевича по теме «Микропроцессорная система контроля прецизионных пружин». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2016 году.

Пояснительная записка: 73с., 4 разд., 54 рис., 19 табл. прил. 9с.

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: методы измерения силы сжатия, принципиальная схема, микроконтроллер Atmel, алгоритм работы, протокол обмена данными, программирование контроллера.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорной системы контроля прецизионных пружин. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема системы, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата модуля. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

Содержание

Введение.....	5
1 Аналитическая часть. Анализ требований к микропроцессорной системе	6
1.1 Анализ объекта автоматизации	6
1.1.1 Анализ существующих методов испытаний упругости	6
1.1.2 Анализ методов измерения силы сжатия.....	11
1.2 Определение целей и задач проектирования	12
1.3 Сравнительный анализ технических решений.....	13
1.3.1 Микроконтроллеры управления	13
1.3.2 Анализ дисплеев	16
1.4 Формирование требований к микропроцессорной системе.....	18
2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорной системы	20
2.1 Построение структурной схемы микропроцессорной системы	20
2.2 Выбор (разработка) аппаратного и программного обеспечения.....	21
2.2.1 Выбор компонентов микропроцессорной системы	21
2.2.2 Выбор отладочного средства.....	32
2.2.3 Оценка технических характеристик	35
2.3 Алгоритмы работы МПС	36
2.3.1 Алгоритм работы прибора ИУПП	36
2.3.2 Алгоритм вывода данных на дисплей.....	38
2.3.3 Схема взаимодействия ИУПП с ПК	38
2.3.4 Протокол обмена данными.....	42
2.4 Методы обеспечения качества системы.....	46
3 Конструкторская часть. Реализация микропроцессорной системы.....	50
3.1 Конструкторско-техническая документация	50
3.1.1 Описание процесса компоновки моделей МПС	50
3.1.2 Настройка аппаратно-программных модулей	55
3.1.3 Описание особенностей программирования.....	56
3.2 Тестирование технических характеристик микропроцессорной системы.	59
3.3 Описание эксплуатационной документации.....	60

3.3.1 Руководство пользователя	60
3.3.2 Описание работы микропроцессорной системы.....	61
4 Расчет экономических показателей работы микропроцессорной системы.....	64
4.1 Выбор и обоснование базового варианта.....	64
4.2 Расчет экономической эффективности производства.....	65
4.2.2 Затраты по статье «Материалы основные».....	66
4.2.3 Затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»	66
4.2.4 Затраты по статье «Зарплата».....	68
4.2.5 Отчисления и накладные расходы	70
4.2.6 Себестоимость продукции	70
4.2.7 Расчет экономического эффекта.....	71
Заключение	73
Литература	75

Введение

Современное состояние рынка диктует высокие требования к качеству. Увеличение качества выпускаемой продукции невозможно без применения современных технологий.

Одни производители, занимающиеся выпуском единичной номенклатурой, другие готовыми сборочными единицами, и своевременный входной или выходной контроль способствует увеличению качеству продукции.

В бакалаврской работе предлагается разработать микропроцессорную систему контроля прецизионной пружины по CANopen интерфейсом. Внедрение в производство данной аппаратуры производит уменьшить процент брака и время на проведение испытаний.

В первой главе проанализируем методы контроля прецизионных пружин, существующие технические решения для поставленной задачи и сформулируем требования к будущей микропроцессорной системе.

Вторая глава будет посвящена в первую очередь разработке структурной схеме устройства, на основании которой произведем выбор элементной базы. Также рассмотрим программные и отладочные средства для разработки и отладки программы. Разработаем алгоритмы работы МПС и схему взаимодействия передачи данных на сервер (ПК).

В третьей главе разработаем схему электрическую принципиальную, опишем работу системы. В дальнейшем полученную схему перенесем для трассировки печатной платы. Укажем параметры настройки и тестирования аппаратуры.

Расчет экономических показателей и эффективности разработанного прибора будет рассмотрен в четвертой главе.

1 Аналитическая часть. Анализ требований к микропроцессорной системе

1.1 Анализ объекта автоматизации

1.1.1 Анализ существующих методов испытаний упругости

Перед тем как приступить к проектированию микропроцессорной системы контроля прецизионной пружины рассмотрим существующие методы испытаний упругости. Испытания проводятся на специальных машинах сжатия всех систем или машинах растяжения (зона сжатия), отвечающих требованиям ГОСТ 28840.

При проведении испытаний на сжатие (рисунок 1.1), испытательная машина должна быть оснащена:

- а) преобразователем силы;
- б) тензомер;
- в) самопишущий прибор – при определении механических характеристик

$E_s, \sigma_{пц}^c, \sigma_{0,05}^c$.

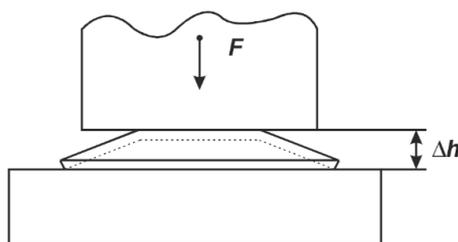


Рисунок 1.1 – Метод испытания упругости методом сжатия.

При этом установка тензометра осуществляется на образец в его расчетной части, а самопишущий прибор необходим для записи диаграммы $F(\Delta h)$. Количество образцов для оценки среднего значения механических характеристик $E_s, \sigma_{пц}^c, \sigma_{0,05}^c, \sigma_T^c, \sigma_{0,2}^c$ и σ_s^c должно быть не менее пяти, если разница в определяемых характеристиках не превышает 5%.

Для построения кривой обработки результатов испытаний методами корреляционного анализа, количество образцов избирают исходя из предполагаемого вида кривой и ее участков. Для участка I кривой упрочнения (рисунок 1.2а), испытывают не менее шести образцов, для участка II - не менее пяти образцов, для участка III - в зависимости от значения деформации,

соответствующей данному участку (не менее одного образца на диапазон степеней деформации $\varepsilon_i = 0,10$). Для кривых упрочнения, приведенных на рисунках 1.2b-1.2d, число образцов должно быть не менее 15.

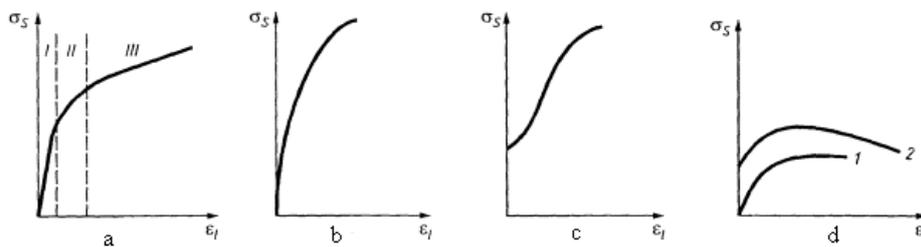


Рисунок 1.2 – Типы кривых упрочнения.

Механические характеристики E_s , $\sigma_{\text{пл}}$, $\sigma_{0,05}^f$, σ_T^f можно определить:

а) при помощи тензометров с ручным и автоматизированным съемом информации (аналитический и расчетный способ обработки);

б) записывая испытательную машинную автодиаграмму в координатах «усилие - абсолютная деформация ($P - \Delta h$)».

Запись диаграмм должна выполняться при ступенчатом нагружении с циклами разгрузки и непрерывном приложении возрастающего усилия

Модуль упругости при сжатии определяют на образцах I типа. Порядок проведения испытаний и методика построения диаграммы испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра приведены на рисунке 1.3.

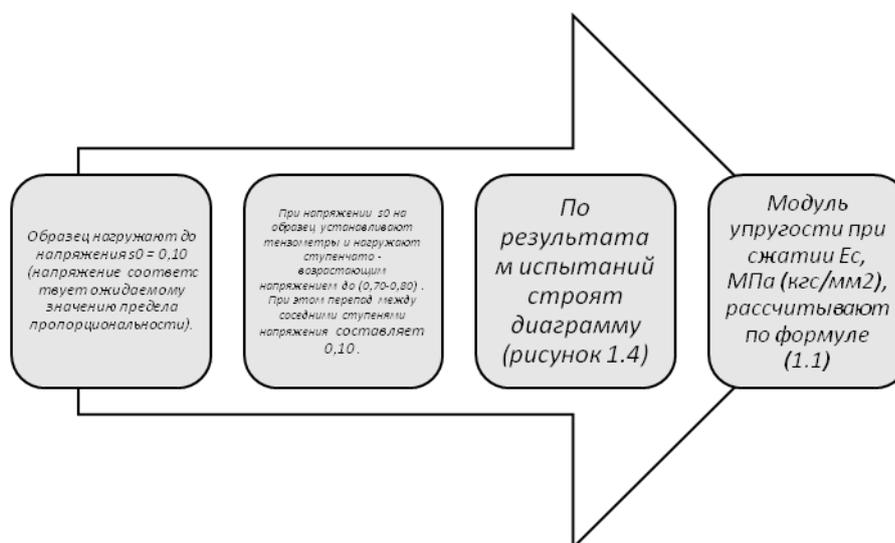


Рисунок 1.3 - Порядок проведения испытаний и методика построения диаграммы испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра на образцах типа I.

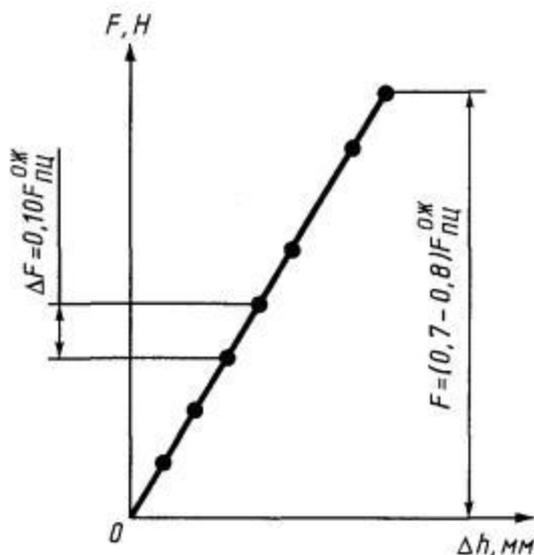


Рисунок 1.4 - Диаграмма испытаний для определения модуля упругости при сжатии.

$$E^c = \frac{\Delta F h_0}{\Delta h_{\text{ср}} A_0}, \quad (1.1)$$

где:

ΔF - ступень нагрузки, Н (кгс);

$\Delta h_{\text{ср}}$ - средняя абсолютная деформация (укорочение) образца при нагружении на ΔF , мм.

Предел пропорциональности при сжатии определяют на образцах I и II типов. Порядок испытаний образца и методика построения диаграммы по показаниям преобразователя силы и тензометра приведены на рисунке 1.5.

При построении диаграммы проводят прямую ОМ, которая совпадает с начальным прямолинейным участком. Через точку О проводят ось ординат ОФ, а потом - прямую АВ на произвольном уровне, параллельную оси абсцисс. На этой прямой откладывают отрезок КN, который равен половине отрезка АК. Через точку N и начало координат проводят прямую ON и параллельно ей касательную CD к кривой. Точка касания определяет нагрузку $F_{\text{пц}}$, соответствующую пределу пропорциональности при сжатии $\sigma_{\text{пц}}^c$, МПа (кгс/мм²), рассчитанному по формуле:

$$\sigma_{\bar{\omega}}^{\bar{n}} = \frac{F_{\bar{\omega}}}{A_0} \quad (1.2)$$

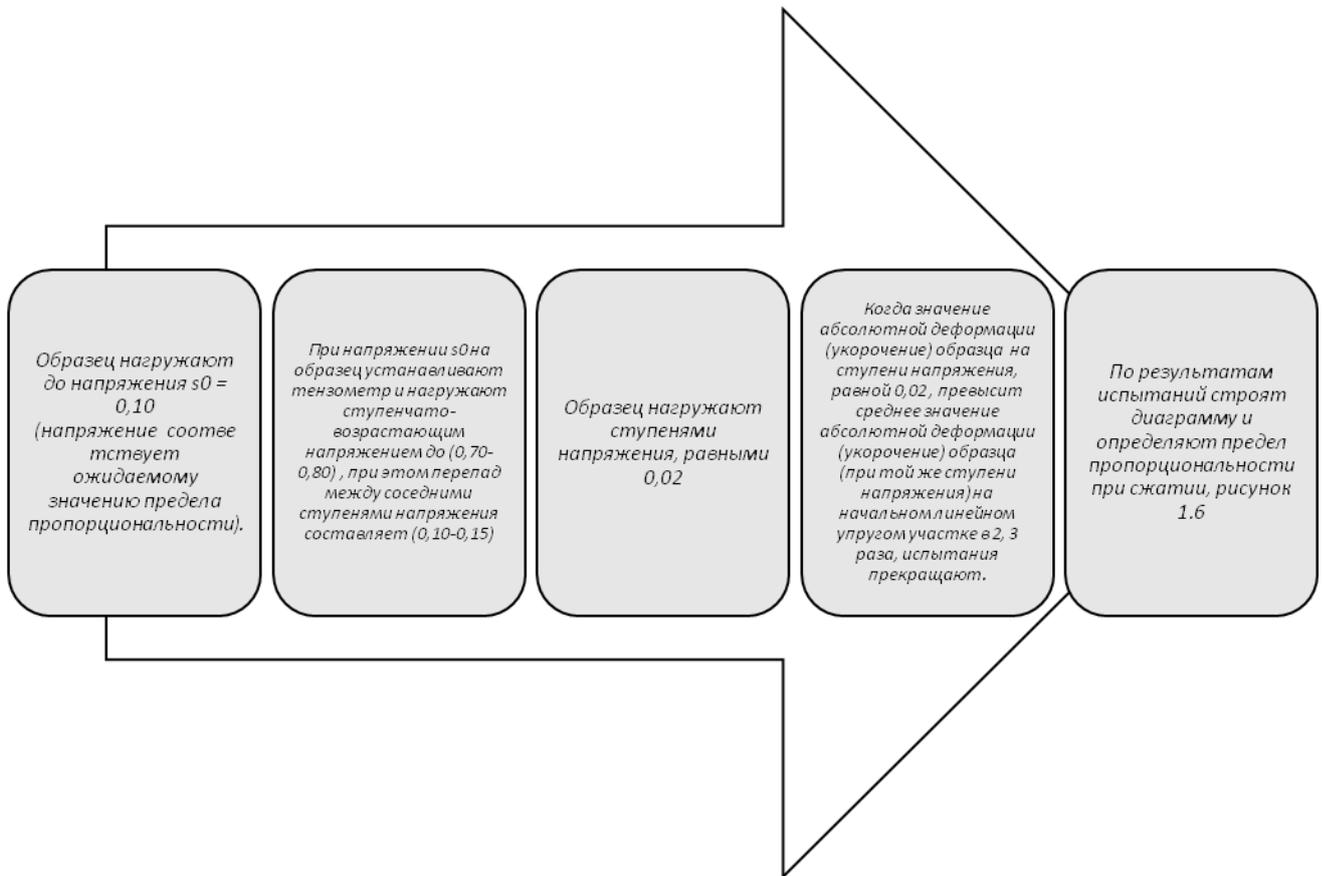


Рисунок 1.5 - Порядок испытаний образца и методика построения диаграммы по показаниям преобразователя силы и тензометра на образцах типа I и II.

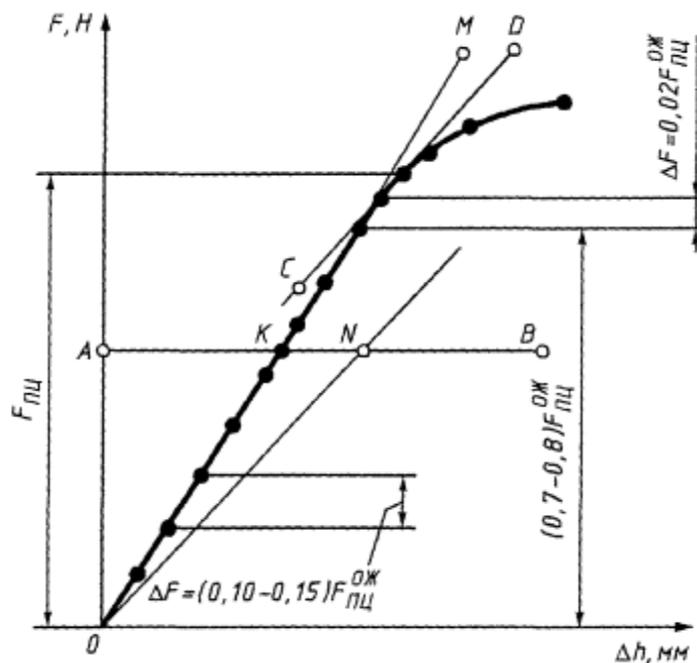


Рисунок 1.6 - Диаграмма испытаний для

определения предела пропорциональности при сжатии.

Предел упругости при сжатии $\sigma_{0,05}^f$ определяют на образцах II типа. Порядок испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра приведен на рисунке 1.7.

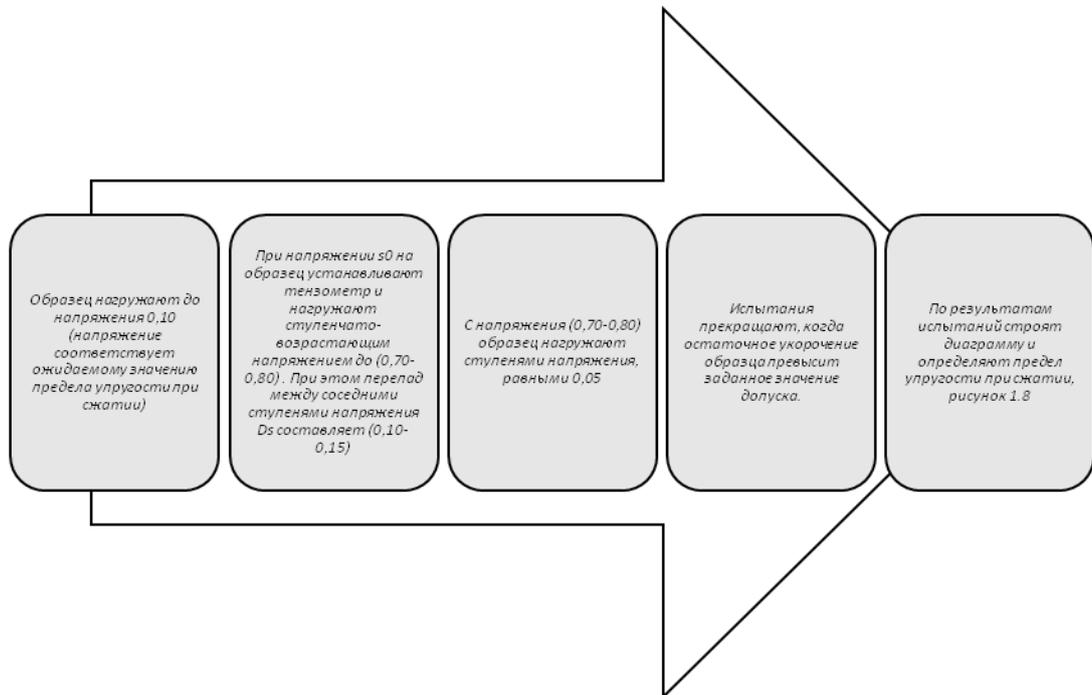


Рисунок 1.7 - Порядок испытаний по показаниям преобразователя силы и тензометра на образцах II типа.

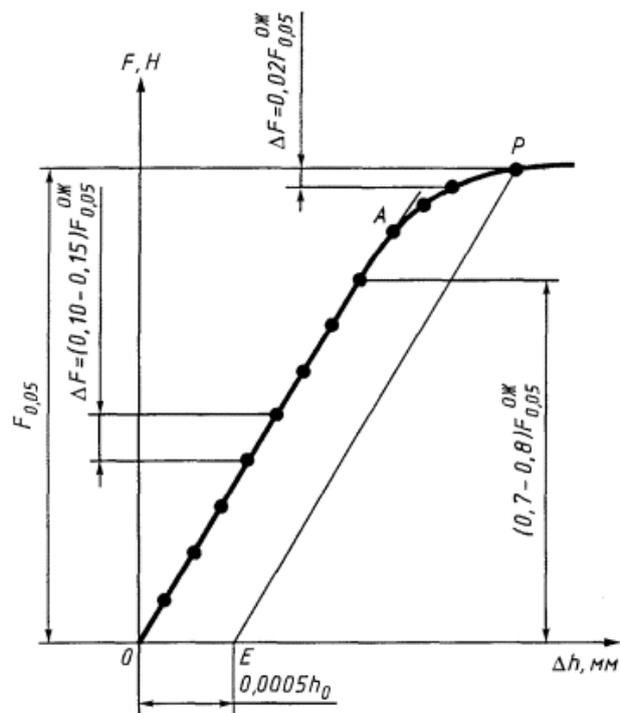


Рисунок 1.8 - Диаграмма испытаний для определения

предела упругости при сжатии.

