

Министерство образования и науки Российской Федерации
Филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
в г. Нижневартовске

Кафедра «Информатика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой «Информатика»
к.ф.-м.н, доцент

_____ / А.В.Ялаев

« ____ » _____ 2018 г.

Датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ-12.03.01.2018.447.ПЗ ВКР

Консультанты

Экономическая часть

к.э.н., доцент

_____ /А.В. Прокопьев /

« ____ » _____ 2018г.

Безопасность жизнедеятельности

к.ф.-м.н., доцент

_____ / А.В. Ялаев /

« ____ » _____ 2018 г.

Руководитель работы

к.т.н., доцент

_____ /Е.В. Юрасова /

« ____ » _____ 2018 г.

Автор работы

обучающийся группы НвФл-431

_____ /Н.Н. Огонян /

« ____ » _____ 2018г.

Нормоконтролер

старший преподаватель _____ /

_____ /Л.Н. Буйлушкина /

« ____ » _____

2018г.

Нижневартовск 2018

АННОТАЦИЯ

Огонян Н.Н. Датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2018, 104 с., 25 ил., 13 табл., библиогр. список – 33 наим., 2 прил.

Данная выпускная квалификационная работа представляет собой описание разработки датчика мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных.

Проведен аналитический обзор первичных преобразователей температуры, давления и влажности, рассмотрены аналогичные устройства. Разработаны функциональная, структурная и принципиальная электрическая схемы, алгоритм работы микроконтроллера. Разработано метрологическое обеспечение прибора, включающее в себя расчет погрешности устройства, методику выполнения измерения и разработку методики поверки. Представлено экономическое обоснование и соответствие стандартам безопасности жизнедеятельности проектируемого устройства.

					<i>12.03.01.2018.447.ПЗ</i>								
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной</i>			<i>Лит.</i>		<i>Лист</i>	<i>Листов</i>		
<i>Разработал</i>	<i>Огонян Н.Н.</i>							<i>В</i>	<i>К</i>	<i>Р</i>	<i>5</i>	<i>104</i>	
<i>Проверил</i>	<i>Юрасова Е.В.</i>							<i>Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»</i>					
<i>Н. контр</i>	<i>Буйлушкина Л.Н.</i>												
<i>Утвердил</i>	<i>Ялаев А.В.</i>												

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	10
1.1 Первичные преобразователи.....	10
1.2 Выходные беспроводные интерфейсы цифровых датчиков	23
1.3 Методы АЦП преобразования и их реализация	36
1.4 Перспективные разработки в области проектирования цифровых устройств.....	46
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА	51
2.1 Функциональная схема датчика	51
2.2 Выбор и обоснование аппаратного обеспечения.....	52
2.3 Расчет и проектирование принципиальной схемы.....	57
3 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА	59
3.1 Расчет погрешности измерительного канала датчика	59
3.2 Разработка методики выполнения измерения.....	64
3.3 Разработка методики поверки.....	69
4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА.....	79
4.1 Алгоритм обмена данными с МК.....	79
5 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	83
5.1 Расчёт себестоимости. Определение оптовой цены.....	83
5.2 Расчёт эксплуатационных расходов.....	89
5.3 Экономическое обоснование работы	89
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	90
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	90
6.2 Анализ условий эксплуатации.....	91
6.3 Соответствие требованиям безопасности.....	92
6.4 Соответствие оборудования требованиям эргономики	93
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	96
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. КОМПАКТ-ДИСК	104

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие цифровой техники и цифровых методов обработки сигналов определяет современные тенденции в разработке самых разнообразных устройств и приборов, при этом значительная роль принадлежит аналого-цифровому и цифро-аналоговому преобразованию. Оно широко используется во всех областях радиоэлектроники, в различной измерительной и контрольной аппаратуре, системах связи, применяется в радиовещании и телевидении.

В автоматизированных системах используется большое количество цифровых приборов, для сбора, хранения и обработки измерительной информации о состоянии отдельных элементов системы. Для обеспечения правильной работы датчиков, с целью получения достоверной информации, используется алгоритм «соединения с главной системой», состоящей из полевой (для получения первичных данных), управляющей (для фильтрации полученной информации) и информационной (для обработки полученной информации) подсистем. На данный момент широко используются датчики с проводной передачей данных, что влечёт за собой возникновения ряда проблем: невозможность установки его в труднодоступных местах, риск аварийной ситуации при обрыве и износе кабеля, передающего информацию, дороговизны обслуживания в целом. Поэтому, актуальной является задача разработки цифрового измерительного устройства мониторинга окружающей среды с выходом на беспроводную сеть передачи данных.