Для определения нагрузки $F_{0,05}$ нужно рассчитать абсолютную деформацию (укорочение образца) Δh , отталкиваясь из базы тензометра. Найденное значение нужно увеличить пропорционально масштабу диаграммы по оси абсолютной деформации и отрезок, полученной длины ОЕ, откладывают по оси абсцисс вправо от точки О. Из точки Е проводят прямую ЕР, параллельную прямой ОА. Точка пересечения Р с диаграммой определяет высоту ординаты, т.е. нагрузку $F_{0,05}$, соответствующую пределу упругости при сжатии $s_{0,05}$ МПа (кгс/мм²), рассчитанному по формуле:

$$\sigma_{0,05}^{\bar{n}} = \frac{F_{0,05}}{A_0} . \quad (1.3)$$

1.1.2 Анализ методов измерения силы сжатия

За последнее время появились разнообразные системы измерения силы. Принцип действия прост - вес груза действует на датчик (электрический преобразователь деформации), который преобразует деформацию в электрический сигнал, который затем может обрабатываться любыми способами - от аналоговой шкалы до весового контроллера или компьютера. В настоящее время наибольшее распространение получило применение трех типов датчиков.

Виброчастотный метод работает по принципу изменения резонансной частоты натянутой металлической струны, соединенной с упругим элементом весов, в зависимости от приложенного к упругому элементу усилия. Влияние воздействия факторов внешней среды, таких как температура, влажность, вибрации на частоту датчика, а также сложность датчиков в изготовлении, усложняет их применение и эксплуатацию.

Пьезокварцевые датчики работают за счет изменения резонансной частоты кристалла кварца, связанного с упругим элементом весов, при воздействии на него массы груза. Кварцевые кристаллы могут изменять свои параметры под воздействием окружающей среды, что затрудняет применение пьезокристаллических датчиков в промышленности.

Тензометрический метод основан на изменении сопротивления тензодатчиков (тензорезисторов, соединенных по мостовой схеме), расположенных на упругом элементе весов. При деформации упругого элемента изменяется сопротивление тензорезисторов, которое, в свою очередь, изменяет напряжение в измерительной цепи.

Исходя из вышесказанного, для измерения силы сжатия наиболее эффективным является применение тензодатчиков. Тензорезисторные датчики отличаются высоким качеством, обусловленным современными технологиями, простотой изготовления, не требующей сложного технологического оборудования. Также тензодатчики обладают низкой себестоимостью при высоких технических характеристиках, которые стабильны в течение всего срока службы датчика.

1.2 Определение целей и задач проектирования

Проанализировав объект автоматизации, были определены следующие цели. Разработать МПС способную снимать нагрузочную характеристику прецизионных пружин. Поскольку прибор планируется применять в промышленности, предусмотреть возможность подключения в сеть CANopen. При отсутствии сети CANopen полученная нагрузочная характеристика передается на сервер (ПК) по USB интерфейсу. В МПС реализовать функцию измерения в контрольных точках и режим автономной работы (т.е. без подключения к серверу (ПК)) с сохранением всех измерений.

Контроль за процессом работы возлагается на микроконтроллер. В его задачи входит получение данных с измерительных датчиков, обработка накопленной информации и последующая передача на сервер.

Технология передачи информации по CAN и USB интерфейсу сложна и требует готовых решений. Первый вариант, микросхемы перечисленных интерфейсов связывать с микроконтроллером по шине USART. В таком случае потребуется две шины USART и скорость передачи не превысит 115кБит/с. Второй вариант, применить микроконтроллеры со встроенным CAN и USB

интерфейсом. Такой вариант предпочтительней т.к. реальная скорость ограничивается возможностями выбранного соединения.

Испытания, проведенные в режиме автономной работы, необходимо буферизировать на долгое время, рекомендуется применить энергонезависимую память.

Потребуется установить дисплей для контроля за процессом работы и снятии показаний в указанных контрольных точках.

1.3 Сравнительный анализ технических решений

1.3.1 Микроконтроллеры управления

1.3.1.1 Микроконтроллеры AVR

Микроконтроллеры AVR фирмы Atmel — семейство восьмибитных микроконтроллеров фирмы Atmel. Имеют гарвардскую архитектуру (программа и данные находятся в разных адресных пространствах) и систему команд, близкую к идеологии RISC. Процессор AVR имеет 32 8-битных регистра общего назначения, объединённых в регистровый файл.

Характеристики линеек микроконтроллеров AVR представлены на рисунке 1.9.

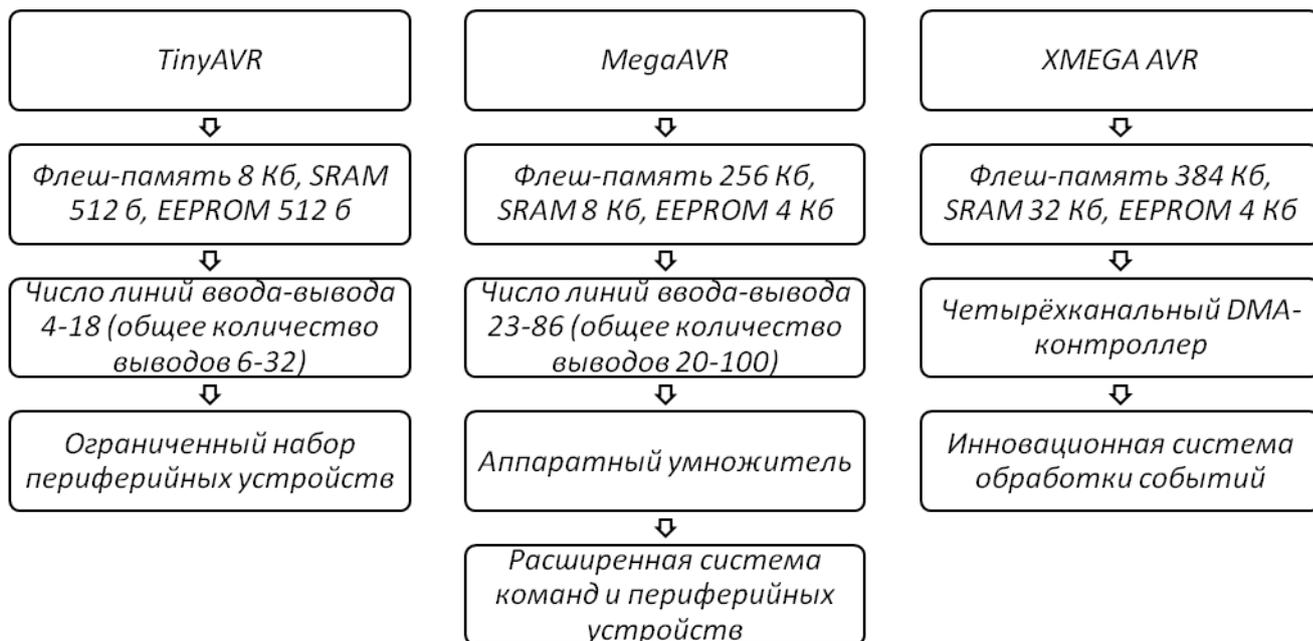


Рисунок 1.9 - Характеристики линеек микроконтроллеров AVR.

МК AVR имеют развитую периферию: многофункциональные, двунаправленные GPIO порты ввода/вывода со встроенными подтягивающими резисторами. Конфигурация портов ввода-вывода задаётся программно.

Отладка программ осуществляется с помощью интерфейсов JTAG или debugWIRE: сигналы JTAG мультиплексированы на порт ввода/вывода.

Основные характеристики микроконтроллеров AVR представлены на рисунке 1.10.

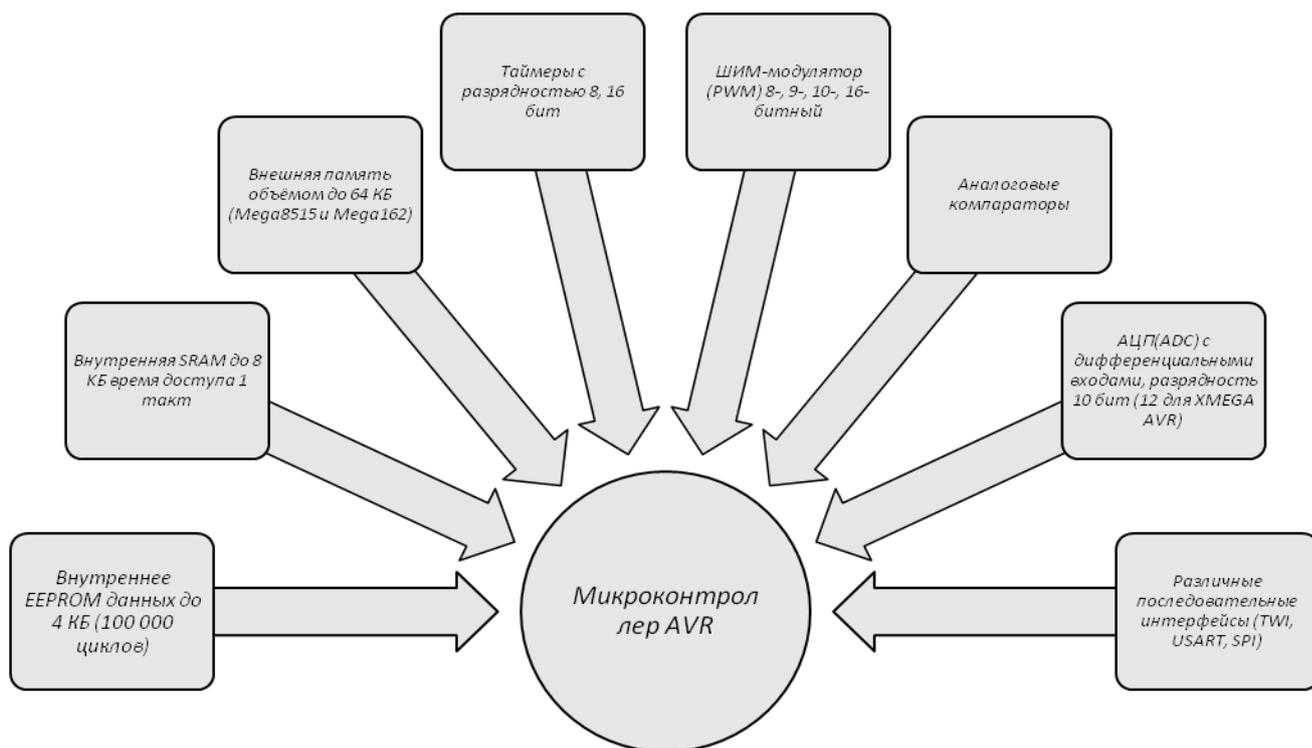


Рисунок 1.10 - Основные характеристики микроконтроллеров AVR.

1.3.1.2 Микроконтроллеры PIC

Семейство PIC – микроконтроллеры Гарвардской архитектуры, производимые компанией Microchip Technology Inc.

В номенклатуре Microchip Technology Inc. представлен широкий спектр 8-и, 16-и и 32-битных микроконтроллеров и цифровых сигнальных контроллеров под маркой PIC. Отличительной особенностью PIC-контроллеров является хорошая преемственность различных семейств. Это и программная совместимость, и совместимость по выводам, по периферии, по напряжениям питания, по средствам разработки, по библиотекам и стекам наиболее популярных коммуникационных протоколов.

8-битные микроконтроллеры PIC10/12/16 представлены двумя базовыми архитектурами ядра: BASELINE и MID-RANGE.

Базовая архитектура (BASELINE) состоит из контроллеров семейства PIC10 и части контроллеров семейств PIC12 и PIC16. Основываются они на 12-и разрядной архитектуре слова программ. Упрощенная архитектура базового семейства предоставляет наиболее дешевое решение. Широкий диапазон

напряжений питания. Основные характеристики микроконтроллеров PIC приведены на рисунке 1.11.

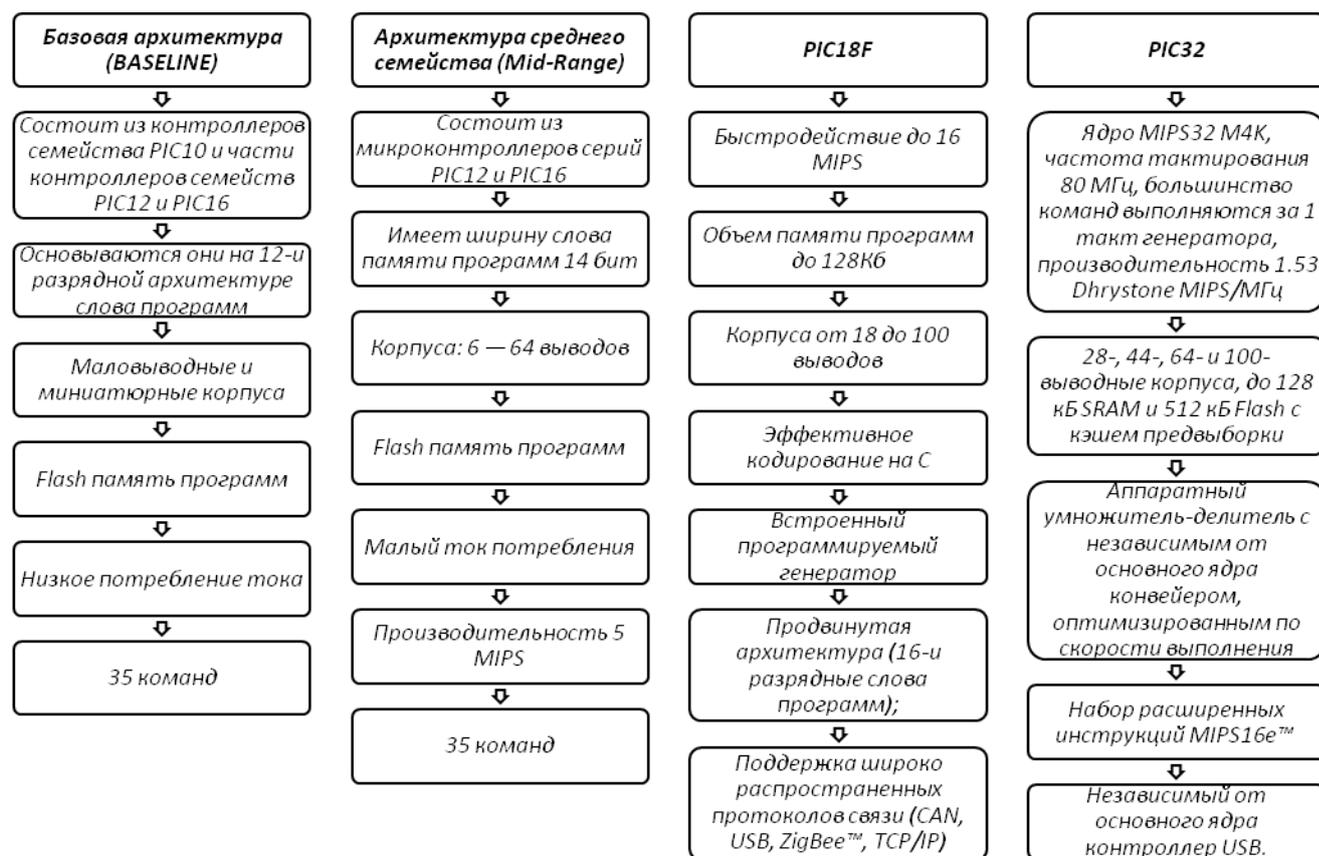


Рисунок 1.11 - Основные характеристики микроконтроллеров PIC.

1.3.2 Анализ дисплеев

Вакуумные люминесцентные индикаторы, одним из видов низковольтных индикаторных (рисунок 1.12). Эти элементы индикации, основанные на катодолюминесценции, имеют рабочее напряжение 25В, достаточно высокую яркость и приятный зеленый цвет свечения.

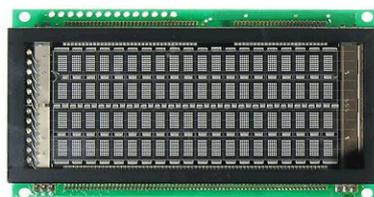


Рисунок 1.12 – Вакуумно-люминесцентный индикатор.

Это достаточно экономичные приборы при анодном и сеточном напряжении 20 В ток потребления составляет не более 15 мА. Высота знака в приборах составляет от 8,2 до 12–15 мм.

Жидкокристаллические индикаторы (LCD) (рисунок 1.13) применяются в различных системах отображения данных.

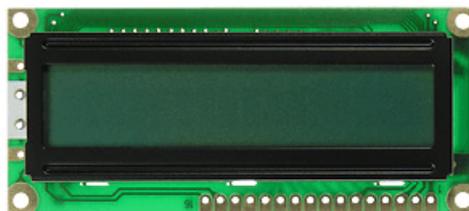


Рисунок 1.13 – Жидкокристаллический индикатор.

Жидкокристаллические индикаторы разделяются:

а) по возможности отображения – символьные (сегментные) или графические;

б) по управлению - ЖКИ со встроенным контроллером или ЖКИ с прямым или мультиплексным управлением;

в) по цвету – цветные или одноцветные (монохромные);

г) по режиму отображения – позитивные (черные символы на фоне) или негативные (символы на черном);

д) по освещенности – с подсветкой или без подсветки.

Также отличия есть по быстродействию, сроку службы, углу обзора, наличию встроенных шрифтов, технологии изготовления, диапазону рабочих температур и множеству других особенностей.

ЖКИ со встроенным контроллером имеют минимум выводов: шину данных (4,8,16 бит) по которой в контроллер загружаются коды символов, и выводы управления (чтение/запись, контрастность).

Отличие ЖКИ со встроенным контроллером от ЖКИ с прямым или мультиплексным управлением сегментами индикатора - это наличие встроенной в ЖКИ схемы управления индикацией и знакогенератора (русский и латинский шрифты).

В символьных индикаторах единицей индицируемой информации является знакоместо из $N \times M$ точек, в котором содержится индицируемый символ, основной характеристикой отображения таких индикаторов является величина видимой области (символов в строке \times количество строк).

В графических индикаторах единицей индицируемой информации является одна точка, основной характеристикой отображения таких индикаторов также является величина видимой области (X точек x Y точек).

По освещенности – индикаторы бывают:

- а) с подсветкой;
- б) без подсветки.

Контрастность отображения информации зависит от угла падения взгляда на ЖКИ индикатор и определяется конструктивом дисплея и может устанавливаться в процессе производства в любом направлении или ориентации.

TFT-дисплей – тип жидкокристаллического дисплея, в котором используется активная матрица, управляемая тонкоплёночными транзисторами, отсюда и аббревиатура TFT – от англ. thin film transistor, то есть тонкоплёночный транзистор (рисунок 1.14). По сравнению с обычной, пассивной жидкокристаллической матрицей, с помощью активной матрицы, управляемой тонкоплёночными транзисторами, удаётся значительно повысить быстродействие дисплея, а также повысить контрастность и чёткость изображения.



Рисунок 1.14 – TFT дисплей, внешний вид.

1.4 Формирование требований к микропроцессорной системе

Микропроцессорная система должна объединить в себе возможность измерять сигналы с тензодатчика и с индуктивного датчика расстояния. Ручной ввод параметров точек контроля (минимальный и максимальный предел измерений) на нагрузочной характеристике. LCD дисплей для вывода информации о процессе работы и контролируемых параметрах в точках измерения.

Разрабатываемая микропроцессорная система должна иметь возможность удаленного доступа в режиме реального времени. Объединение в сеть выполнить с применением CANopen интерфейса. Предусмотреть удобный интерфейс для связи с любым прибором в режиме удаленного доступа.

Контролировать целостность передаваемых данных, буферизируя в момент передачи. В случае разрыва соединения в период трансляции или отсутствии соединения данные сохранять в энергонезависимой памяти.

2 Расчетная часть. Проектирование микропроцессорной системы

2.1 Построение структурной схемы микропроцессорной системы

На рисунке 2.1 представлена функциональная схема разрабатываемой микропроцессорной системы контроля прецизионных пружин с интерфейсом CANopen.

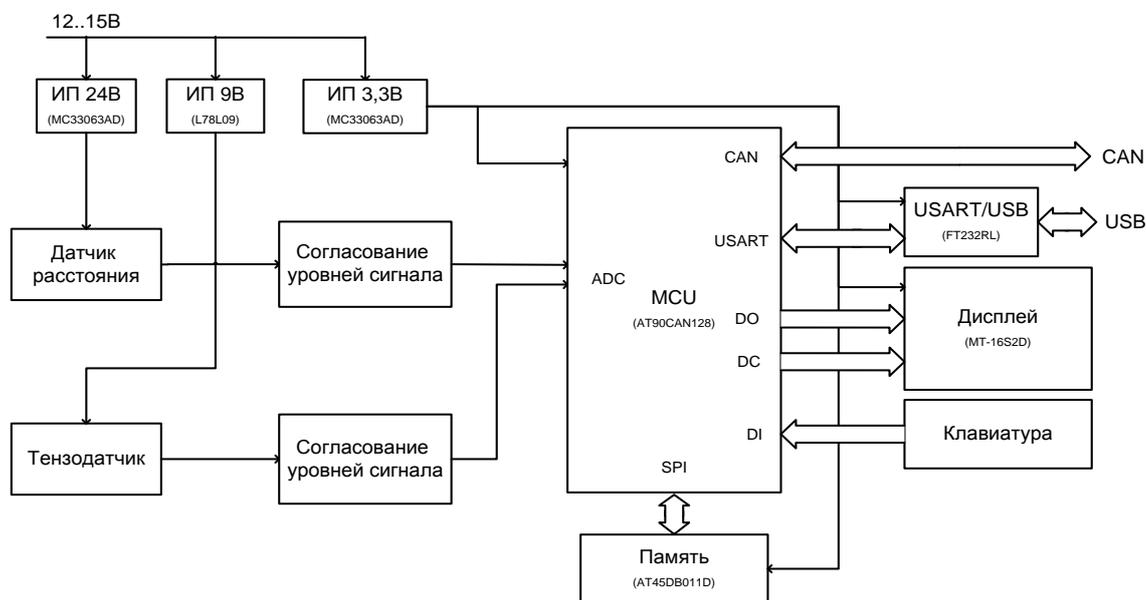


Рисунок 2.1 – Схема функциональная системы ИУПП.

Микроконтроллер (MCU) семейства AVR, выполняет вычислительные операции, управляет периферийными модулями. По аналоговой шине, входящей в состав MCU в АЦП поступают сигналы, с аналоговых приборов измерения. Сигнал преобразуется в 2^{10} двоичный код и сохраняется в памяти, ожидая дальнейшей обработки.

Подключать измерительные приборы непосредственно к микроконтроллеру не рекомендуется, поскольку каждый из них имеет различные характеристики выходного сигнала по напряжению форме и т.д. Для таких целей применяются различные схемы преобразователей. Согласование сигналом может выполняться как на резисторах, так и на более сложных вычислительных микросхемах.

Информация о процессе работы системы выводится на дисплей, в случае если работает в автономном режиме, т.е. когда прибор не подключен в сеть CANopen. Управляется дисплей по двум шинам DO – данные, DC – управление.

На дисплей планируется выводить только информацию о состоянии измерения в установленных контрольных точках.

Взаимодействие оператора с прибором, программирование параметров измерения, запуск цикла измерения и т.д. происходит через клавиатуру.

По требованию технического задания микропроцессорная система должна работать в сети CANopen. Через интерфейс CANopen данные на сервер (ПК) будут передаваться в режиме реального времени. Данный тип интерфейса позволит передавать данные на скорости до 8бит/с, исходя из этого факта потребуется выбрать микроконтроллер со встроенным CAN интерфейсом.

В состав микропроцессорной системы предусмотрен USB интерфейс. Он необходим если отсутствует сеть CAN. Для реализации интерфейса применяется отдельный модуль преобразования USART→USB.

Самым основным остается питание всех узлов электроники. Применяется три источника стабилизированного напряжения: питание прибора силы сжатия; прибора измерения расстояния; питание микроконтроллера дисплея и модуля интерфейса USB.

2.2 Выбор (разработка) аппаратного и программного обеспечения

2.2.1 Выбор компонентов микропроцессорной системы

2.2.1.1 Выбор управляющего микроконтроллера

При выборе контроллера руководствуемся следующими требованиями:

- а) USART для связи с компьютером;
- б) не менее 2-х линий 10-и разрядного АЦП;
- в) CAN интерфейс;
- г) не менее 40 линий ввода/вывода (для подключения дисплея клавиатуры, драйвера выходных сигналов);
- д) наличие встроенной энергонезависимой памяти;
- е) более 16кБ памяти EEPROM.

Наиболее подходящий микроконтроллер AT90CAN128 фирмы Atmel. Структурная схема микроконтроллера AT90CAN128 представлена на рисунке 2.2.

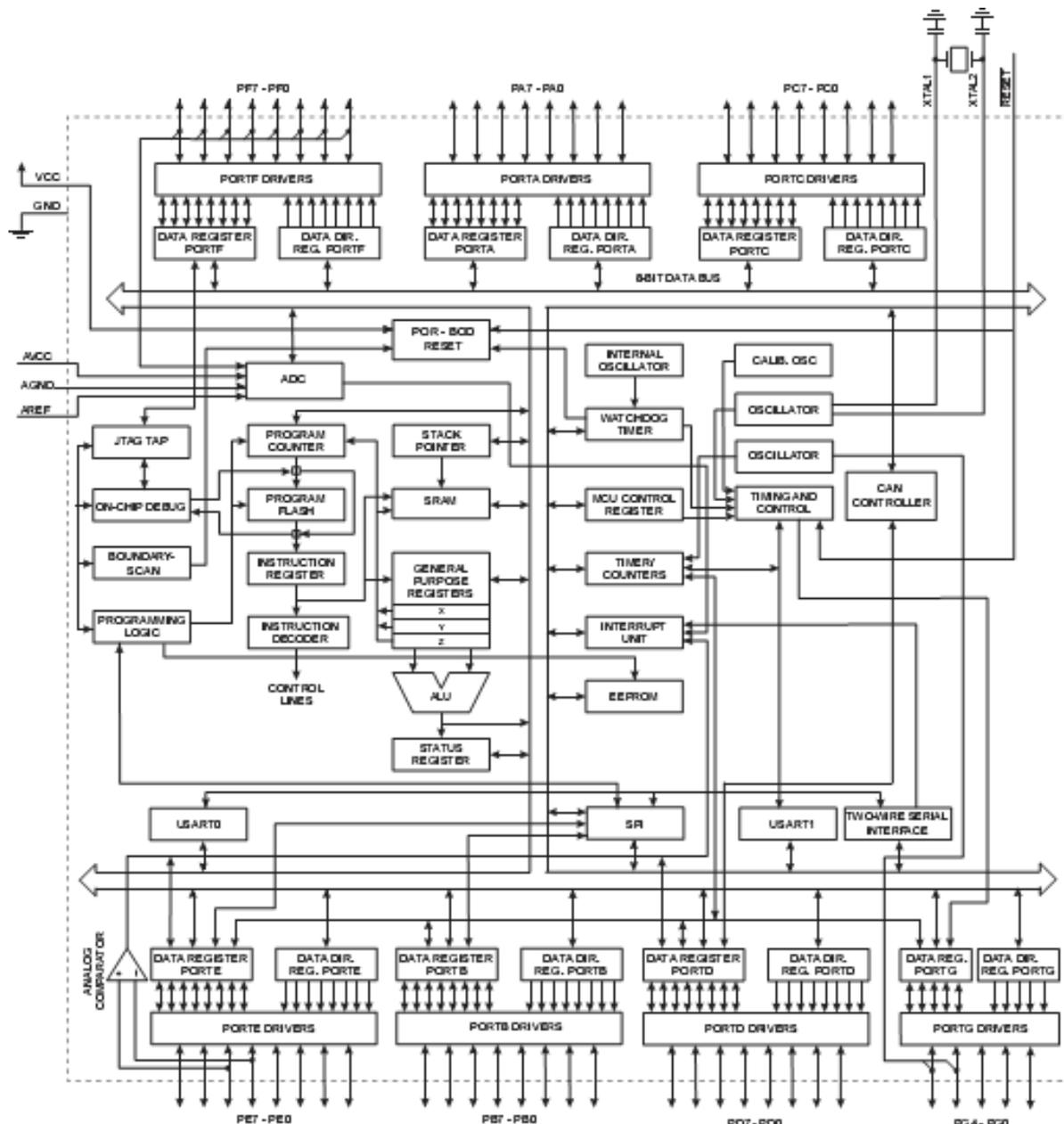


Рисунок 2.2 – Архитектура микроконтроллера AT90CAN128.

Отличительные особенности контроллера AT90CAN128:

- а) выполнение команды за 1 такт;
- б) 128Кбайт flash памяти для программы;
- в) 4Кбайт энергонезависимой памяти;
- г) 4Кбайт памяти ОЗУ;
- д) 53 программируемы линии ввода/вывода;
- е) встроенный RC генератор на 4МГц и 8МГц;
- ж) максимальная частота 16МГц от внешнего кварцевого генератора;
- з) 2 UART приемо-передатчика;

и) наличие BOOT сектора (позволяет программировать через UART интерфейс);

к) несколько режимом защиты памяти.

Графическое изображение и назначение выводов микроконтроллера AT90CAN128 представлено на рисунке 2.3.

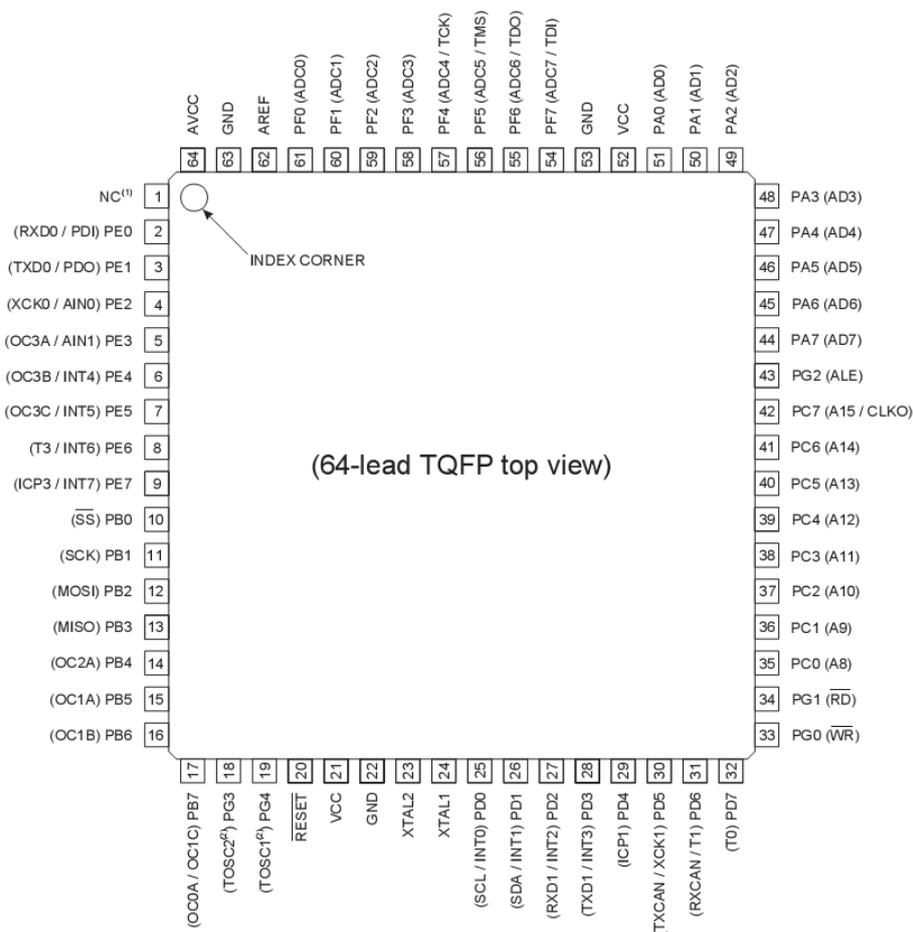


Рисунок 2.3 – Графическое изображение микроконтроллера AT90CAN128.

Назначение выводов AT90CAN128 представлено в приложении А.

2.2.1.2 Обоснование выбора контроллера USB

Микросхема FT232R предназначена для связи с компьютером по USB интерфейсу.

Особенности FT232R:

а) однокристалльный USB интерфейс с асинхронно-последовательной передачей данных;

б) весь протокол USB обработан на чипе. Дополнительное программирование программируемого оборудования не требуется;

- в) интегрированное хранение EEPROM на 1024 бита описатели устройства и конфигурация ввода / вывода CBUS;
 - г) интегрированные резисторы завершения USB;
 - д) передача данных от 300 бод до 3 Мбод (RS422, RS485, RS232) на уровнях TTL;
 - е) 256 байтов входной буфер, и 128 байтов выходной;
 - ж) виртуальный COM-порт;
 - з) возможность конфигурации выводов ввода / вывода.
- Функциональная схема FR232R показана на рисунке 2.4.

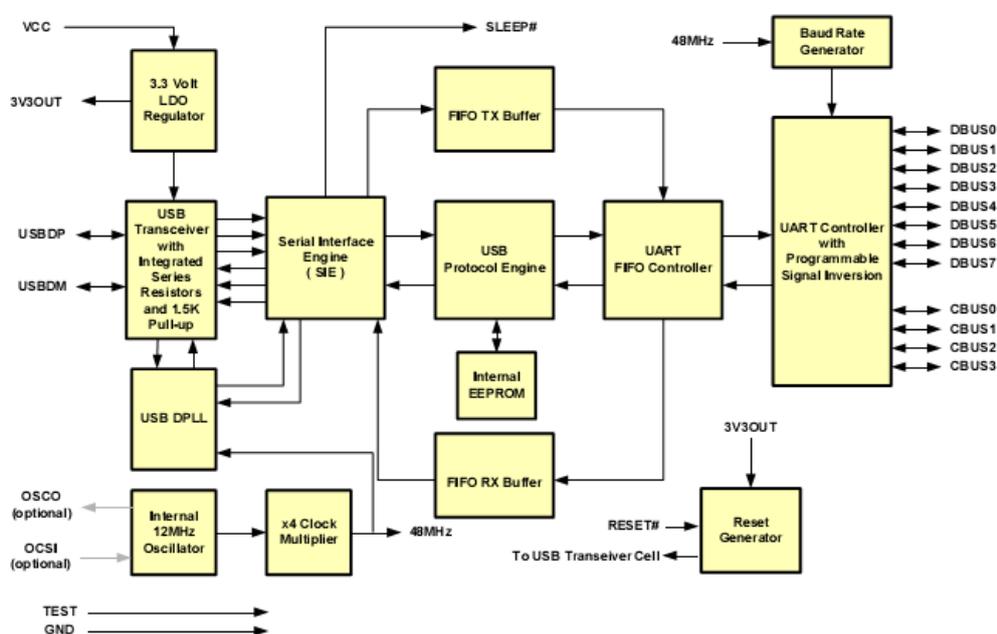


Рисунок 2.4 – Функциональная схема микроконтроллера FT232R.

Конфигурация выводов микросхемы FT232R показана на рисунке 2.5.

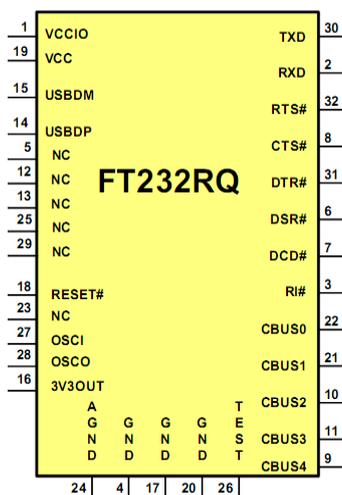


Рисунок 2.5 – Конфигурация выводов FT232R.

Назначение выводов FT232R представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Назначение выводов FT232R

Номер вывода	Обозначение вывода	Назначение вывода
14	USBDP	Плюсовой вывод шины USB
15	USBDM	Минусовой вывод шины USB
1	VCCIO	-
4, 7, 20	GND	Общий вывод
16	3V3OUT	Выход стабилизированного напряжения 3,3В
19	VCC	Питание 3,3В-5,25В
24	AGND	Общий вывод аналоговой схемы
5, 12, 13, 23, 25, 29	NC	Не используется
18	\overline{RESET}	Сброс активный ноль.
26	TEST	Переводит ИС в тестовый режим
27	OSCI	Вход 12МГц генератора
28	OSCO	Выход 12МГц генератора
30	TXD	Передача асинхронных данных
31	\overline{DTR}	Контроль приема данных
32	\overline{RTS}	Контроль передачи данных
2	RXD	Прием асинхронных данных
3	\overline{RI}	Кольцевой вход контроля
6	\overline{DSR}	Контроль готовности данных
7	\overline{DCD}	Контроль наличия данных
8	\overline{CTS}	Сброс контроля к принятию данных
9	CBUS4	Конфигурационный вывод
10	CBUS2	Конфигурационный вывод
11	CBUS3	Конфигурационный вывод
21	CBUS1	Конфигурационный вывод
22	CBUS0	Конфигурационный вывод

Типовая схема включения микросхемы FT232R показана на рисунке 2.6.

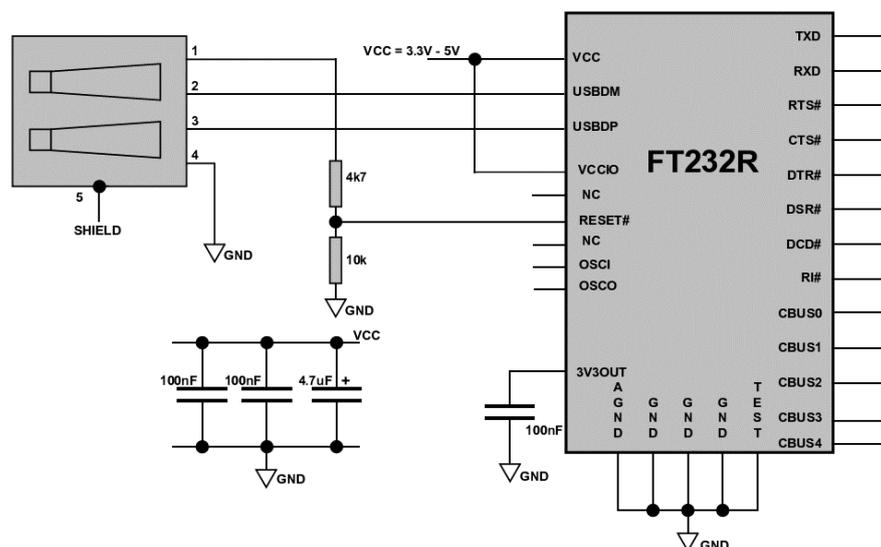


Рисунок 2.6 – Типовая схема включения микросхемы FT232R.

2.2.1.3 Обоснование выбора микросхемы Flash – памяти

Для сохранения параметров при отсутствии связи с внешним ПК применяется flash память AT45DB011D фирмы Atmel, основные характеристики представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики AT45DB011D

Параметр	Значение
Корпус	8-SOIC
Рабочая температура	-40°C ~ 85°C
Напряжение питания	2.7 V ~ 3.6 V
Интерфейс подключения	SPI, RapidS
Скорость	66MHz
Объем памяти	1M (512 pages x 264 bytes)
Тип памяти	DataFLASH
Формат памяти	FLASH

2.2.1.4 Обоснование выбора LCD дисплея

Жидкокристаллический индикатор МТ–16S2D состоит из БИС контроллера управления и ЖК панели. Контроллер управления КБ1013ВГ, производства ОАО «АНГСТРЕМ», аналогичен HD44780 фирмы HITACHI. Индикатор выпускается со светодиодной подсветкой. Внешний вид приведен на рисунке 2.7. Индикатор позволяет отображать 2 строки по 16 символов. Символы отображаются в матрице 5x8 точек. Каждому отображаемому на индикаторе символу соответствует его код в ячейке ОЗУ. Индикатор содержит два вида памяти – кодов отображаемых символов и пользовательского знакогенератора, а также логику для управления ЖК панелью. Характеристики индикатора представлены в таблице 2.3, назначение выводов в таблице 2.4.