Проектируемый датчик мониторинга окружающей среды осуществляет передачу измерительных данных по протоколу ZigBee (англ. applicationsupportsublayer, поддержка подуровень приложения). Для данной технологии характерна безопасная передача данных, защищенность, способность к самоорганизации и самовосстановлению, ячеистая (mesh)-топология, высокая помехоустойчивость, низкое энергопотребление и отсутствие необходимости

получения частотного разрешения при относительно небольших скоростях передачи данных.

Основным преимуществом передачи в беспроводной системе является то, что она может быть установлена эффективно, оперативно и без значительных затрат практически в любом месте. Датчики с автономным питанием не требуют проводной инфраструктуры. Они также могут быть установлены в таких местах, где организация питания или прокладка кабеля будут слишком затратными или опасными. Беспроводные решения приобретают все большую популярность благодаря возможности контроля из любой точки.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка датчика мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Провести обзор принципов работы первичных преобразователей температуры, давления, влажности и рассмотреть аналогичные устройства.

2. Разработать функциональную схему прибора.

3. Разработать принципиальную электрическую схему прибора.

4. Разработать метрологическое обеспечение цифрового датчика (рассчитать погрешность измерительного канала, создать методику выполнения измерения и методику поверки).

5. Разработать алгоритм работы микроконтроллера при выполнении измерений.

6. Охарактеризовать экономическую целесообразность проекта и безопасность жизнедеятельности при работе с устройством.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Первичные преобразователи

Основными элементами большинства применяемых средств измерений являются первичные измерительные преобразователи (далее – ПИП), назначение которых – преобразование измеряемой физической величины (входная величина) в сигнал измерительной информации (выходная величина), как правило, электрический, удобный для дальнейшей обработки. [1]

Измерительное преобразование представляет собой преобразование значения одной физической величины в значение другой физической величины, функционально с ней связанной. Например, в термометре температура преобразуется в длину столбика ртути или спирта, при этом функциональной связью между этими величинами является закон теплового расширения жидкостей. [2]

1.1.1 Первичные преобразователи атмосферного давления

Давление – сила, действующая на единицу площади. По своей физической природе не может быть измерена прямыми методами, то есть непосредственным сравнением с эталоном. Распределенную по поверхности силу надо заменить равнодействующей силой, приложенной к математической точке и преобразовать в физическую величину, доступную для наблюдения.

Основным элементом любого датчика давления является механоэлектрический преобразователь «сенсор», то есть устройство, преобразующее давление, в электрический сигнал. Сенсор включает в себя чувствительный элемент (далее – ЧЭ), который воспринимает распределенную по поверхности силу и преобразует механическую энергию в электрическую.

Исторически первую группу ЧЭ образуют устройства, в которых давление преобразуется в силу, вызывающую перемещение математической точки ее приложения. Наиболее распространенными ЧЭ этого типа являются трубка Бурдона, которая «разгибается» под действием давления, сиффон и мембранная коробка, жесткий центр которых совершает поступательное движение.

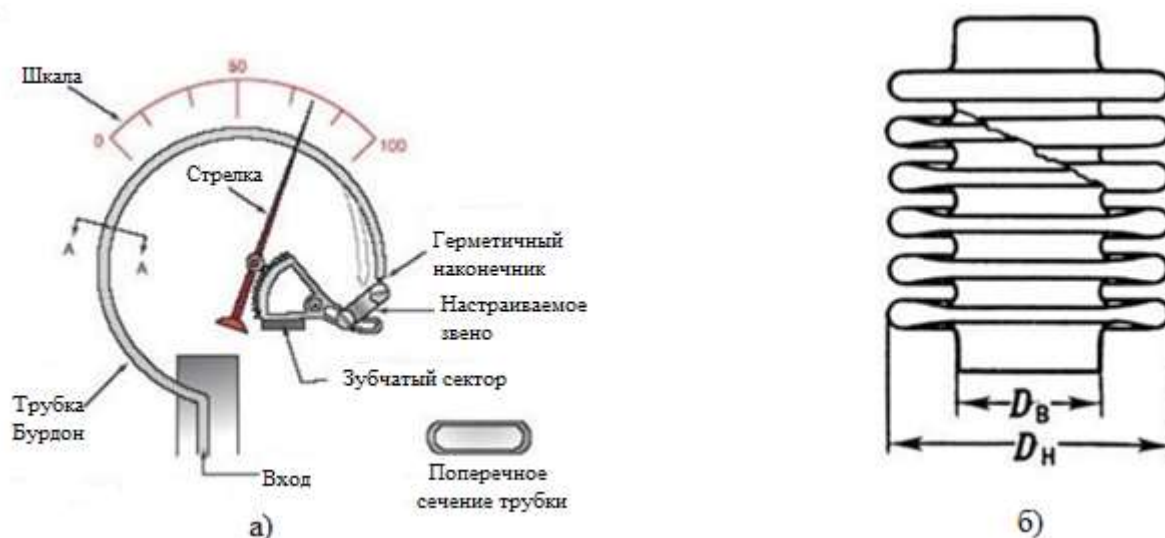


Рисунок 1.1 – Трубка Бурдона (а) и сиффон (б)

Итак, ЧЭ преобразует давление жидкости или газа в перемещение. Перемещение ЧЭ создает силу, которая в свою очередь вызывает перемещение соленоида в магнитной катушке (индуктивный датчик), перемещение контакта по поверхности резистора потенциометра, смещение обкладки конденсатора (емкостной датчик) и т.д. При сбросе давления трубка возвращается в исходное состояние. Величина невозврата называется упругим гистерезисом и является источником неустранимой погрешности прибора. Очевидно, что чем больше величина перемещения, тем больше значение выходного сигнала. Вместе с тем, чем больше перемещение, тем больше упругое последствие материала ЧЭ, а значит, и нелинейность, гистерезис, временная нестабильность. Преимуществами этой схемы преобразования являются простота реализации измеряемым давлением и относительная несложность изготовления датчиков невысокой точности.

Вторую группу (современную) образуют сенсоры, в которых давление преобразуется в деформацию упругой мембраны. Давление так и остается распределенной силой, а ЧЭ является вся поверхность мембраны, прогибающейся под действием давления. [3]

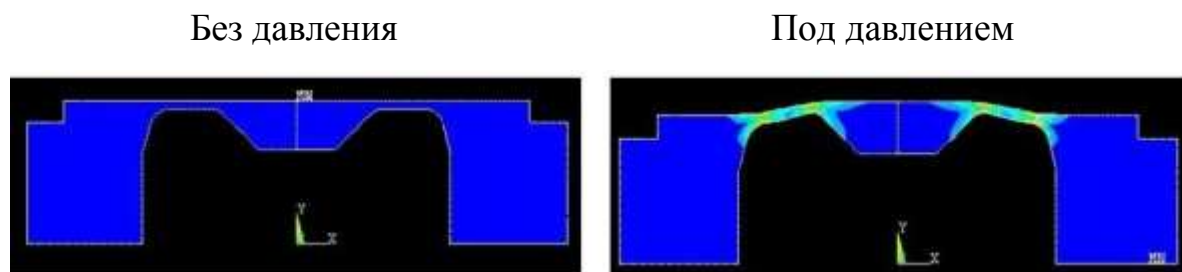


Рисунок 1.2 – Схема типичного кремниевого ЧЭ

1.1.2 Первичные преобразователи температуры

Температура – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы.

Температура является основной величиной, которую чаще всего измеряют на практике. Соответствующим измерительным устройством называют термометром, если речь идет о невысоких температурах, или пирометрами, если речь идет о высоких температурах.

Первичные измерительные преобразователи температуры по принципу действия разделяются на:

- термометры контактные волюметрические, в которых измеряется изменение объема жидкости или газа с изменением температуры;
- термометры дилатометрические, в которых о температуре судят по удлинению различных материалов при изменении температуры. В ряде случаев датчиком служит пластинка, изготовленная из двух металлов с разными температурными коэффициентами расширения и изгибающаяся при нагревании или охлаждении;

– термопары, представляющие из себя два разнородных, спаянных по концам проводника. При наличии разности температур спаев в термопаре возникает электрический ток, который и служит мерой изменения температуры. Температура измеряется по термоЭДС или по величине силы тока термопары;

– термосопротивления – термометры, принципом действия которых является измерения сопротивления проводника с изменением температуры.

Неконтактные методы, в основе которых лежит регистрация собственного теплового или оптического излучения, можно представить следующими направлениями:

– радиометрия – измерение температуры по собственному тепловому излучению тел. Для невысоких и комнатных температур это излучение в инфракрасном диапазоне длин волн;

– тепловидение – радиометрическое измерение температуры с пространственным разрешением и с преобразованием температурного поля в телевизионное изображение иногда с цветовым контрастом. Позволяет измерять градиенты температуры, температуру среды в замкнутых объемах, например, температуру жидкостей в резервуарах и трубах;

– пирометрия – измерение температуры самосветящихся объектов: пламен, плазмы, астрофизических объектов. Используется принцип сравнения либо яркости объекта со стандартом яркости (яркостный пирометр и яркостная температура), либо цвета объекта с цветом стандарта (цветовой пирометр и цветовая температура), либо тепловой энергии, излучаемой объектом, с энергией, испускаемой стандартным излучателем (радиационный пирометр и радиационная температура). [4]