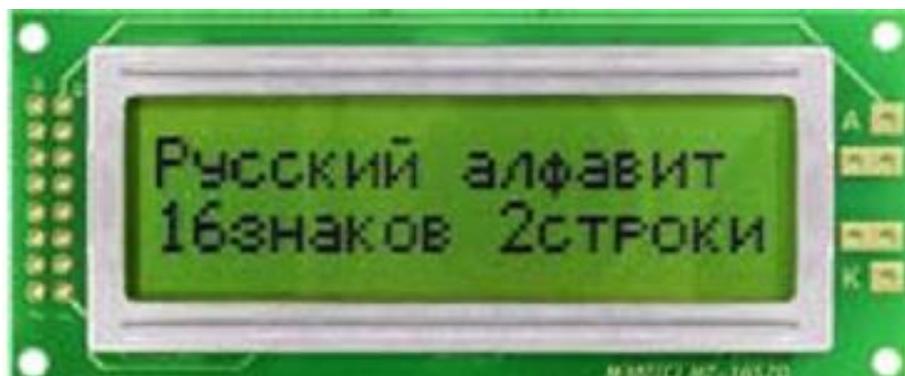


Рисунок 2.7 – Внешний вид индикатора МТ–16S2D.

Таблица 2.3 - Характеристики индикатора по постоянному току

Название		Обозначение	U _{CC} =5В			Единица измерения
			Мин.	Ном.	Макс.	
Напряжение питания		U _{CC}	4,5	5,0	5,5	В
Ток потребления		I _{CC}	-	0,8	1,0	мА
Входное напряжение высокого уровня I _{IH} =0,1мА		U _{IH}	2,2	-	U _{CC}	В
Входное напряжение низкого уровня I _{IH} =0,1мА		U _{IL}	-0,3	-	0,6	В
Выходное напряжение высокого уровня I _{OIH} =0,2мА		U _{OIH}	2,4	-	-	В
Выходное напряжение низкого уровня I _{IH} =0,1мА		U _{OIL}	-	-	0,4	В
Ток подсветки при напряжении питания подсветки = U _{CC}	для янтарной и желто-зеленой	I _{LED}	-	100	-	мА
	Для голубой и белой	I _{LED}	-	100	-	мА

Таблица 2.4 - Назначение выводов МТ–16S2D

Вывод	Обозначение	Назначение вывода
1	GND	Общий вывод
2	U _{CC}	Напряжение питания
3	U _o	Управление контрастностью
4	A0	Адресный сигнал – выбор между передачей данных и команд управления
5	R/W	Выбор режима записи или чтения
6	E	Разрешение обращений к индикатору
7	DB0	Шина данных 0 бит
8	DB1	Шина данных 1 бит
9	DB2	Шина данных 2 бит
10	DB3	Шина данных 3 бит
11	DB4	Шина данных 4 бит
12	DB5	Шина данных 5 бит
13	DB6	Шина данных 6 бит
14	DB7	Шина данных 7 бит
15	+LED	+ подсветки питания
16	-LED	- подсветки питания

Основные функции жидкокристаллического индикатора МТ–16S2D приведены на рисунке 2.8.

2.2.1.5 Прецизионный усилитель

Для усиления сигнала с датчика силы применяется усилитель AD820A фирмы Analog Devices, со следующими основными техническими характеристиками (таблица 2.5), типовая схема включения на рисунке 2.9.

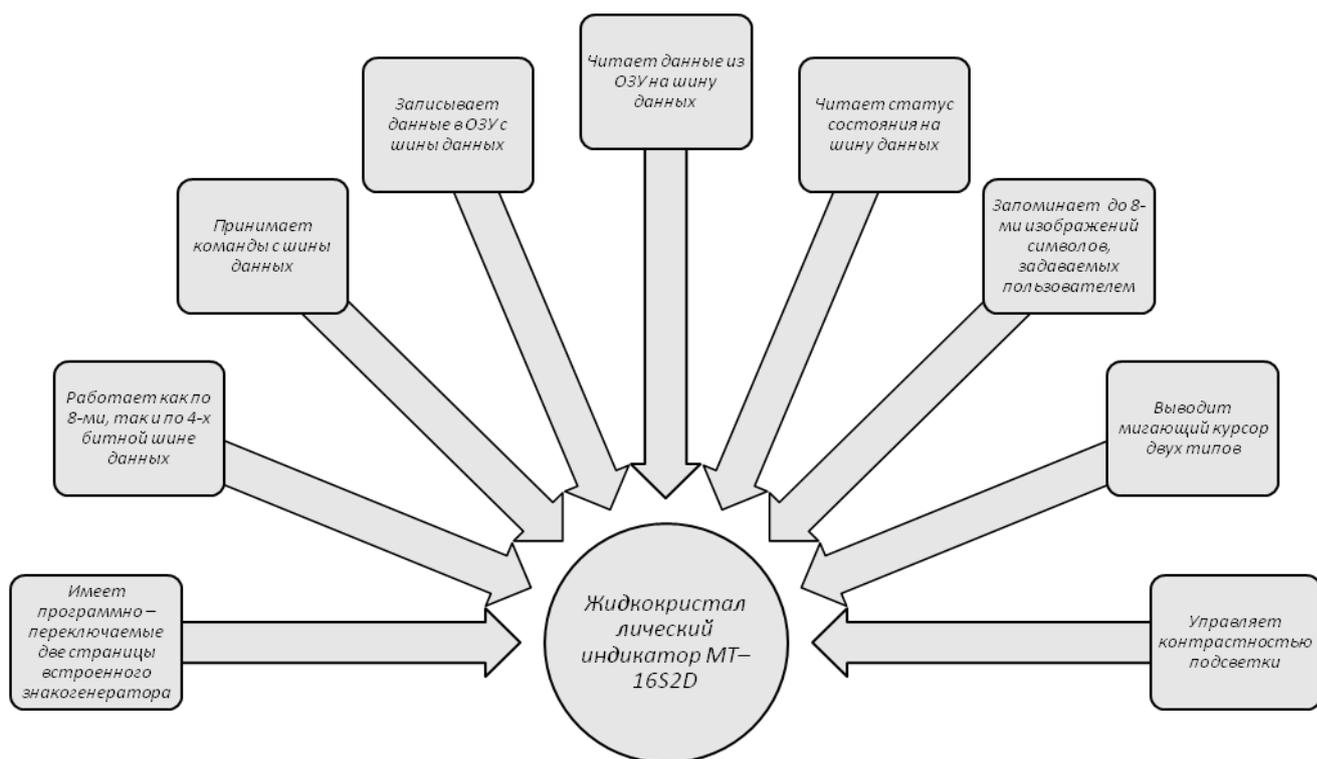


Рисунок 2.8 - Основные функции жидкокристаллического индикатора МТ-16S2D.

Таблица 2.5 - Технические характеристики усилителя AD820A

Характеристика	Значение
Напряжение смещения, $U_{см.}$, мкВ	100
Температурный дрейф, $\Delta U_{см.}/\Delta T$, мкВ/ $^{\circ}C$	2
Входной ток $I_{вх.}$, нА	0,5
Коэффициент усиления, K_u	1000
Граничная частота, BW, МГц	1,8
Скорость нарастания выходного напряжения, SR, В/мкс	3
Диапазон питающего напряжения, $U_{пит.}$	$\pm 2,5V - \pm 18V$
Диапазон рабочих температур $T_{раб.}$	$-40^{\circ}C - +85^{\circ}C$
Размах напряжения в диапазоне $U_{пит.}$, R/R	210
Количество усилителей в корпусе, N	1

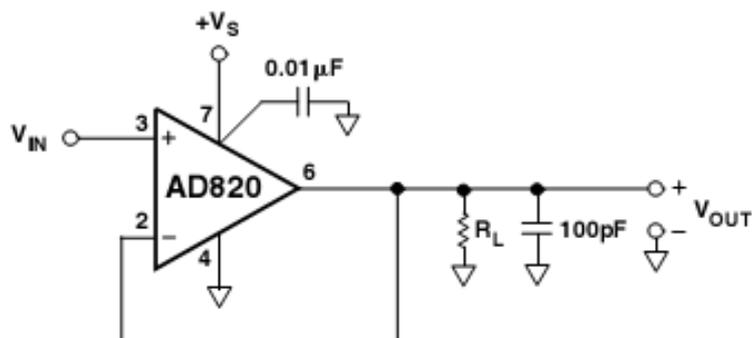


Рисунок 2.9 – Типовая схема включения усилителя AD820A.

2.2.1.6 Характеристики измерительного датчика силы

Для измерения силы сжатия применяется датчик силы сжатия с техническими характеристиками, представленными таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Технические характеристики измерительного датчика силы сжатия

Характеристика	Значение
Номинальный диапазон	100кгс
Номинальный выходной сигнал	1,5 мВ/В ± 0,4 %
Нелинейность (от н.с.)	1 %
Повторяемость (от н.с.)	0,5 %
Температурный коэффициент для выходного сигнала (от н.д./10°C)	0,05 %
Температурный дрейф баланса нуля (от н.с./10°C)	0,1 %
Баланс нуля (от н.с.)	0,5 %
Компенсированный температурный диапазон	-10 ...+60°C
Рабочий температурный диапазон	-20 ... +80°C
Входное сопротивление	700 ± 10 Ом
Выходное сопротивление	700 ± 2 Ом
Сопротивление изоляции	2000 Мом
Допустимая перегрузка (от н.д.)	150%
Рекомендованное питание	10 В DC
Защита	IP67

2.2.1.7 Характеристики измерительного датчика расстояния

Для измерения расстояния применяется датчик расстояния, имеющий линейный выход напряжения, значение изменяется пропорционально расстоянию до объекта от поверхности демпфирования. Кривая является линейной на всем рабочем диапазоне. Технические характеристики измерительного датчика расстояния представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Технические характеристики измерительного датчика расстояния

Характеристика	Значение
Выходной сигнал	Напряжение 0-10В
Линейный диапазон	1-5мм
Номинальное напряжение питания U_e	24В DC
Сопротивление нагрузки R_L	≥2kОм
Ток холостого хода I_0 при U_e	≤10mA
Стойкость к смене полярности	есть
Стойкость к короткому замыканию	есть
Диапазон окружающей температуры	+20 - +50°C
Максимальная нелинейность при Si	±3%
Точность повторения	≤3%

2.2.1.8 Стабилизатор напряжения

Для питания электроники требуется три стабилизированных источника питания:

- а) 24В для питания датчика расстояния;
- б) 9В для питания тензодатчика;
- в) 3,3В для питания микроконтроллера, памяти, дисплея и т.д.

Для питания тензодатчика применяется микросхема L78L09, типовая схема включения показана на рисунке 2.10, технические характеристики в таблице 2.8.

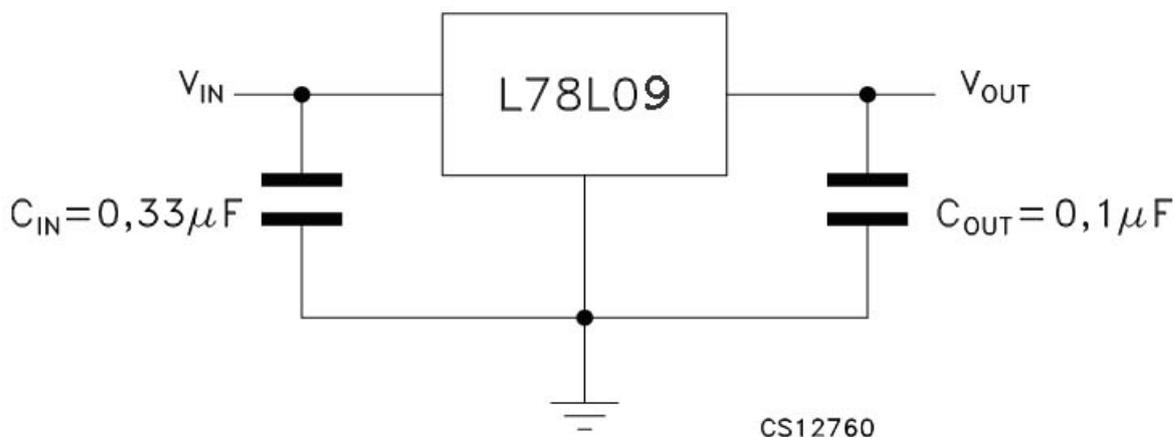


Рисунок 2.10 – Схема включения микросхемы L78L09.

Таблица 2.8 – Технические характеристики микросхемы L78L09

Характеристика	Значение
Максимальное входное напряжение	30В
Выходной ток	100мА
Выходное напряжение	9В

Питание датчика расстояния и прочей электроники применяется микросхема МС33063(аналог МС34063). Микросхема представляет собой ШИМ - контроллер на базе, которой выполняются импульсные преобразователи. Для получения напряжения 24В микросхему включают по схеме повышающего преобразователя, типовая схема включения представлена на рисунке 2.11. Для получения напряжения 3,3В микросхему включают по схеме понижающего преобразователя (рисунок 2.12). Основные технические характеристики представлены в таблице 2.9, назначение выводов в таблице 2.10.

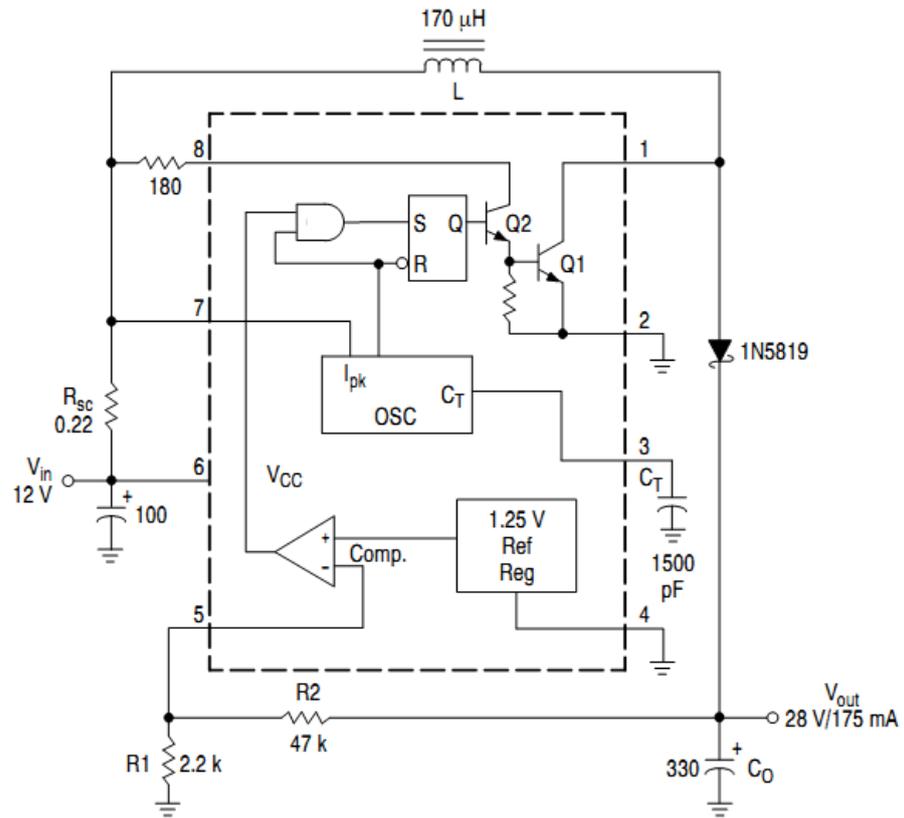


Рисунок 2.11 – Включение микросхемы MC33063 по схеме повышающего преобразователя.

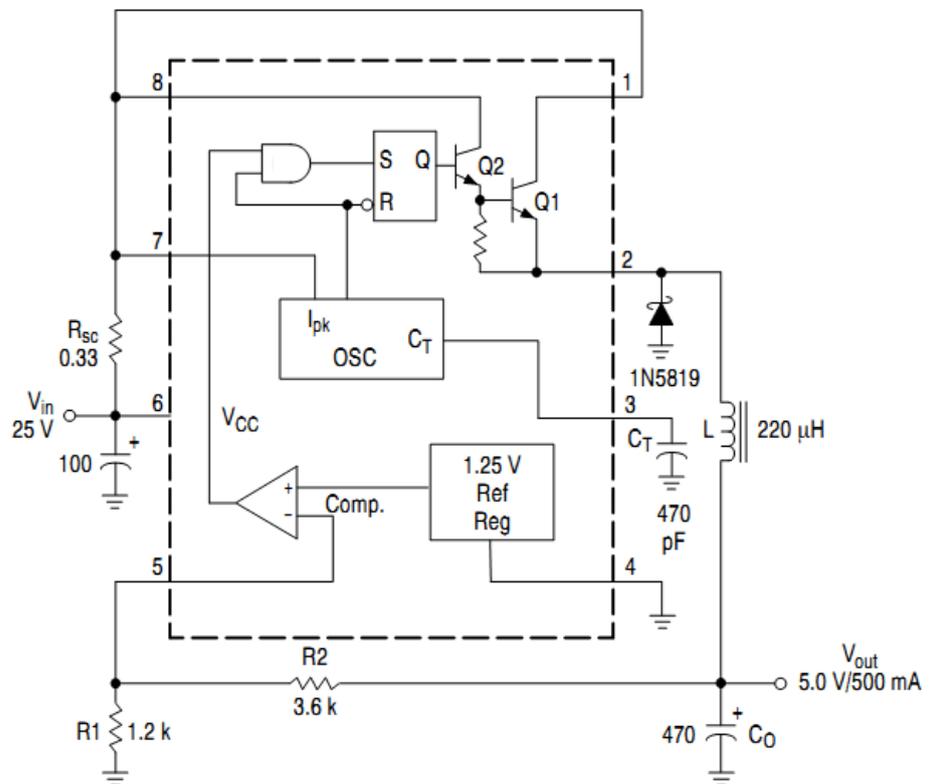


Рисунок 2.12 – Включение микросхемы MC33063 по схеме понижающего преобразователя.

Таблица 2.9 - Основные технические характеристики MC33063

Характеристика	Значение
Максимальное входное напряжение	40В
Максимальное коммутируемое напряжение	40В
Максимальный коммутируемый ток	1,5А
Частота генератора	33кГц
Напряжение ошибки	1,25В

Таблица 2.10 - Назначение выводов MC33063

№ выв.	Назначение
1	Коллектор выходного ключа
2	Эмиттер выходного ключа
3	Вывод для задания частоты генератора
4	Земля
5	Вход напряжения ошибки
6	Питание
7	Ограничение тока
8	Коллектор управляющего ключа

2.2.2 Выбор отладочного средства

Разработка программы микроконтроллера с применением готовых отладочных средств облегчает работу программиста и конструктора по разработке готового изделия. Компания Atmel для своих микроконтроллеров выпускает специализированные отладочные платы. В нашей разработке применим отладочный набор STK600 (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Отладочная плата STK600.

ATSTK600 представляет собой завершённый стартовый набор и систему для проектирования на основе любых флэш - микроконтроллеров из семейств AVR и AVR32. С его помощью можно оперативно приступить к разработке

программного кода и использовать широкие возможности стартового набора по макетированию и проверке новых решений.

Для подключения к ПК с установленным на нем программным пакетом AVR Studio у STK600 предусмотрен порт USB. При обычном использовании набор питается через порт USB. Если же отлаживаемая на STK600 схема потребляет более 300 мА, то может использоваться возможность работы с внешним источником питания. В этом случае потребляемый ток схемы с целевым микроконтроллером может быть более 300 мА и достигать 1А. Для поддержки всего диапазона микроконтроллеров на плате предусмотрен стабилизатор напряжения VTG, который может регулироваться в пределах 0.9...5.5 В с шагом 0.1 В.