1.1.2.1 Термоэлектрические преобразователи. Области применения термопар

Принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте. Если соединить два разнородных металла при температуре выше абсолютного нуля, то между ними появится разность потенциалов (термоЭДС или контактная разность потенциалов), которая является функцией температуры спаев (соединения) (Рисунок 1.3 А). Для того чтобы сформировать два спаев (см. рисунок 1.3 Б) соединим между собой два термопарных провода с обоих концов. Если оба спаев находятся при различных температурах, то в цепи появляется результирующая ЭДС и потечет ток, определяемый величиной ЭДС и полным сопротивлением цепи (см. рисунок 1.3 В). Если разорвать один из проводов, то напряжение в точках разрывов будет равно результирующему термоЭДС в цепи, и если измерить это напряжение, то можно использовать его для расчета разности температуры двух спаев (см. рисунок 1.3 Г). Всегда необходимо помнить, что термопара измеряет разницу температур двух спаев, а не абсолютную температуру одного из спаев. Можно измерять температуру на измерительном спае только тогда, когда известна температура другого спаев (называемого часто опорным или холодным спаем).

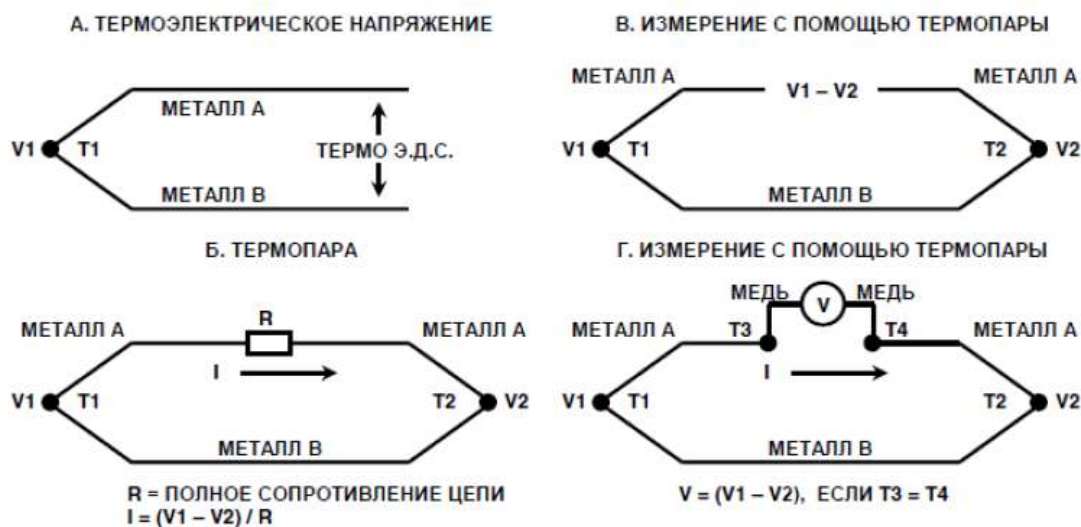


Рисунок 1.3 – Основы работы термопары

Термопары дают на выходе напряжение, хотя и достаточно малой величины, и не требуют внешнего возбуждения. Как показано на рисунке 1.3 Г, для измерения используются два спая (T1 – измерительный спай и T2 – опорный спай). Если T1=T2, то V1=V2 и выходное напряжение V=0. Выходное напряжение термопар часто определяют по отношению к температуре опорного спая при 0 °С (откуда следует термин холодный спай или спай точки таянья льда), таким образом, термопара дает напряжение 0 В при температуре измерительного спая 0 °С. Для того чтобы сохранить высокую точность измерения системы, опорный спай должен находиться при хорошо известной температуре (необязательно при 0 °С). В настоящее время для этих целей используют электронику. Другой температурный датчик (часто полупроводниковый датчик, а иногда термистор) измеряет температуру холодного спая и его сигнал используется для введения напряжения в измерительную цепь термопары. Сигнал компенсирует разницу между действительной температурой холодного спая и ее идеальной величиной (0 °С), как показано на рисунке 1.4.