Для задания опорного уровня в аналоговом тракте целевого AVR-микроконтроллера на плате STK600 предусмотрено два аналоговых ИОН. Оба ИОН (AREF0 и AREF1) поддерживают возможность регулировки в пределах от 0 до 5.5 В с шагом 10 мВ.

STK600 поддерживает программирование всех микроконтроллеров AVR и AVR32 со встроенной флэш-памятью. Для этого предусмотрено в общей сложности пять различных интерфейсов программирования: ISP, JTAG, PDI, последовательное программирование при повышенном напряжении и параллельное программирование при повышенном напряжении. Интерфейсы JTAG, ISP и PDI оснащены защитами от короткого замыкания, что позволяет их использовать за пределами платы STK600. Два интерфейса программирования при повышенном напряжении рассчитаны на использование только в пределах платы STK600. С помощью интерфейсов программирования можно получить полный доступ к флэш-памяти, ЭСПЗУ, конфигурационным битам и битам защиты.

С помощью программируемого тактового генератора можно выбирать тактовые частоты микроконтроллера в пределах от 1.1 кГц до 32 МГц (отклонение 0.5%). Установленный на плате кварцевый генератор способен работать совместно, как с керамическими резонаторами, так и с кварцевыми

резонаторами, частота которых лежит в пределах 4...24 МГц. Для реализации функций часов реального времени, широко используемых в потребительских применениях, доступен генератор частотой 32768 Гц.

Поскольку AVR-микроконтроллерами поддерживается множество коммуникационных интерфейсов, на плате STK600 предусмотрены порты RS232, CAN, LIN и USB, легко подключающиеся в целевому AVR-микроконтроллеру. Кроме того, предусмотрена ИС флэш-памяти DataFlash емкостью 4 Мбит для энергонезависимого хранения данных, а также ИС флэш-памяти высокой емкости с последовательным интерфейсом SPI.

Все линии ввода-вывода целевого AVR-микроконтроллера выведены на разъемы платы STK600. Для облегчения макетирования и отладки предусмотрена возможность подключения к линиям ввода-вывода восьми светодиодов и кнопок.

Для совместимости со всеми микроконтроллерами AVR и AVR32 со встроенной флэш-памятью набор разделен на три конструктивных единицы:

а) базовая плата, которая является общей при использовании любого микроконтроллера;

б) плата-панель, на которой установлена панель для подключения микроконтроллера в соответствующем;

в) плата-адаптер, которая служит связующим звеном предыдущих двух плат и выполняет требуемое электрическое подключение панели с учетом расположения выводов, устанавливаемого в нее микроконтроллера.

Преимущества STK600 можно представить следующим списком:

а) поддерживается USB – подключение к AVR Studio;

б) поддерживаются все флэш-микроконтроллеры с числом выводов от 8 до 144;

в) расширено количество интерфейсов программирования;

г) снижен разброс у стабилизатора напряжения;

д) снижен разброс у источника опорного напряжения (теперь предусмотрено два ИОН);

е) улучшена точность системы синхронизации;
ж) расширено количество разъемов подключения к портам ввода-вывода;
з) увеличено количество установленных на плате периферийных устройств;

и) новая система подключения целевого микроконтроллера;
к) защита от короткого замыкания на портах ISP, PDI и JTAG.

2.2.3 Оценка технических характеристик

Проведя поиск готовых решений аналогичного разрабатываемого прибора, ничего не было найдено, но были найдены возможные варианты.

Первый вариант, готовая установка, в состав которой входит микропроцессорный модуль измерения прецизионных пружин, на рисунке 2.14 расположен с правой стороны установки.



Рисунок 2.14 – Установка измерения прецизионных пружин.

Вариант второй, применить модуль АЦП для измерения расстояния и модуль измерения силы сжатия, объединить все в сеть CAN и через модуль CAN/USB передавать данные на сервер (ПК), пример такого исполнения представлен на рисунке 2.15.

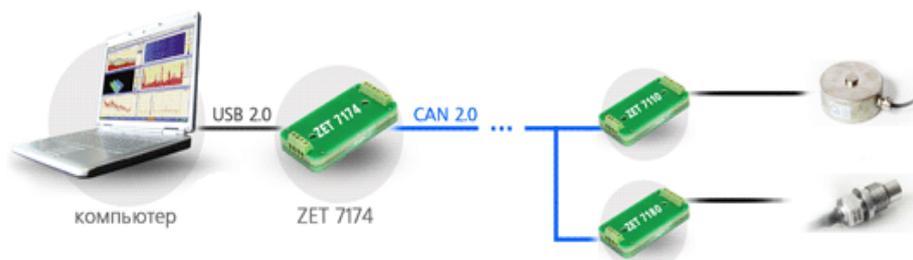


Рисунок 2.15 – Контроль параметров измерительных приборов с применением готовых модулей.

Сравнив предложенные варианты можно выделить некоторые преимущества нашей разрабатываемой микропроцессорной системе контроля прецизионных пружин с передачей по CAN интерфейсу:

- а) компактность, вся электроника размещена в небольшом и удобном для работы корпусе;
- б) наличие двух интерфейсов CAN и USB;
- в) один источник питания для питания всех узлов электроники;
- г) сохраняет результаты испытаний на flash памяти при отсутствии соединения;
- д) возможность снимать всю нагрузочную характеристику, и в отдельных контрольных точках, результат выводить на дисплей.

2.3 Алгоритмы работы МПС

2.3.1 Алгоритм работы прибора ИУПП

На рисунке 2.16 представлен алгоритм работы системы ИУПП.

При подаче питания микроконтроллер переходит в режим инициализации данных. В этом режиме микроконтроллер настраивает периферийные модули, загружает необходимых данных из энергонезависимой памяти для дальнейшей работы. После того как все порты сконфигурированы настраивается LCD дисплей. Инициализация работы дисплея начинается с отправки специальной последовательности конфигурационных байтов, назначение байтов указано в спецификации на применяемый индикатор.

Загрузив необходимые данные и настроив всю имеющуюся периферию, микроконтроллер переходит в режим ожидания команды «Старт». Команда «Старт» поступает от нажатия на клавишу с пульта оператора. Запустив цикл измерения, поочередно проверяются входы АЦП, где оцифрованные данные с входов в случае установления связи передаются на внешний ПК, в ином случае сохраняются во flash памяти.

В каждом цикле сканирования измерений, полученные значения АЦП сравниваются с параметрами в контрольных точках измерения. Если результаты совпадают фиксируют результат на дисплее.

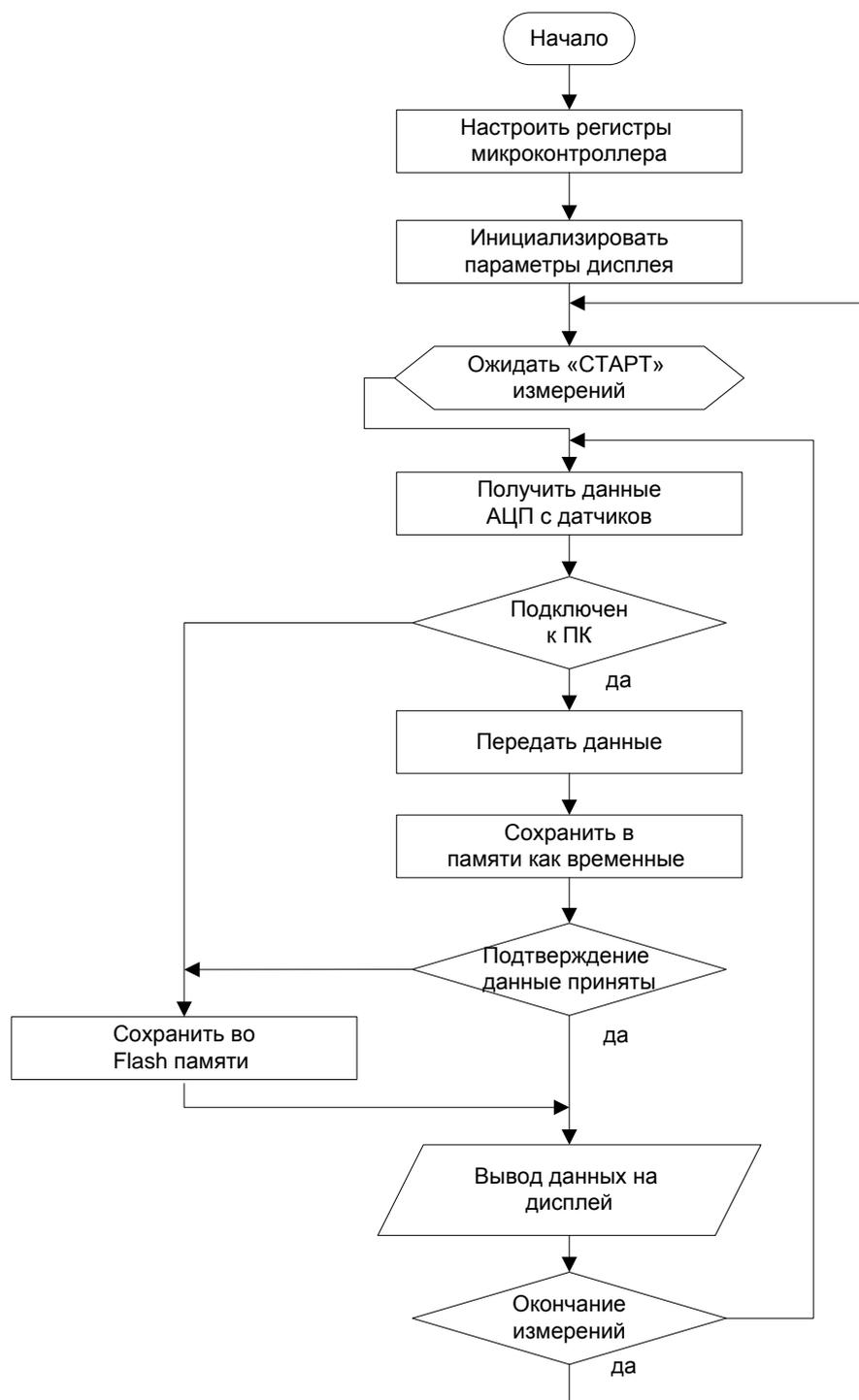


Рисунок 2.16 – Алгоритм работы системы ИУПП.

Цикл измерения заканчивается, когда значение АЦП с любого из входов будет $АЦП < \Delta_{end}$, где Δ_{end} – значение после которого нет необходимости производить измерение. Закончив цикл, проверяется целостность переданных

данных. В случае отсутствия ответа данные сохраняются во flash памяти. Отрицательный ответ подтверждения повторит передачу данных. Далее цикл повторяется заново.

2.3.2 Алгоритм вывода данных на дисплей

Алгоритм вывода данных на дисплей состоит из следующих процедур:

- а) инициализация дисплея;
- б) передача байта в порт ввода-вывода;
- в) прием байта из порта ввода вывода;
- г) поток вывода данных на дисплей;
- д) копирование данных в буфер дисплея;
- е) сброс буфера дисплея.

Из всех алгоритмов рассмотрим поток вывода данных на дисплей, рисунок 2.17. Процедура вызывается по системному таймеру с частотой 1кГц, вывод с такой частотой позволит вывести информацию «мгновенно». За каждое прерывание выводится один байт данных/команды. Между каждым передаваемым байтом по техническим данным на выбранный дисплей требуется пауза 50 мкс.

Если при каждом прерывании, когда требуется обновить данные на дисплее, выводить весь массив, то потратится много времени на ожидание паузы между посылками (например, $50\text{мкс} * 2 * 16 = 1,6\text{мс}$). Такая длительная задержка может повлиять на процесс измерения.

Передаваемые данные делятся на 2 типа: команда; код символа. Первым выводится команда, которая определяет позицию последующего выводимого символа, затем непосредственно символ. С каждым вызовом процедуры увеличивается индекс буфера дисплея. При разрешении вывода курсора цикл вывода будет продолжаться, до тех пор, пока разрешение не будет сброшено.

2.3.3 Схема взаимодействия ИУПП с ПК

Микропроцессорная система ИУПП способна работать в автономном режиме, т.е. без подключения к внешнему ПК. В таком режиме, данные выводятся на экран и сохраняются в памяти. Данные в память заносятся

циклически, при переполнении стираются первые и т.д. Одним из требований была возможность передачи полученных и сохраненных данных на ПК. Схема взаимодействия ПК с МПС ИУПП представлена на рисунке 2.18.

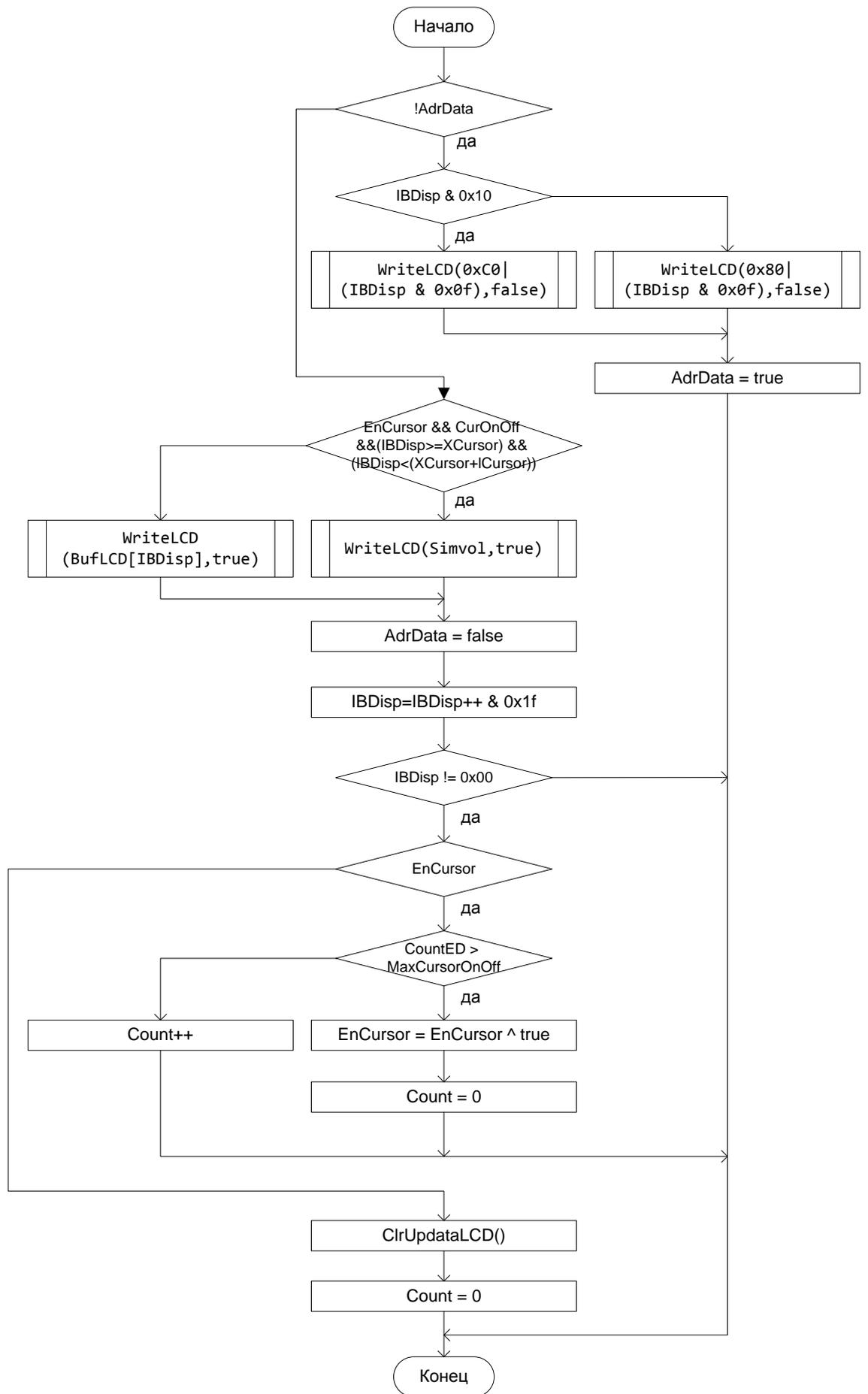


Рисунок 2.17 – Алгоритм вывода данных на дисплей.



Рисунок 2.18 – Схема взаимодействия ПК с МПС ИУПП.

Рассмотрим схему обмена данными. При подключении к ПК МПС ИУПП, программа (драйвер) инициирует соединение, отправив запрос на подключение. В ответ на запрос МПС ИУПП посылает подтверждение подключения. Если сразу после подключения ПК проверяет наличие данных во flash памяти МПС ИУПП, в ответ если данные существуют очищает память и переходит в рабочий режим, в случае отсутствия данных посылается ответ – «данные отсутствуют» также переходит в рабочий режим.

В рабочем режиме инициатором передачи данных в случае успешного установления связи является МПС ИУПП, отправляя на ПК массивы значений АЦП. Все измерения передаются без подтверждения целостности получения, за исключением последнего. Последний пакет передается с подтверждением целостности. При принятии последнего пакета, анализируются все полученные данные, и проверяется возможность восстановления в случае потери пакетов. Результатом ответа является «подтверждение целостности» - данные не повреждены, или «повторить передачу» - данные утеряны.

В период между передачами с интервалом в 1 сек отправляется пакет, проверяющий наличие подключенного устройства «Эхо». Получив пакет, конечное устройство переадресовывает его обратно в ПК, т.о. осуществляется контроль подключения. Если пакеты перестали приходить о ПК более 5сек, МПС ИУПП разрывает соединение до следующего сеанса связи.

Окончание сеанса связи инициируется программой (драйвером), с ПК отправляется пакет на окончание сеанса связи и подтверждается конечным устройством. После выполнения данной команды конечное устройство и ПК отбрасывает все принятые пакеты.

2.3.4 Протокол обмена данными

Данные между ПК и прибором ИУПП передаются по интерфейсу USB2.0. USB интерфейс полностью контролирует качество передаваемых данных. Исходя из этого настройки USART будут следующими: скорость передачи 115,2кбит/с; 1бит стартовый; 8 бит данных; без контроля четности; 1бит стоповый.

Все передаваемые данные упаковываются в пакет, формат пакета имеет следующий вид (рисунок 2.19) при передаче данных от прибора ИУПП к ПК, и рисунке 2.20 при передаче данных от ПК к прибору ИУПП.

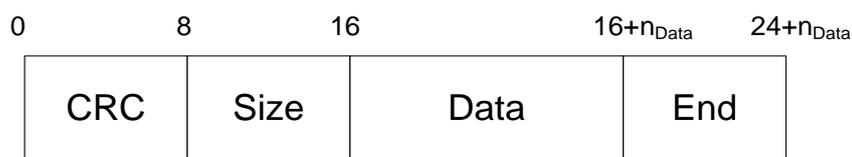


Рисунок 2.19 – Формат пакета передачи от прибора ИУПП к ПК.



Рисунок 2.20 – Формат пакета передачи от ПК к прибору ИУШ.

Описание структуры пакета.

«Start» – стартовая последовательность размером в байт с кодом 0AAh. Приняв такой байт, конечное устройство воспринимает её как заголовок пакета и ждет приема последующих байт данных.

«CRC» – контрольная сумма пакета. Вычисляется для всех байт пакета, кроме «Start», «CRC», «End»! Контрольная сумма вычисляется как арифметическая сумма по модулю 256.

«Size» – количество байт данных в пакете – используется для формирования пакетов произвольной длины, с целью сокращения объема пересылаемых данных и защиты сети от перегрузки. Длина может принимать значение от 0 до 255. Если значение равно 0, то это означает, что передаваемый пакет пустой и его надо проигнорировать.

«Data» - массив передаваемых данных от 1byte до 255byte. Идентификация принадлежности пакета производится по первому байту в массиве данных, формат показан на рисунке 2.21.

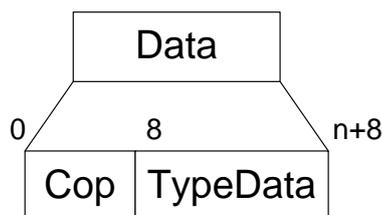


Рисунок 2.21 – Структура массива данных.