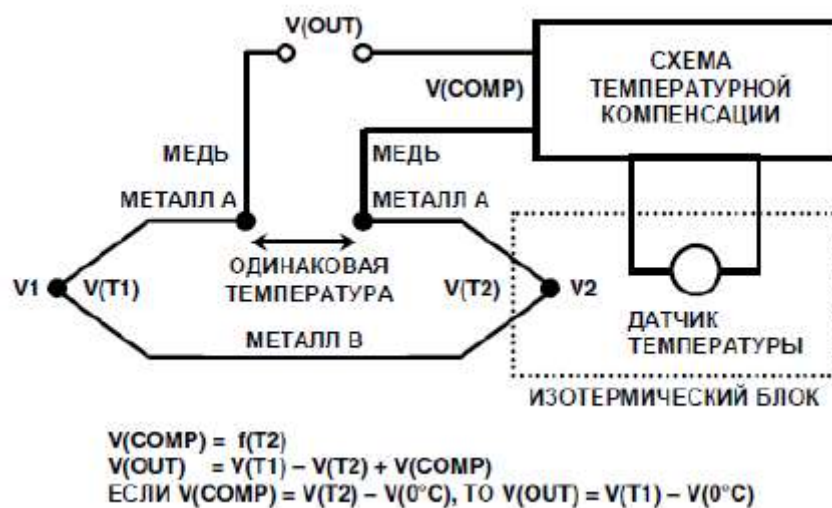


Рисунок 1.4 – Использование датчика температуры для компенсации холодного спая

В идеальном случае, компенсирующее напряжение должно точно соответствовать требуемой разнице напряжений, поэтому на схеме дается напряжение как функция $f(T_2)$, а не $K \times T_2$, где K – константа. На практике, поскольку температура холодного спая редко отличается от $0\text{ }^\circ\text{C}$ более чем на несколько десятков градусов, и обычно меняется меньше, чем на $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, от номинальной величины, линейная аппроксимация ($V=K \times T_2$) является достаточно точной и часто используемой функцией.

При использовании электронной компенсации холодного спая, общепринято не делать дополнительного спая термопары, вместо этого необходимо устанавливать свободные концы термопары в специальный изотермический блок. Микроконтроллер (далее – МК) выполняет арифметические действия по компенсации температуры холодного спая и линеаризации характеристики термопары. [5]

У любой пары однородных проводников значение результирующей термоЭДС зависит только от природы проводников и от температуры спаев и не зависит от распределения температуры вдоль проводников. Термоэлектрический контур можно разомкнуть в любом месте и включить в него один или несколько разнородных проводников. Если все появившиеся при этом места соединений находятся при одинаковой температуре, то результирующая термоЭДС, действующая в контуре, не изменяется. Это используется для измерения термоЭДС термопары. Создаваемая термопарами ЭДС сравнительно невелика: она не превышает 8 мВ на каждые $100\text{ }^\circ\text{C}$ и обычно не превышает по абсолютной величине 70 мВ .

Термопары бывают разные и в зависимости от типа используемых материалов имеют различный диапазон рабочих температур. Они позволяют измерять температуру в диапазоне от -200 до $+2200\text{ }^\circ\text{C}$. Для измерения температур до $+1100\text{ }^\circ\text{C}$ используют в основном термопары из благородных металлов, для измерения температур от $+1100$ до $+1600\text{ }^\circ\text{C}$ – термопары из благородных металлов и сплавов платиновой группы, а для измерения более высоких температур – термопары из жаростойких сплавов (на основе вольфрама). Для измерения комнатной

температуры подходят термопары типа К, Е, Т. Наибольшее распространение для изготовления термоэлектрических преобразователей получили платина, платинородий, хромель, алюмель.

Постоянная времени термоэлектрических преобразователей зависит от конструкции и качества теплового контакта рабочего спая термопары со средой и для промышленных термопар исчисляется в минутах. Однако известны конструкции малоинерционных термопар, у которых постоянная времени лежит в пределах от 5 до 20 секунд и ниже.

Термопары широко применяют для измерения температуры различных объектов, а также в автоматизированных системах управления и контроля. Измерение температур с помощью термопар получило широкое распространение из-за надежной конструкции датчика, возможности работать в широком диапазоне температур и дешевизны. Широкому применению термопары обязаны в первую очередь своей простоте, удобству монтажа, возможности измерения локальной температуры. Они гораздо более линейны, чем многие другие датчики, а их нелинейность на сегодняшний день хорошо изучена и описана в специальной литературе. К числу достоинств термопар относятся также малая инерционность, возможность измерения малых разностей температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до +2200 °С) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры на уровне $\pm 0,01$ °С. Они вырабатывают на выходе термоЭДС в диапазоне от микровольт до милливольт, однако требуют стабильного усиления для последующей обработки. Они так же требуют принятия мер по компенсации температуры холодного спая. [6]

1.1.2.2 Термосопротивления

Термопреобразователи сопротивления представляют собой более сложные приборы, нежели простые резисторы. Их принцип работы основан на изменении электрического сопротивления полупроводниковых материалов либо металлов/сплавов под воздействием температуры окружающей среды. Для промышленных приборов выведены номинальные статические характеристики, на которые ориентируются производители.

Термосопротивления обширно используются в промышленности и их применение в той или иной среде зависит главным образом от корпуса прибора:

- нефтегазовый, топливно-энергетический комплекс;
- машиностроение, автомобильная индустрия и спецтехника;
- химическая промышленность, строительство;
- сфера образования;
- химические соединения;
- вода, газ, пар;
- жидкие, твердые, сыпучие продукты
- среды температурой от -200 до + 600 °С (в среднем), требующие контроля температуры для систем автоматического управления (далее – АСУ);
- прочие АСУ.

Назначение термопреобразователей сопротивления:

- высокоточное (до тысячных долей градуса) и высокостабильное измерение температуры среды в средних температурных диапазонах (-200...+600 в большинстве случаев) с передачей сигнала в информационно-управляющую систему (используются 2, 3, и 4-х проводные схемы снятия данных);
- лабораторные стенды, эталонные измерения температур;
- унифицированные системы, требующие высокой взаимозаменяемости датчиков.

Основные достоинства термопреобразователей сопротивления:

- взаимозаменяемость (датчики стандартизированы по номинальным статическим характеристикам);
- высокая точность, а также стабильность измерений (может достигать до тысячных) и возможность исключения сопротивления линии связи из факторов, влияющих на точность (при 3 или 4-проводной схеме);
- близость характеристик к линейным (почти линейная зависимость).

Недостатки в основном исходят из принципа работы:

- требуется источник питания (тока) для запитывания резистора;
- дороговизна относительно простых термопар;
- малый в сравнении с термопарами диапазон измерений. [7]

1.1.3 Первичные преобразователи влажности

Влажность – это параметр, характеризующий содержание водяного пара в воздухе.

Влажность может измеряться несколькими из возможных величин:

- для определения влажности, как воздуха, так и других газов, измерения проводятся в граммах на кубометр, когда речь об абсолютном значении влажности, либо в единицах RH, когда речь о влажности относительной;
- для измерения влажности твердых тел или в жидкостях подходят измерения в процентах от массы исследуемых образцов;
- для определения влажности плохо смешиваемых жидкостей, единицами измерения будут служить ppm (сколько частей воды приходится на 1000000 частей веса образца).

1) Емкостной датчик влажности

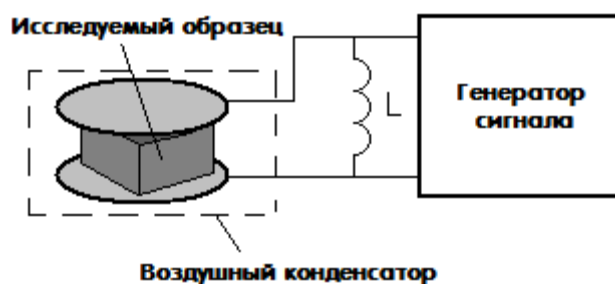


Рисунок 1.5 – Емкостной датчик влажности

Емкостные гигрометры, в самом простом случае, представляют собой конденсаторы с воздухом в качестве диэлектрика в зазоре. Известно, что у воздуха диэлектрическая проницаемость непосредственно связана с влажностью, а изменения влажности диэлектрика приводят и к изменениям в емкости воздушного конденсатора.

Более сложный вариант емкостного датчика влажности в воздушном зазоре содержит диэлектрик, с диэлектрической проницаемостью, могущей сильно меняться под влиянием на него влажности. Данный подход делает качество датчика лучше, чем просто с воздухом между обкладками конденсатора.

Второй вариант хорошо подходит для проведения измерений относительно содержания воды в твердых веществах. Исследуемый объект размещается между обкладками такого конденсатора, к примеру, объектом может быть таблетка, а сам конденсатор присоединяется к колебательному контуру и к электронному генератору, при этом измеряется собственная частота полученного контура, и по измеренной частоте «вычисляется» емкость, полученная при внесении исследуемого образца.

Третий тип емкостного датчика влажности – это емкостный тонкопленочный гигрометр. Он включает в себя подложку, на которую нанесены два гребенчатых электрода. Гребенчатые электроды играют в данном случае роль обкладок. С целью термокомпенсации в датчик дополнительно вводят еще и два термодатчика.

2) Резистивный датчик влажности

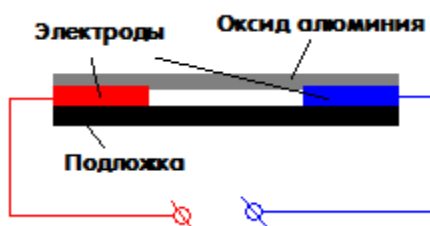


Рисунок 1.6 – Резистивный датчик влажности

Такой датчик включает в себя два электрода, которые нанесены на подложку, а поверх на сами электроды нанесен слой материала, который отличается достаточно малым сопротивлением, сильно, однако, меняющимся в зависимости от влажности.