«End» - служит сигналом к окончанию передаваемого пакета данных от конечного устройства к ПК.

Cop – данное поле может принимать два значения:

а) идентификатор данных, в таком случае всегда присутствует поле TypeData;

б) код команды, в зависимости от команды управления поле TypeData может отсутствовать.

Список команд и идентификаторов данных представлен в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Список команд идентификаторов данных

Код	Название команды	Описание команды
01h	CodeDetail	Передать код детали
02h	ADCControl	Передать данные АЦП с подтверждением доставки
03h	ADCNoControl	Передать данные АЦП без подтверждения доставки
04h	OkData	Подтверждение данные приняты
05h	Connect	Запрос на подключение
06h	OkConnect	Подтверждение подключения
07h	Disconnect	Запрос на отключение
08h	OkDisconnect	Подтверждение отключения
09h	DataFlash	Запрос на прием данных АЦП сохраненных во flash памяти
0Ah	NoDataFlash	Данных во flash памяти нет
0Bh	Eho	Проверить подключение «ЭХО»

При описании команд рассматривается формирование поля Data, т.к. остальные поля при разных запросах остаются в неизменном состоянии.

«Передать код детали», применяется для идентификации массива данных АЦП полученных при измерении. Вводится с клавиатуры прибора ИУШ. Направление передачи только в ПК.

Формат посылки:

ПК < | CodeDetail | DATA | - передается перед началом цикла измерения

DATA – размер 2 байта, передается число от 1 до $2^{16}-1$

«Передать данные АЦП с подтверждением доставки» - передается массив значений АЦП каждого канала, после каждой передачи пакета данных в ответ приходит подтверждение OkData. Направление передачи только в ПК.

Формат посылки:

ПК < | ADCControl | ADC0 | ADC1 |

ADC0 - значение АЦП 0-го канала (2 байта);

ADC1 - значение АЦП 1-го канала (2 байта).

«Передать данные АЦП без подтверждения доставки» - формат передачи аналогичен ADCControl, за исключением подтверждения после каждого переданного пакета.

«Подтверждение данные приняты» - отправляется ПК при успешно принятом пакете данных, применяется не со всеми командами.

Формат посылки:

ПК > | OkData |

«Запрос на подключение» - отправляется ПК в момент установления связи с прибором ИУПП.

Формат посылки:

ПК > | Connect |

«Подтверждение подключения» - в случае успешного подключения прибор ИУПП отправляет ответ, что соединение установлено.

Формат посылки:

ПК < | OkConnect |

«Запрос на отключение» - явное информирование ИУПП о прекращении сеанса связи.

Формат посылки:

ПК > | DeConnect |

«Подтверждение отключения» - подтверждение прибором ИУПП о прекращении сеанса связи. Дальнейшей передачи данных по каналам связи не будет, все полученных после данных начнут сохраняться во flash памяти.

Формат посылки:

ПК < | OkDeConnect |

«Запрос на прием данных АЦП сохраненных на flash памяти» - проверяет наличие данных во flash памяти. Если данные присутствуют, то формируется ответ CodeDetail и ADCControl ADCNoControl, иначе NoDataFlash.

«Данных во flash памяти нет» - отправляется ответ при отсутствии данных АЦП во flash памяти.

Формат посылки:

ПК < | NoDataFlash |

«Проверить подключение «ЭХО»» - проверяет подключение. Инициализация проверки подключения происходит от ПК с интервалом в 2сек.

Интервал времени опроса подключения увеличивается, если передается массив данных. При получении пакета прибор ИУПП пересылает обратно в ПК.

Формат посылки:

ПК > | Eho |

ПК < | Eho |

2.4 Методы обеспечения качества системы

«Микропроцессорная система контроля прецизионных пружин с интерфейсом CANopen» относится к не резервируемому оборудованию радиоаппаратуры. Поэтому вероятность безотказной работы изделия равна произведению вероятностей безотказной работы его элементов:

$$P_{\text{вс}} = P_1 P_2 P_3 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2.1)$$

Выполняя расчет для периода нормальной эксплуатации, считают интенсивность отказов радиоэлементов λ_{0i} величинами постоянными, а вероятность их безотказной работы, подчиняется экспоненциальному закону:

$$P_i = \exp(-\lambda_{0i} \cdot t). \quad (2.2)$$

Отсюда, наработка на отказ $T_0 = 1/\lambda_{\Sigma}$, а вероятность безотказной работы $P_{\text{вс}} = \exp(-t/T_0)$. Здесь $\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_{0i}$ - параметр, характеризующий интенсивность отказов изделия.

Смысл расчета надежности состоит в определении численности значений основных вышеуказанных показателей. На начальном этапе проектирования, после разработки принципиальных электрических схем СВТ с целью рационального выбора типов отдельных элементов и определения путей и мер по обеспечению требуемых показателей надежности, производится приближенные или ориентировочные расчеты.

В основу этих расчетов обычно кладутся следующие допущения:

- а) все элементы данного типа равнонадежны;
- б) все элементы работают в номинальных режимах с $K_n = 1$;
- в) интенсивность отказов элементов не зависят от наработки;

г) отказы различных элементов являются независимыми случайными событиями;

д) все элементы аппаратуры работают одновременно.

Величина интенсивности отказов СВТ λ_{Σ} определяется по формуле (2.3).

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_{oi} . \quad (2.3)$$

Проверяем ориентировочный расчет основных показателей надежности разработанного устройства. Схема микропроцессорной системы представлена в графическом материале. Полученные данные сведены в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Результаты ориентировочного расчета показателей надежности СВТ

Наименование и тип элемента	Обозначение по схеме	Кол-во элементов N_i , шт	Интенсивность отказов, $\lambda_{oi} \cdot 10^{-6}$	Интенсивность отказов группы $\lambda_{\Sigma} \cdot 10^{-6}$
Резисторы постоянные	R	33	0,5	16,5
Конденсаторы не полярные	C	12	0,4	4,8
Конденсаторы полярные	C	4	1,4	5,6
Микросхемы аналоговые	DA	5	0,3	1,5
Микросхемы цифровые	DD	2	0,1	0,2
Диоды	VD	6	0,8	4,8
Транзисторы биполярные	VT	7	1,2	8,4
Резонатор кварцевый	ZQ	1	1,1	1,1
Индикатор жидкокристаллический	HL	1	3,2	3,2
Катушка индуктивности	L	2	0,5	1
Кнопка миниатюрная	SB	8	1,4	11,2
Разъемы	X	6	1,0	6
Пайки печатного монтажа		260	0,01	2,6
Итого				66,9

Согласно приведенным выше формулам, наработка на отказ микропроцессорной системы составит:

$$T_0 = \frac{1}{66,9 \cdot 10^{-6}} = 14947 \approx 15 \text{ тыс. часов.}$$

Вероятность безотказной работы за 1000 часов составит:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{14947 - 1000}{14947} = 0,93 .$$

Полученное значение наработки на отказ с учетом (4 часа/день) времени работы обеспечит безотказную работу устройства в течении всего срока службы.

3 Конструкторская часть. Реализация микропроцессорной системы

3.1 Конструкторско-техническая документация

3.1.1 Описание процесса компоновки моделей МПС

3.1.1.1 Разработка принципиальной схемы в программе Schematic

На основе разработанной функциональной схемы и выбранной элементной базы разработана схема электрическая принципиальная, представленная на рисунке 3.1.

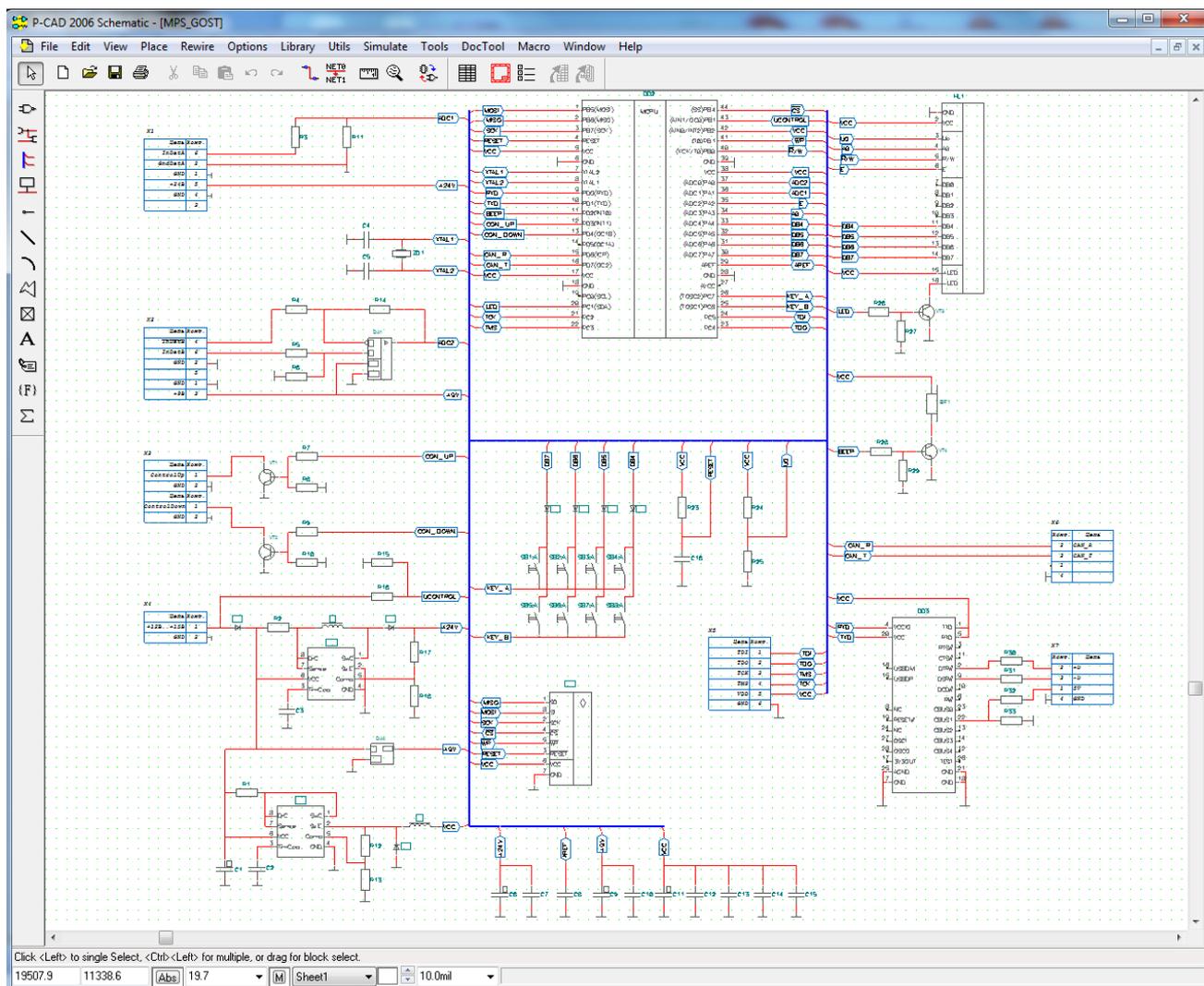


Рисунок 3.1 – Схема электрическая принципиальная в программе Shematic.

Напряжение питания электроники стабилизировано импульсным стабилизатором DA3. Поскольку при входном напряжении 12В-15В и токе около 200мА на линейном стабилизаторе выделяется большая мощность и его нагрев, тепло которого придется отводить через радиатор. КПД стабилизатора при работе в таких условиях резко падает. Для питания датчика расстояния требуется напряжение 24В, напряжение такой величины получили, применяя повышающей

преобразователь, построенный на микросхеме DA2. Питание тензодатчика выполнено на линейном стабилизаторе DA4, т.к. мощность выделяемая на микросхеме мала.

Контроль за правильность подключения питания осуществляется диодом VD1.

Согласно характеристикам датчика расстояния, входной сигнал имеет максимальный выходной сигнал 10В, для согласования с АЦП микроконтроллера применили делитель, выполненный на резисторах R3, R11.

По характеристикам для датчика силы, сигнал имеет низкую амплитуду выходного сигнала $1,5\text{мВ}/1\text{В}_{\text{пит}}$, т.о. перед подачей на вход АЦП, пропустили через схему дифференциального усилителя выполненного на микросхеме DA1 для усиления его до уровня 2,5В.

Из множества режимов работы FT232R применили только прием и передачу данных по линиям TXD и RXD, остальные выводы не задействованы.

В случае отсутствия соединения с ПК, полученные данные АЦП сохраняются во flash памяти DD1. Микросхема имеет последовательный интерфейс, что в значительной степени экономит вывода микроконтроллера. Во flash память также сохраняются полученные данные в случае потери питания независимо от состояния подключения. Сигнал о наличии питания подается на вход компаратора DD2 (AIN1) через делитель напряжения R15, R16. Делитель рассчитан т.о. что в исходном состоянии на входе AIN1 напряжение больше напряжения питания. В случае пропадания напряжения на входе AIN1 сбрасывается в «0».

Программирование микроконтроллера и его отладки на этапе проектирования задействован JTAG интерфейс, разъем X5.

Оповещение пользователя о различных системных событиях происходит через пьезокерамический излучатель BF1. Для упрощения задачи по выводу звуковых сигналов применили излучатель со встроенным генератором.

Клавиатура выполнена в виде матрицы, и делит общую 4-х разрядную шину данных с LCD индикатором. Диоды VD4 - VD7 предотвращают ошибки передачи данных LCD индикатору в момент нажатых клавиш.

Источником частоты работы микроконтроллера применили внешний кварцевый резонатор ZQ1 с частотой 14,7456 кГц. На такой частоте микроконтроллер способен передавать данные на любой скорости по USART с 0,0% ошибок.

Результат работы прибора отображаются на LCD индикаторе HL1. Индикатор выбран т.о. чтобы данные передавались по 4-х проводной шине для экономии выводов микроконтроллера. Подсветка управляется программно через ключевой транзистор VT3. В период паузы в работе, прибор переходит в режим экономии электроэнергии, выключив подсветку индикатора.

Управляющие ключи на транзисторах VT1, VT2 позволят управлять внешним приводом хода подачи вверх и вниз. На данный момент их функция зарезервирована для будущих разработок.

После разработки схема в программе Schematic для последующей трассировки создадим файл соединений (Utils->Generate NetList).

3.1.1.2 Трассировка печатной платы в РСВ

Трассировку печатной платы выполним в программе РСВ входящую в комплект P-CAD. Загрузим файл соединений (Utils->Load NetList). На рабочем поле все радиоэлементы размещены в хаотичном порядке соединенные между собой условными проводниками (рисунок 3.2).

Определившись с корпусом, нанесем границы печатной платы и крепежные отверстия. В периметр ПП поэлементно переносим радиокомпоненты. Размещение производится т.о. что бы сократить количество пересечений проводников. Разъемы для подключения к внешним цепям размещаются на краю платы к задней или боковой стенок корпуса. Печатная плата фиксируется на нижнем основании корпуса. Индикатор из-за технологических особенностей корпуса лучше разместить на передней панели и

соединить его через разъем. Полученная скомпонованная печатная плата представлена на рисунке 3.3.

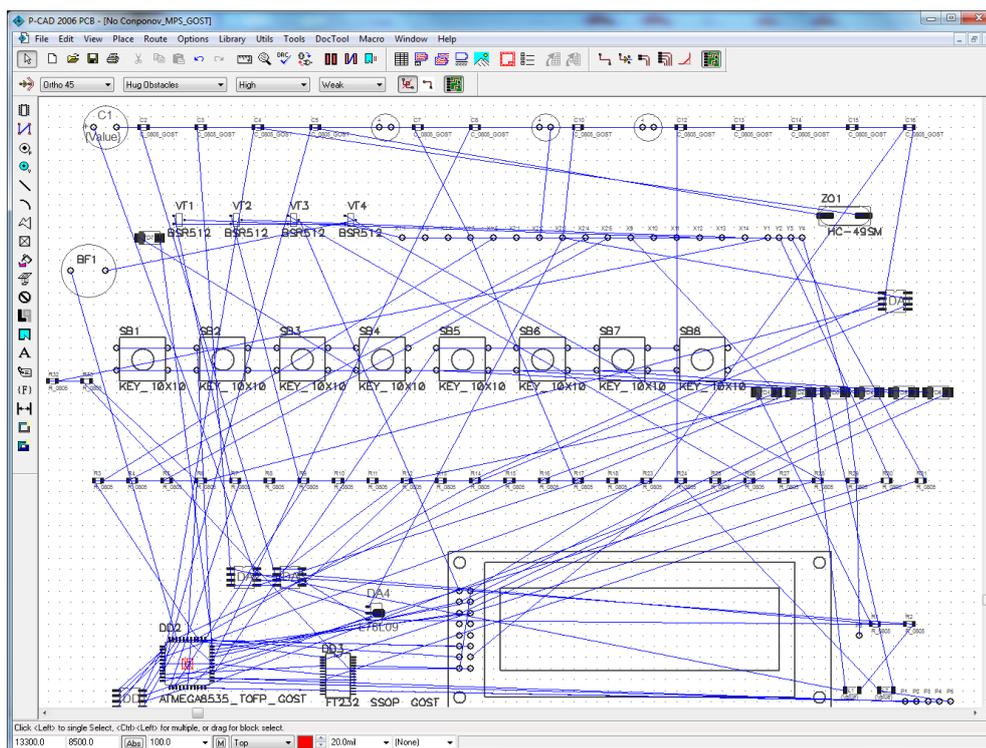


Рисунок 3.2 – Печатная плата в программе РСВ до компоновки элементов.

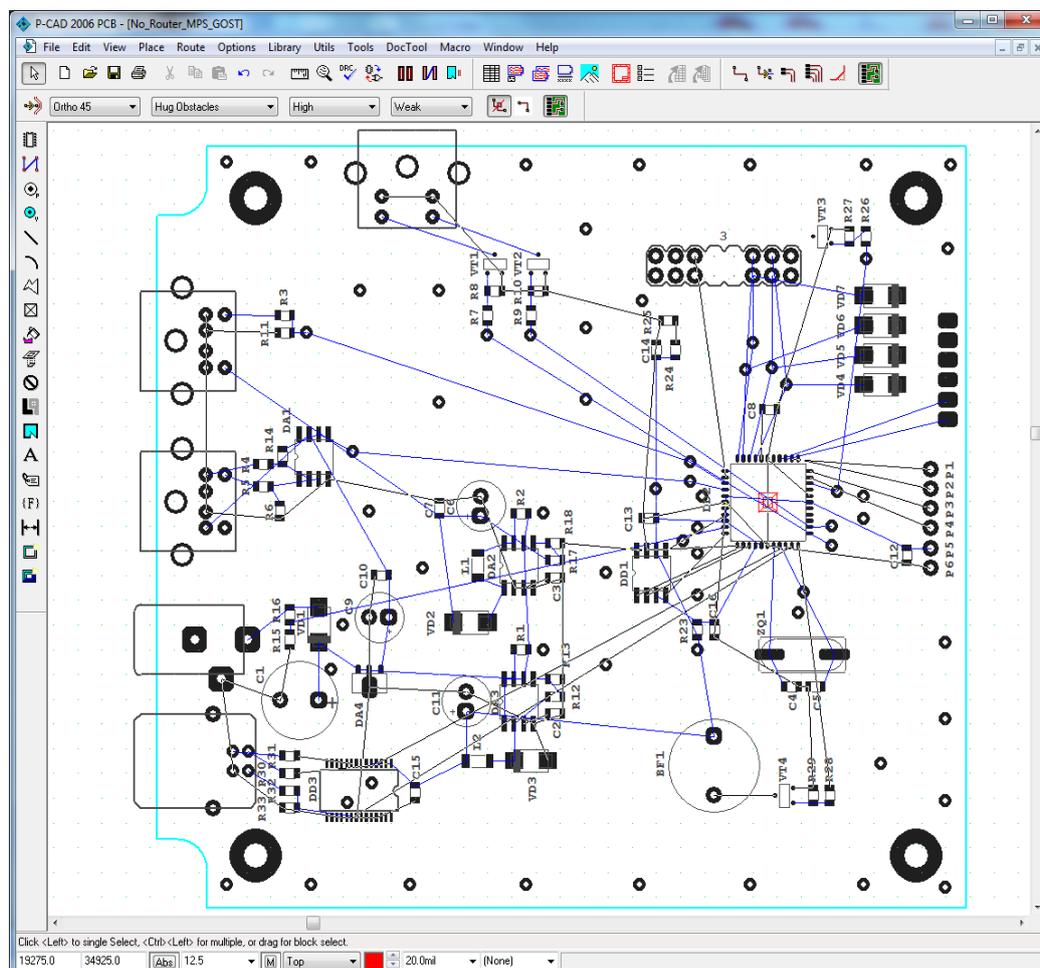


Рисунок 3.3 – Печатная плата в программе РСВ после компоновки элементов.

Программа РСВ поддерживает два режима трассировки:

- а) автоматический;
- б) ручной.

У каждого из режимов есть свои преимущества и недостатки. Авто трассировка выполняется намного быстрее, но плохая оптимизация прокладки проводников. При ручной трассировке проводники прокладываются по всем предъявленным требованиям, но занимает много времени. Лучшим решением будет применить комбинированный способ, т.е. трассировать в автоматическом режиме. В ручном режиме оптимизировать отдельные проводники. Внешний вид печатной платы после трассировки представлен на рисунке 3.4.

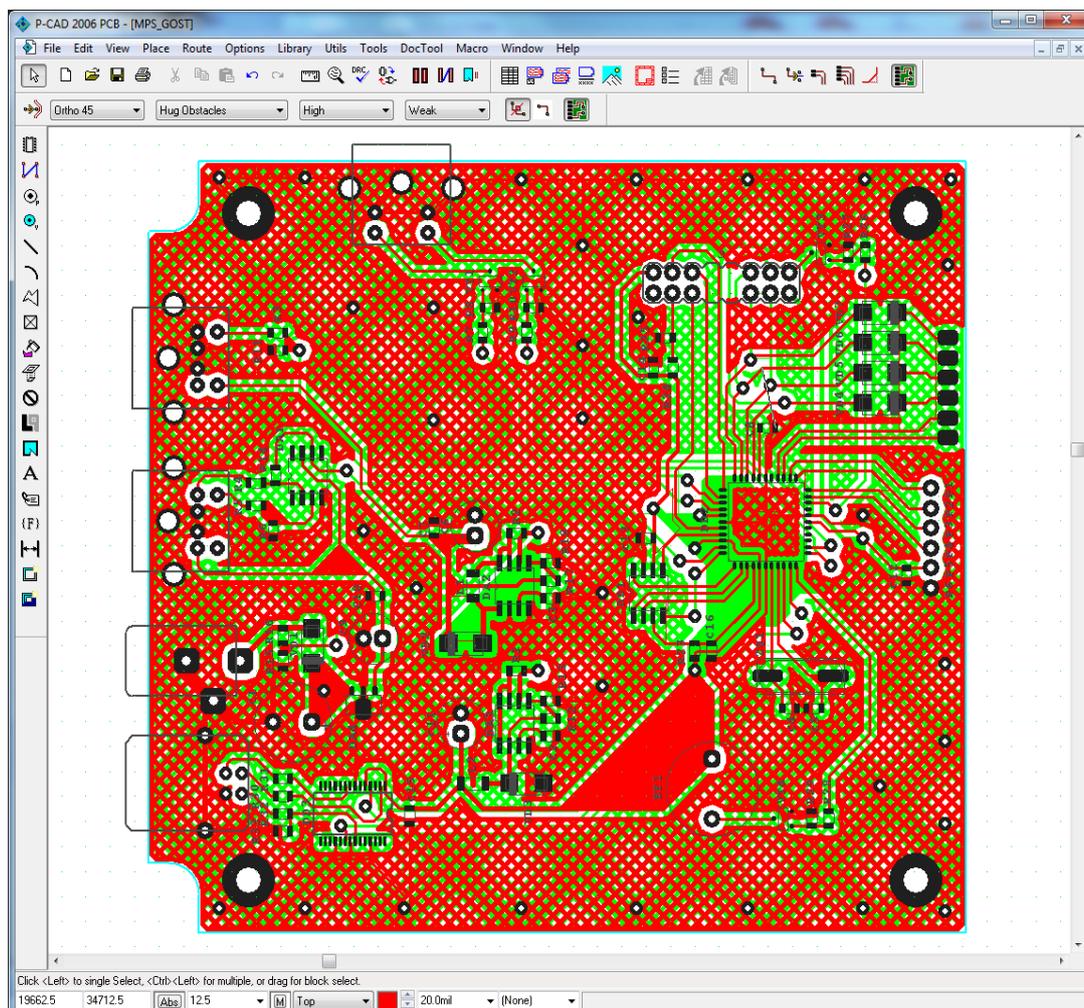


Рисунок 3.4 – Печатная плата в программе РСВ после трассировки проводников.

Все острые и пустые места залиты полигонами. Проводник GND залит с верхней и нижней сторон.

3.1.2 Настройка аппаратно-программных модулей

Разрабатываемый микропроцессорный модуль не требует аппаратных настроек. Единственное что потребуется, проверить напряжение питания в контрольных точках: $T1 - 9V$, $T2 - 24V$, $T3 - 3,3V$ на печатной плате, допустимое отклонение от указанных значений не должно превышать $\pm 5\%$.

Все возможные настройки реализованы программно. Для предотвращения потери параметров, к настройкам допускаются квалифицированный персонал. Операторам разрешено только выставления параметров в контрольных точках. Изменение параметром возможно только с применением ПК через удаленное CANopen соединение, либо подключение через USB разъем. Внешний вид программы настройки представлен на рисунке 3.5.

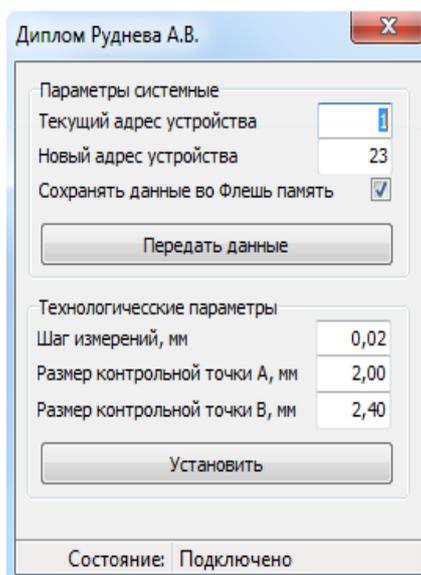


Рисунок 3.5 – Внешний вид программы настройки параметров МПС.

При установлении соединения не зависимо от типа интерфейса в нижней части строки статуса выводится надпись: «Подключено», в противном случае «Отключено». Объединяя устройства в единую CAN сеть, необходимо каждому подключенному устройству установить индивидуальный адрес. По умолчанию для всех присвоен адрес=1. Изменить его можно, не отключая от сети. Перед подключением рекомендуется предварительно сменить адрес по умолчанию на

любой другой, иначе в процессе работы может возникнуть ошибка передачи данных.

В группу «Технологические параметры» входят следующие значения.

«Шаг измерения, мм» задает через какое расстояние необходимо передать на сервер. По полученному массиву данных строится нагрузочная характеристика. Все полученные данные помещаются в БД.

«Размер контрольной точки X, мм» размер при достижении которого необходимо проверить и передать параметры с измерительных датчиков.

3.1.3 Описание особенностей программирования

Для достижения лучшей эффективности исполняемой программы рекомендуется разрабатывать ее в соответствии с алгоритмом, схема которого приведена на рисунке 3.6.

На первом этапе разрабатывается программа на стандартном языке Си, при этом знание каких-либо особенностей процессора не является обязательным. После компиляции полученная исполняемая программа подвергается отладке и тестированию, целью которых является проверка удовлетворяет или нет программа заданным условиям и показателям. Одним из основных показателей программы является время выполнения (это особенно важно для систем, работающих в реальном масштабе времени).

Другим важным показателем является объем кодов и данных, определяющий требуемый объем.

Если заданные условия выполняются, то на этом процесс разработки программы может быть закончен. Если же данные условия не выполняются, то необходима дальнейшая работа над программой.

Процедура преобразования значения АЦП в десятичное число с плавающей запятой без оптимизации представлена в листинге 3.1.

Листинг 3.1 Преобразование АЦП в десятичное число с плавающей запятой

```
SIGNAL (SIG_ADC)
{
    WORD tm = ADCL;           //получение значения АЦП
    tm |= (ADCH << 8);
```

```
float tt = tm * 3.502; //переведем на десятичное с плавающей запятой
byte *AdrDisp;
AdrDisp = AdrDisplayMem(0, 9); //присвоить адрес буфера дисплея
FloatToStr(tt, AdrDisp); //преобразуем число в строку и выводим на экран
}
```



Рисунок 3.6 – Путь построения выполняемой программы.

На первый взгляд процедура маленькая и не требует большого выделения ресурсов, но это не так. Строка кода *float tt = tm * 3.502;* значительно увеличивает размер программы, время выполнения и занимает до 1кбайта стека.

На втором этапе работы подключаются средства оптимизации алгоритма и компиляторов языка Си. С целью оптимизации алгоритма производится его трансформация, направленная на использование комбинированных циклов вместо последовательности простых, возможность организации параллельных вычислений и т.д. Результат оптимизации кода листинга 3.1 представлен в листинге 3.2.

Листинг 3.2 Код после оптимизации

```
SIGNAL (SIG_ADC)
{
    WORD tm = ADCL;           //получение значения АЦП
    tm |= (ADCH << 8);
    WORD tt = ((tm*(3))/1)+((tm*(5))/10)+((tm*(0))/100)+((tm*(2))/1000);
    IntToStr(tt/1000, AdrDisp);
    tt%=1000;
    tt/=10;                   //убрать тысячную часть
    AdrDisp++;
    *AdrDisp = ',';          //вывести запятую
    AdrDisp++;
    IntToStr(tt, AdrDisp);    //вывести значение после запятой
}
```

Если на уровне языка Си достигнуть нужной эффективности не удастся, то выполняется третий этап. В написанной программе выделяют фрагменты, критические с точки зрения поставленных условий эффективности. В любой программе можно выделить фрагменты, время выполнения которых вообще не критично и фрагменты, время которых в основном и определяет общее время выполнения. Выделенные важные фрагменты программы нужно переписать на языке ассемблера, используя все возможные особенности архитектуры и системы команд конкретного процессора.

3.2 Тестирование технических характеристик микропроцессорной системы

Вся программа разбита на отдельные законченные модули, т.о. тестирование необходимо производить в несколько этапов. Все тестирование

происходит с применением отладочного набора STK600.

На первом этапе по отдельности тестируют все программные модули. Программа состоит из следующих функциональных блоков:

- а) вывод данных на LCD дисплей;
- б) обработка событий клавиатуры;
- в) передача данных через CAN и USB интерфейсы;
- г) обработка данных АЦП;
- д) запись данных во flash память.

На втором этапе, после логического связывания программных модулей в единое программное обеспечение, проверяется работу взаимодействия различных модулей программы.

Реакция на нажатие клавиш должна сопровождаться изменением состояния дисплея. Например, при нажатии на кнопку «ввод контрольных точек» на дисплее должно вывести мигающий курсор предлагающий изменить текущее значение. После окончания ввода переходит в нормальный режим работы.

Отладка протокола обмена с сервером (ПК) происходит с применением дополнительного разработанного программного эмулятора. Режим передачи происходит в теновом режиме не отображаться на дисплее, не отвлекая оператора.

Процесс сохранения данных во flash памяти работает тоже в скрытом режиме. При выполнении ряда измерений в автономном режиме в память должны добавиться полученные результаты. После подключения к серверу (ПК) и запуска эмулятора происходит соединение и передача содержимого всех сохраненных значений во flash памяти.

3.3 Описание эксплуатационной документации

3.3.1 Руководство пользователя

Микропроцессорная система контроля прецизионных пружин с интерфейсом CANopen (СКПП) версии v1.0 предназначен для снятия

характеристик упругости пружины. Внешний вид представлен на рисунке 3.7, назначение клавиш и разъемов в таблице 3.1.

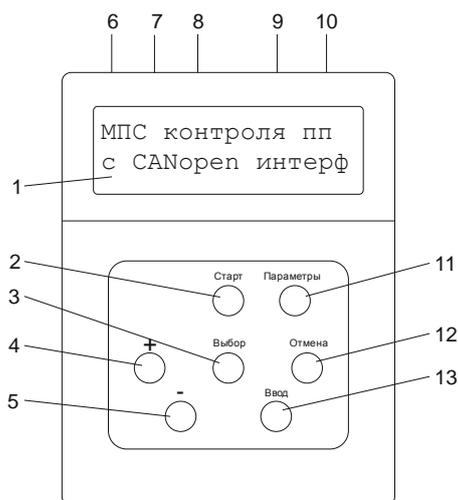


Рисунок 3.7 – Внешний вид микропроцессорной системы контроля прецизионных пружин с интерфейсом CANopen.

Таблица 3.1 – Назначение клавиш и разъемов

№	Назначение
1	Дисплей для вывода технологической информации
2	«Старт» - начало цикла измерения
3	«Выбор» - редактируемого сегмента
4	«+» - увеличить редактируемый параметр
5	«-» - уменьшить редактируемый параметр
6	Подключение к ПК через интерфейс USB
7	Подключение к ПК через интерфейс CAN
8	Разъем питания
9	Разъем для подключения датчика силы
10	Разъем для подключения датчика расстояния
11	Разрешение ввода технологических параметров
12	Отмена ввода параметров
13	Подтверждение введенных параметров

3.3.2 Описание работы микропроцессорной системы

Начало цикла измерения начинается с нажатия на кнопку 2 «Старт». СКПП начинает отслеживать вход 9 с датчика силы и 10 датчика расстояния. Процесс работы фиксируется дисплеем 1. Прибор СКПП v1.0 автоматически определяет окончание цикла измерений и последующем передает полученные значения на ПК для построения графика нагрузочной характеристики (рисунок 3.8).

В режиме автономной работы на дисплей выводится результаты измерений в контрольных точках, график с контрольными точками показан на рисунке 3.9, показания дисплея представлены на рисунке 3.10.

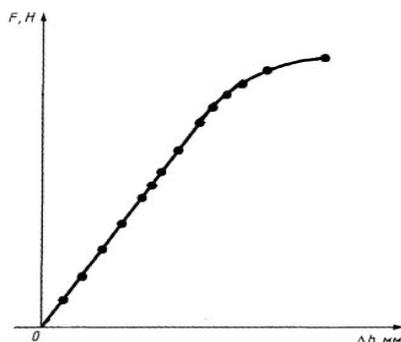


Рисунок 3.8 – График нагрузочной характеристики.

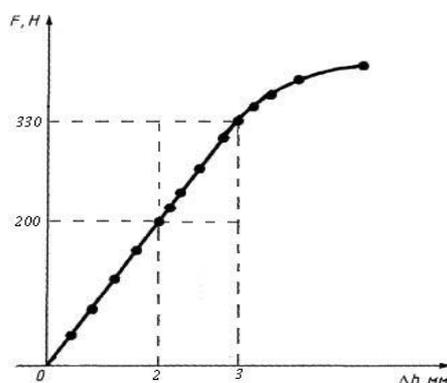


Рисунок 3.9 – График нагрузочной характеристики в контрольных точках.

```
h1 2.00мм|F 200Н  
h2 3.00мм|F 330Н
```

Рисунок 3.10 – Показания дисплея измерения в контрольных точках.

Контрольные точки выставляются вручную с начатия на кнопку 11 «Параметры», на дисплее выводится мигающий курсор (рисунок 3.11).

```
h1 2._0мм|F 200Н  
h2 3.00мм|F 330Н
```

Рисунок 3.11 – Показания дисплея в режиме ввода контрольных точек.

Изменить параметр над курсором можно нажатием на кнопки 4 «Увеличить» или 5 «Уменьшить». Нажатие на кнопку 3 «Выбор», курсор циклически перемещается по редактируемым символам или параметр. После

ввода сохранить новое значение, нажатием на кнопку 12 «Ввод». Если случайно вошли в режим ввода параметров и изменили параметр, нажатие на кнопку 12 «Отмена» прибор переходит в исходное состояние.

Схема включения в режиме автономной работы показана на рисунке 3.12.

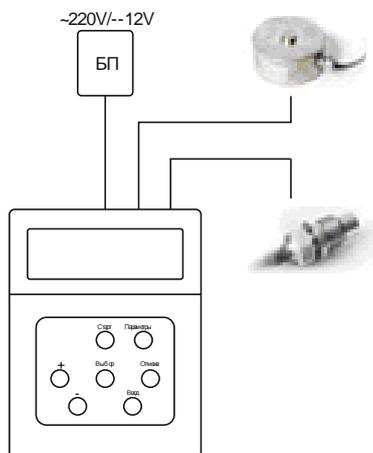


Рисунок 3.12 – Схема включения СКПП v1.0 в автономном режиме.

СКПП v1.0 имеет возможность работать с интерфейсами CAN и USB.

Схема включения в сеть показана на рисунке 3.13.

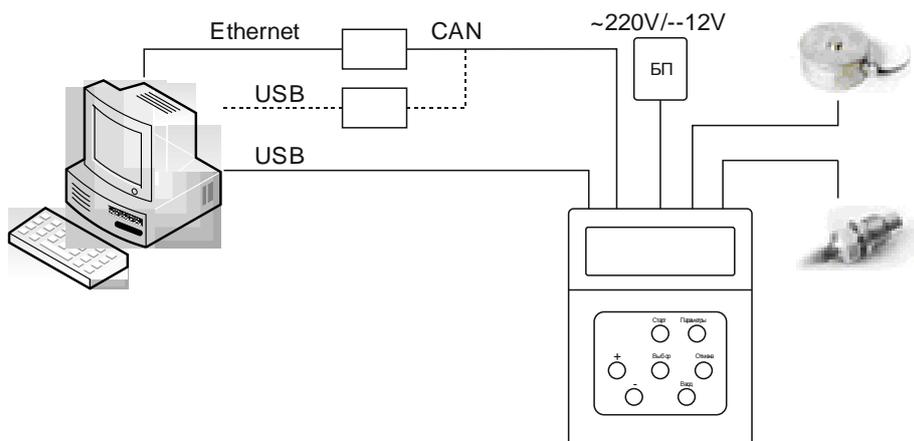


Рисунок 3.13 – Схема включения СКПП v1.0 в сеть.

Примечание. CAN интерфейс имеет высокий приоритет т.о. при подключении сразу двух интерфейсов CAN и USB работать будет только по CAN.

4 Расчет экономических показателей работы микропроцессорной системы

Система ИУПП относится к новым технологическим платформам, реализующим концепцию распределенного интеллекта, что позволяют существенно повысить показатели качества выпускаемой продукции и экономичности использования ресурсов. Такие распределенные системы обеспечивают высокую надежность, простоту масштабируемость и модернизации, могут выполнять требуемые функции, используя для обмена данными с другими устройствами.

4.1 Выбор и обоснование базового варианта

Определение показателей экономической эффективности разработанного устройства базируется на сравнении его с базовым вариантом, адекватность которому является важнейшим фактором для определения количественных значений показателей эффективности, что имеет существенное значение для объективной оценки новых технических решений.

При выборе базы для сравнения необходимо руководствоваться двумя основными правилами:

а) это может быть устройство, выполняющее те же основные функции, что и разработанное;

б) должно быть выбрано современное и наиболее эффективное устройство, т.к. только в этом случае, если показатели разработанного устройства выше, производство будет целесообразным.

На основании аналитического обзора, проведенного в первом разделе, была разработана микропроцессорная система контроля прецизионных пружин с передачей по CAN интерфейсу. МПС содержит два канала измерения сигналов с датчиков, осуществляет передачу данных по интерфейсу CANopen в управляющий компьютер или host-контроллер, выводит данные на дисплей.

Из сравнения разработанного и базовых устройств, можно сделать вывод, что по сравнению с базовыми разработанный МПС обладает следующими преимуществами:

- а) обеспечивает более высокую точность измерения с отображением статуса и данных на функциональном LCD дисплее;
- б) сохранение данных во flash памяти при автономной работе;
- в) автоматическая передача измеренных параметров в БД при подключении к ПК;
- г) не требует сервисного обслуживания в течение всего гарантийного срока;
- д) поддерживает режим внутрисистемного программирования и отладчика JTAG, что обеспечивает снижение затрат на перепрограммирование и отладку;
- е) имеет более высокую надежность и технологичность.