3) Термисторный датчик влажности

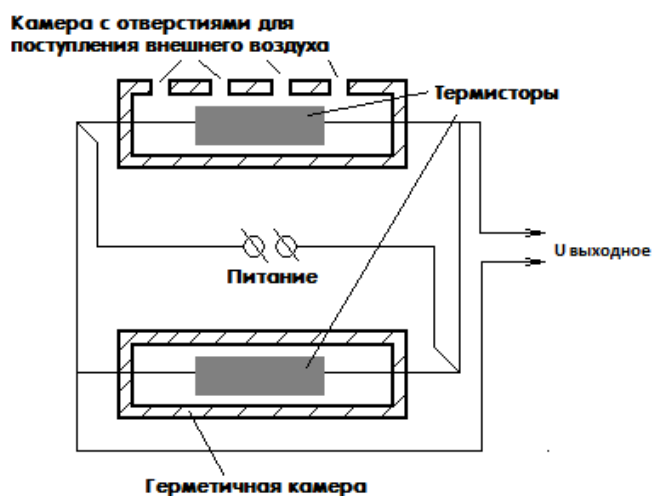


Рисунок 1.7 – Термисторный датчик влажности

Термисторный гигрометр состоит из пары одинаковых термисторов (термистор – это нелинейный электронный компонент, сопротивление которого сильно зависит от его температуры).

Один из включенных в схему термисторов размещают в герметичной камере с сухим воздухом. А другой – в камере с отверстиями, через которые в нее поступает

воздух с характерной влажностью, значение которой требуется измерить. Термисторы соединяют по мостовой схеме, на одну из диагоналей моста подается напряжение, а с другой диагонали считывают показания.

4) Оптический (конденсационный) датчик влажности

Этот вид датчиков наиболее точен. В основе работы оптического датчика влажности – явление связанной с понятием «точка росы». В момент достижения температурой точки росы, газообразная и жидкая фазы – в условии термодинамического равновесия.

Оптический датчик влажности обладает самой высокой точностью, недостижимой другими типами датчиков, плюс отсутствие гистерезиса. Недостаток – самая высокая цена из всех, плюс большое потребление электроэнергии. К тому же необходимо следить за тем, чтобы зеркало было чистым.

5) Гигрометр электронный

Принцип работы электронного датчика влажности воздуха основан на изменении концентрации электролита, покрывающего собой любой электроизоляционный материал. Существуют такие приборы с автоматическим подогревом с привязкой к точке росы.

Часто точка росы измеряется над концентрированным раствором хлорида лития, который является очень чувствительным к минимальным изменениям влажности. Для максимального удобства такой гигрометр зачастую дополнительно оборудуют термометром. Этот прибор обладает высокой точностью и малой погрешностью. Он способен измерять влажность независимо от температуры окружающей среды. [8]

1.2 Выходные беспроводные интерфейсы цифровых датчиков

1.2.1 Технология ZigBee

В 2001 году группа разработчиков из компаний Eaton Corporation, Motorola Labs и Qualcomm Inc. начала совместную работу по созданию нового стандарта IEEE 802.15.4 – Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPAN), определяющего технологию и принципы функционирования низкоскоростных беспроводных сетей. Такие сети предназначались для недорогих беспроводных коммуникационных устройств с малым энергопотреблением, работающих на небольшой дальности.

Стандарт IEEE 802.15.4 описывает только самые нижние, физический и канальный уровни передачи данных по радиоканалу, а имя ZigBee означает технологию в общем, включая и физический уровень, и надлежащий логический уровень – уровень сетевого программного обеспечения (далее ПО) (организацию структуры сети, обеспечение безопасности, поддержку профилей и т.п.). В дальнейшем эти понятия смешались и стали почти синонимами.

Первые практические результаты работы появились уже в феврале 2003 года, когда разработчики из Korean Advanced Institute of Science and Technology продемонстрировали первый прототип радиоустройства, работающего в стандарте IEEE 802.15.4. Стоимость передатчика размером $8,75 \text{ мм}^2$ составила меньше доллара. Потребление не превышало 21 мВт в режиме приема и 30 мВт в режиме передачи при $U_{\text{пит}}=1,8\text{В}$. Радиоустройство представляло собой систему на кристалле, выполненную по многослойной технологии, и включало в себя приемопередатчик, процессор с собственной памятью, антенну и батарейку. [9]

Первый из известных вариантов интерпретации названия технологии ZigBee – это сочетание Zigzag и Bee: передача сообщений пчелами в улье с помощью телодвижений зигзагообразной формы. Ранее стандарт был также известен под

именами «HomeRF lite», «Firefly» и «RF-Easy Link». Иногда ZigBee считают комбинацией HomeRF Lite и спецификации стандарта 802.15.4, разработанной IEEE, то есть технология имеет явно выраженное американское происхождение.