Схемотехника и конструкция разработанного прибора не требует капитальных вложений на запуск его производства, т.к. используемые технологии являются типовыми для производства радиоаппаратуры на интегральных микросхемах.

4.2 Расчет экономической эффективности производства

На различных стадиях проектирования в зависимости от полноты исходной информации себестоимость изготовления может быть определена различными методами: по удельным весам, по типовой структуре производственных затрат, путем калькуляции и др.

Расчет себестоимости изделия путем калькуляции позволяет провести наиболее точный расчет цены платы разработанного модуля. Сущность метода заключается в последовательном расчете статей калькуляции.

Расчет себестоимости будем проводить исходя из сложившихся затрат по данному производству. Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Исходные данные для расчета экономической эффективности

Наименование	Долевое значение
ТЗР _м по статье «Материалы»	4,2% (М)
ТЗР _п по статье «Полуфабрикаты»	4,6% (П)
Зарплата дополнительная З _{доп}	15% от З _{осн.}
Процент отчислений в социальные нужды У _с	38,4% от (З _{осн} +З _{доп})
Уровень расходов по содержанию и эксплуатации оборудования У _{с.о.}	15% от З _{осн}
Уровень цеховых расходов У _{цех}	18% от З _{осн}
Уровень общезаводских расходов У _{о.з.}	73% от З _{осн}
Внепроизводственные расходы	5,3% от С _{пр}

4.2.2 Затраты по статье «Материалы основные»

Количество паек, общий расход материалов взяты из данных по трассировке печатных плат разработанного модуля ввода и нормативных документов по технологии изготовления и сборки модуля, приведенных ниже.

Стоимость материалов определялась по усредненным ценовым предложениям on-line магазинов, представленных на сайте электронной торговли www.eworld.ru

При расчете затрат по статье «Материалы основные» был учтен нормативный расход материалов на 1 пайку, взятый из «Типовых норм расхода материалов на электромонтажные работы».

Расчет затрат по статье «Материалы» приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Расчет затрат по статье «Материалы»

Наименование материалов	Кол-во паек, шт.	Норма на 1 пайку, кг	Цена за 1 кг (л), руб.	Вес, кг	Стоимость, руб.
Припой АСАНИ Sn60/Pb40	382	0,00007	2800	0,0267	74,76
Флюс ФСК	382	0,00003	680	0,0114	7,75
Спирт изоприловый	382	0,00001	190	0,0038	0,72
Лак УР-231	-	-	1050	0,010	10,50
Итого:					93,73

Припой АСАНИ Sn60/Pb40 может быть заменен на аналогичный низкотемпературный припой с температурой плавления около 260°C, а флюс ФСК – на любой флюс на основе древесной канифоли, не содержащий кислотных компонентов.

Указанные расходы материалов для пайки являются усредненными как для ручных способов.

Затраты по $TЗР_{м}$ по статье «Материалы основные» составят:

$$TЗР_{м} = 93,73 \times 0,042 = 3,93 \text{ руб.}$$

Итоговые затраты по данной статье составят:

$$M' = M + TЗР_{м} = 93,73 + 3,93 = 97,66 \text{ руб.}$$

4.2.3 Затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Стоимость изготовления 1 $дм^2$ прямоугольной платы одного вида в рублях

при разных партиях заказа в ООО «Компания СМД» г. Тольятти приведена в таблице 4.3 (<http://smd-tlt.ru>).

Таблица 4.3 - Стоимость изготовления печатной платы с паяльной маской

Площадь заказа (дм ²)	Односторонняя печатная плата		Двухсторонняя печатная плата	
	Стоимость подготовки (руб)	Цена за 1 дм ² (руб)	Стоимость подготовки (руб)	Цена за 1 дм ² (руб)
0-25	700	108	1050	128
26-50	700	96	1050	108
51-75	700	82	1050	90
76-100	700	71	1050	78
101-300	Бесплатно	54	Бесплатно	70
301-500	Бесплатно	46	Бесплатно	66
501 и более	Бесплатно	42	Бесплатно	62

Прибор состоит из двух сборочных модулей:

- а) двухсторонняя печатная плата (ДПП) размером 100x98мм;
- б) односторонняя печатная плата (ОПП) размером 80x50мм.

При заказе 100 штук получим площадь заказа ДПП - 98 дм², ОПП – 40дм².

Отсюда стоимость комплекта изготовления плат составит:

$$C_{дпп} = 78 \times 0,098 + 1050 / 100 = 18,15 \text{ рубля};$$

$$C_{опп} = 96 \times 0,04 + 700 / 100 = 10,85 \text{ рубля};$$

$$C_{пп} = 18,15 + 10,84 = 29,00 \text{ рубля}.$$

Цены на радиокомпоненты взяты из данных по on-line магазинам (<http://platan.ru>, <http://eworld.ru>). Стоимость отдельных компонентов может существенно отличаться у разных продавцов в зависимости от условий и сроков поставки, действующих акций и пр. Поэтому в расчетах использованы усредненные данные по отдельным группам радиокомпонентов при мелкооптовых заказах. Расчет затрат приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Расчет затрат по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Конденсаторы СС0805К4Х7R	13	2	26
Конденсаторы К50-35 25Вх470mF	1	15	15
Конденсаторы К50-35 35Вх22mF	2	2	4
Конденсаторы К50-35 6,3Вх1000mF	1	5	5

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Микросхемы:			
AD820AR	1	140	140
MC33063AD	2	15	30
L78L09ACUTR	1	6	6
AT45DB011D-SH	1	50	50
ATmega32A-AU	1	135	135
FR232RL	1	160	160
Индикатор 16S2D	1	300	300
Дроссель SQC453226T	2	8	16
Резисторы RC0805	33	0,3	10
Кнопка DTS-24N	8	9	72
Диод 30BQ040	3	8	24
Диод SN4007	4	5	20
Транзистор BC817	4	3	12
Резонатор кварцевый HC-49SM	1	10	10
Разъем AF-3230	2	20	40
Разъем AF-3130	1	21	21
Разъем USBB-1J	2	10	20
Разъем IDC-10F	1	10	10
Разъем K375B	1	10	10
Корпус G1189G	1	160	160
Итого			1286

Общие затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты» составят 1276 рубля. Затраты на ТЗР_п по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

$$\text{ТЗР}_{\text{п}} = 1276 \times 0,046 = 58,70 \text{ руб.}$$

Итого затрат по этой статье П' = С_{пп} + П + ТЗР_п = 1334,70 рубля.

4.2.4 Затраты по статье «Зарплата»

Процесс изготовления разработанной платы разбит на технологические операции, порядок и содержание которых определены в «Типовых технологических процессах изготовления радиоэлектронной аппаратуры».

Общемашиностроительные нормы времени («Сборник типовых норм») определяют разряд рабочего, выполняющего ту или иную технологическую операцию, и время на её выполнение.

В соответствии с классификацией сложности радиотехнических устройств платы модуля ввода относится к 5Д группе сложности. Отсюда, согласно «Типовым технологическим процессам изготовления радиоэлектронной

аппаратуры», получаем время настройки по данной группе 0,97...2,3 часа.

Порядок технологических операций при изготовлении спроектированных плат приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Данные по технологическим операциям

Вид работ	Разряд работ	Количество элементов	Время операции на 1 элемент	Общее время
Обрезка выводов	3	4	0,0035	0,014
Покрытие 2 печатных плат флюсом	3	1дм ²	0,0161	0,007
Пайка выводных элементов	3	4	0,011	0,044
Пайка SMD компонентов	3	60	0,011	0,66
Пайка SMD микросхем	3	7	0,033	0,231
Пайка кнопок	3	8	0,011	0,88
Пака разъемов	3	6	0,033	0,2
Настройка и сборка устройства	5	1	-	0,10
Покрытие плат лаком УР-231	2	1		0,038
Итого				2,174

Данные по статье «Зарплата основная» сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6 - Затраты по статье «Зарплата основная»

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Премияльные доплаты, %	Общая стоимость работ, руб.
Обрезка выводов	3	0,014	64,20	20	1,08
Покрытие 2 печатных плат флюсом	3	0,007	64,20	20	0,54
Пайка выводных элементов	3	0,044	64,20	20	3,39
Пайка SMD компонентов	3	0,66	64,20	20	50,85
Пайка SMD микросхем	3	0,231	64,20	20	17,80
Пайка кнопок	3	0,88	64,20	20	67,80
Пака разъемов	3	0,2	64,20	20	15,41
Настройка и сборка устройства	5	0,10	75,60	20	9,07
Покрытие плат лаком УР-231	2	0,038	56,50	20	2,58
Итого:					168,50

Зарплата дополнительная - это сумма доплат к основной зарплате за не проработанное, но оплачиваемое согласно Трудовому кодексу время: за отпуска, за выполнение гособязанностей, за сокращенный рабочий день и т.д.

$$З_{\text{доп}} = 168,50 \cdot 0,1 = 16,85 \text{ руб.}$$

4.2.5 Отчисления и накладные расходы

Отчисления на социальное страхование (единый социальный налог):

$$O_{\text{сс}} = (З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп}}) \times Y_{\text{сс}} / 100\% = (168,50 + 16,85) \times 0,384 = 71,18 \text{ руб.} \quad (4.1)$$

Накладные расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$H_{\text{со}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{со}} = 168,50 \times 0,15 = 25,28 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

Накладные общецеховые расходы:

$$H_{\text{оц}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оц}} = 168,50 \times 0,18 = 30,33 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

4.2.6 Себестоимость продукции

Групповая пайка SMD компонентов печатных плат при одновременной загрузке 6 плат составляет $C_{\text{гп}} = 52,70$ рубля на одну плату.

Тогда цеховая себестоимость двух печатных плат модуля с учетом стоимости пайки SMD компонентов ($C_{\text{пп}} = 52,70 \times 2 = 105,40$ рубля) составит:

$$C_{\text{ц}} = M' + П' + C_{\text{пп}} + З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} + O_{\text{сс}} + H_{\text{со}} + H_{\text{оц}} = 97,66 + 1334,70 + 105,40 + 168,50 + 16,85 + 71,18 + 25,28 + 30,33 = 1849,90 \text{ руб.} \quad (4.4)$$

Общезаводские расходы:

$$H_{\text{оз}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оз}} = 168,50 \times 0,73 = 123,01 \text{ руб.} \quad (4.5)$$

Производственная себестоимость плат модуля аналогового ввода:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + H_{\text{оз}} = 1849,90 + 123,01 = 1972,91 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

Внепроизводственные расходы:

$$B_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \cdot Y_{\text{впр}} = 1972,91 \times 0,053 = 104,56 \text{ руб.} \quad (4.7)$$

Полная себестоимость изделия включает производственную себестоимость $C_{\text{пр}}$ и внепроизводственные расходы $B_{\text{пр}}$:

$$C_{\text{п}} = C_2 = C_{\text{пр}} + B_{\text{пр}} = 1972,91 + 104,56 = 2077,46 \approx 2078 \text{ руб.} \quad (4.8)$$

Для комплексной технико-экономической оценки нового изделия рассчитаем его проектную оптовую цену $Ц_{\text{опт.}}$. Она больше полной себестоимости на величину прибыли $Пр$, которая определяется в зависимости от

установленного уровня рентабельности P в процентах от $C_{п}$.

$$Ц_{\text{опт}} = C_{п} + \text{Пр} = C_{п} \times (1 + P) = 2077,46 \times 1,25 = 2596,83 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

4.2.7 Расчет экономического эффекта

Используя полученные данные, определим эффективность разработанного модуля в сфере производства. Экономия условно - годовая в расчете на единицу изготавливаемой продукции составит:

$$\text{Э}_{\text{г.у.пр.}} = C_1 - C_2 = 5500 - 2078 = 3422 \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

где C_1 - себестоимость базового объекта.

Выбранные в качестве изготовителя производственные мощности ориентированы на мелкосерийное производство с использованием универсального контрольно - измерительного и технологического оборудования. Исходя из этого, можно сделать вывод, что благодаря аналогичности элементной базы, используемого технологического и испытательного оборудования, технологии изготовления и настройки, а так же отсутствие специальных требований к квалификации технологического персонала.

Годовая программа выпуска составляет $N = 100$ штук. Условный годовой экономический эффект составит:

$$\text{Э}_{\text{э.пр}} = N \times (C_1 - C_2) = 100 \times (5500 - 2078) = 342200 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

Из рассчитанной экономии следует вычесть затраты на разработку программного обеспечения модуля аналогового ввода.

В третьем разделе были достаточно подробно рассмотрены и даны рекомендации по разработке, отладке ПО и программированию МК семейства AVR. Было показано, что для этого минимально необходим стартовый(отладочный) набор STK600, в который входят печатная плата с установленной на ней панелью под микроконтроллер и разъемом JTAG-интерфейса (подключается к USB - порту ПК), собственно микросхемы микроконтроллера, соединительные кабели и компакт-диск. Стоимость набора составляет 10200 рублей. Бесплатная среда программирования (Си/Си++ и ассемблер) AVR Studio v 6.0, которую можно получить по адресу <http://Atmel.com>.

Для разработки схемы и трассировки печатных плат требуется среда P-CAD 2006. Стоимость комплекта 2500 рублей.

Также потребуется ПК с любым процессором Pentium, не менее 1Гб RAM и до 1,5 Гб свободного дискового пространства. На ПК должна быть установлена операционная система MicrosoftWindows XP/Vista/Windows7, InternetExplorer 6 или выше.

При выборе варианта с использованием стартового набора и с учетом того, что стоимость разработки программного обеспечения составляет 12500 рублей, общая стоимость разработки ПО составит 25200 рублей (252,00 рублей на 1 модуль).

Учитывая сказанное, окончательно получим условный годовой экономический эффект 317 тыс. рублей.

Опираясь на результаты расчетов можно сделать вывод о целесообразности производства разработанного.

На рисунке 4.1 приведена диаграмма, показывающая структуру затрат в полной себестоимости изготовления разработанного модуля аналогового ввода. Из рисунка видно что основные статьи затрат в его себестоимости составляют покупные изделия.

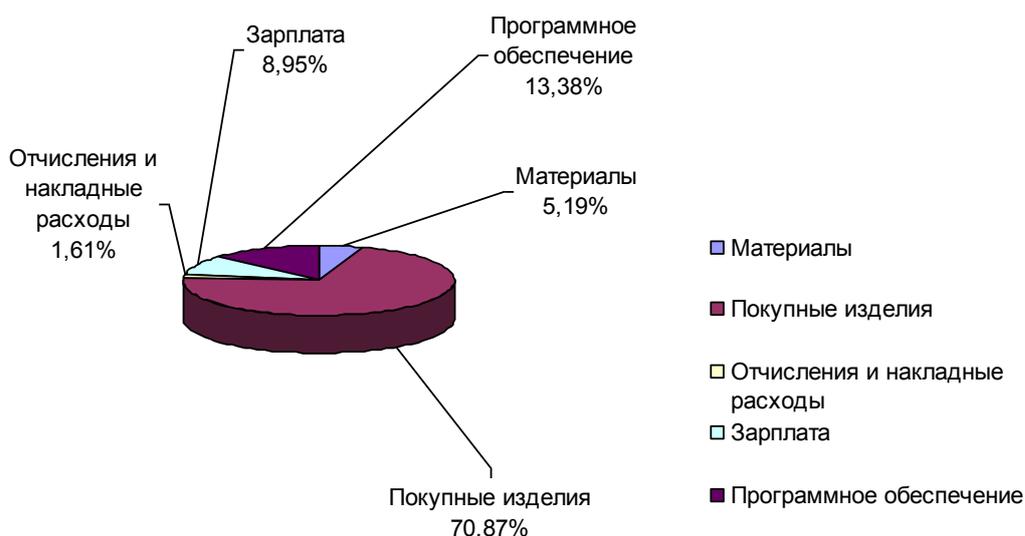


Рисунок 4.1 - Структура затрат в полной себестоимости модуля аналогового ввода.

Заключение

Для разработки схемы электрической принципиальной применили современную элементную базу. Корпуса радиоэлементов использовали в SMD исполнении, что позволило уменьшить вес, габариты сборочной платы и увеличить технологичность сборки и надежность. Расчетные показатели надежности составили: наработка на отказ 15тыс.часов, а вероятность безотказной работы за 1000 часов 0,93 или 93%.

В микроконтроллерах в силу ограниченного количества ресурсов: низкая тактовая частота, ограниченный объем памяти постоянной и оперативной, разработан высокоэффективный алгоритм. В данной работе увеличение эффективности достигается за счет разделения алгоритма на отдельные модули:

- а) обработка клавиатуры;
- б) вывод данных на дисплей;
- в) обработка данных АЦП;
- г) сохранение данных во Flash памяти;
- д) передача данных по интерфейсу CAN;
- е) передача данных по интерфейсу USB.

Распределить нагрузку обработки каждого программного модуля позволило за счет организации отдельных потоков. Каждый модуль состоит из следующих частей:

- а) инициализация параметров;
- б) буферизация данных для передачи;
- в) чтение подготовленных данных;
- г) поток ввода/вывода.

Одни потоки синхронизированы по таймеру, другие по прерыванию. Т.о. во время паузы одного из потоков выполняются другие параллельные операции ввода/вывода, пример на рисунке 3.1.

Экономический расчет показал высокие показатели эффективности разработанного модуля. Затраты на производство 1 ед. составили 2078 руб., при рыночной стоимости 5500 руб. эффективность составила 3422 руб.

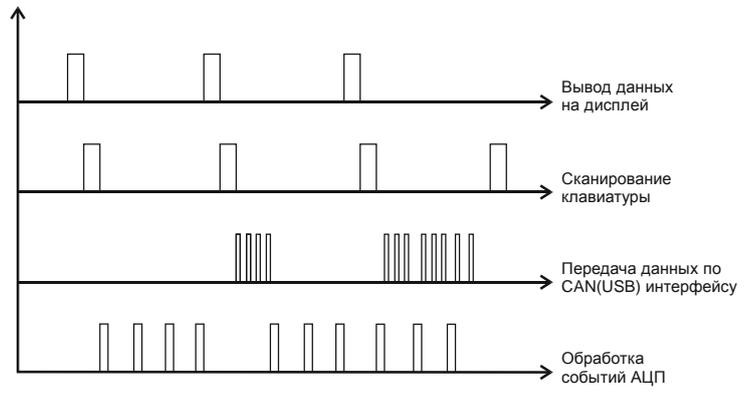


Рисунок 3.1 – Циклограмма параллельно выполняемых потоков.

Литература

1. //www.atmel.com
2. //microchip.ru
3. //melt.ru
4. //analog.com
5. //nordoc.ru
6. //ftdichip.com
7. //Zetms.ru/catalog/
8. //instron.ru/wa/shared_control/
9. Солонина А., Улахович Д., Яковлев Л. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. Санкт-Петербург, 2002.
10. Анализ информационных проектов. Курс лекций.
11. Анализ информационных проектов. Методические указания.
12. Горячева И.А. Планирование и управление проектами. - Тольятти ВУиТ, 2005.
13. Королев Д Эффективное управление проектами. – М., 2003.
14. Фатрелл Роберт Управление программными проектами. – М., 2003.
15. Савельев М.В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
16. Медведев А. Технология производства печатных плат. – М.: Техносфера, 2005. – 360 с.
17. Уваров А.С. Проектирование и конструирование электронных устройств. – М.: Горячая линия - Телеком, 2004. – 760 с.
18. Федоров В.К., Сергеев Н.П., Кондрашин А.А. Контроль и испытания в конструировании и производстве радиоэлектронных средств. – М.: Техносфера, 2005. – 504 с.
19. Стрыгин В.В., Щарев Л.С. Основы вычислительной техники и программирования. - М.: Высшая школа, 1983. – 359 с.

20. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Под ред. Э.Т. Романычевой. - М.: Радио и связь, 1989.- 448 с.

21. Предко М. Справочник по PIC-контроллерам. – М.: ДМК Пресс, 2002.- 512с.

22. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: Наука и техника, 2005.-256с.

23. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. – К.: МК-Пресс, 2006.-400с.

24. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. –М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007.-592с.

25. Белов А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах. СПб.: Наука и Техника, 2007.-304с.