Решаемые WPAN задачи имеют специфические особенности, позволяющие рассматривать радиосети данного типа отдельно от других беспроводных технологий. Во-первых, в самом названии «персональные» подчеркивается их применение отдельным человеком, семьей, с меньшей вероятностью – группой людей. Отсюда вытекает ряд требований, таких, как малые габариты, пониженное потребление электропитания, небольшие дальности связи, упрощенная инсталляция, не требующая специальной подготовки, и ряд других. Это сектор рынка, где пользователь технологии платит из своего кармана. Во-вторых, отметим, что спектр скоростей передачи данных здесь достаточно узок и определяется конкретным применением технологии – от включения освещения и передачи сигнала о задымлении до связи ПК с клавиатурой и мышью (мультимедийная передача между двумя объектами в такой сети не предполагается). Наконец, эволюция персональных сетей показала, что существуют оптимальные комбинации параметров элементов сети. Например, устройство может применяться редко, но на относительно большую дальность, или, наоборот, часто и на малую дальность. Можно назвать и другие варианты различных сочетаний потребительских требований. Это привело к тому, что создание универсальной технологии «на все случаи применения сетей персональной связи» оказалось сложным и даже ненужным делом. Для гигантов электронной индустрии данный факт явился сигналом для начала гонки за захват рынков сбыта и развитие соответствующих технологий. Для разработки спецификаций стандарта и продвижения продукции на рынок был создан ZigBee Alliance – его целью стала разработка стандарта беспроводной связи, который был бы недорогим и более функциональным именно в данной области применения.

В этот альянс вошли Philips, Motorola, Honeywell, Invensys, Mitsubishi и другие производители электроники и оборудования, общим числом более пятидесяти (стандарт Bluetooth поддерживает свыше 3000 организаций). [10]

1.2.1.1 Назначение технологии

Технология ZigBee позиционировалась своими авторами для применения в системах контроля и управления, которые передают небольшие объемы данных, например, контроллеры освещенности помещения, термостаты, кондиционеры, пульты дистанционного управления, беспроводные клавиатуры и мыши для компьютера, датчики дыма и углекислого газа, устройства вызова помощи для пожилых людей и детей, устройства домашней автоматизации и т.п.

Таким образом, стандарт ZigBee ориентирован, главным образом, на использование в качестве средства связи между автономными приборами и оборудованием управления. Отсюда следуют и предъявляемые к технологии требования, которые были реализованы:

- поддержка сетей с несколькими сотнями функционирующих устройств (до 255 подключенных устройств);
- обеспечение в реальных домашних условиях среднего радиуса действия сетей порядка 30 метров;
- простота инсталляции и применения.

Для сравнения технология Wi-Fi (IEEE 802.11b) поддерживает 50 устройств без потери производительности сети, WirelessUSB и Bluetooth (основные конкуренты ZigBee) – по семь элементов в каждой пикосети. С другой стороны, дальность действия в домашних условиях для Wi-Fi составляет 100 метров, а для WirelessUSB и Bluetooth – до 10 метров. Таким образом, потребительская ниша новой технологии очевидна – частичная конкуренция с упомянутыми технологиями и полная замена проводных и радиопроводных систем аналогичного назначения (LonWorks, HomePNA и др.).

1.2.1.2 Архитектура стандарта

Традиционно разработчики стандартов технологий беспроводной связи особое внимание уделяют двум-трем нижним уровням семиуровневой модели открытых систем ISO. На рисунке 1.8 представлена архитектура стандарта, где (снизу вверх) – физические уровни (PHY) диапазонов 868 МГц (Европа) и 915 МГц (США), а также физический уровень общего диапазона 2,4 ГГц. Над ними расположен транспортный уровень, определяющий разделение радиосигналов при их доступе к устройству сети.

Нижние уровни определяются стандартом IEEE, средняя часть находится целиком в ведении ZigBee Alliance (Рисунок 1.9), однако пользуется технологией пользователь (customer), который диктует потребительские свойства эксплуатируемых устройств.

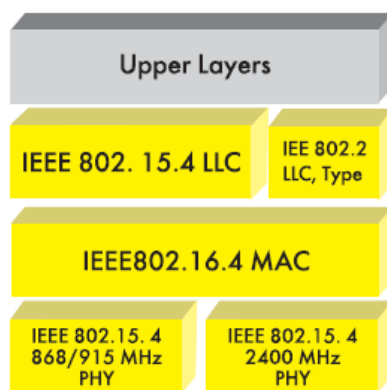


Рисунок 1.8 – Архитектура стандарта

Распределение «зон ответственности» разработчиков и потребителей технологии выглядит следующим образом (см. рисунок 1.9).

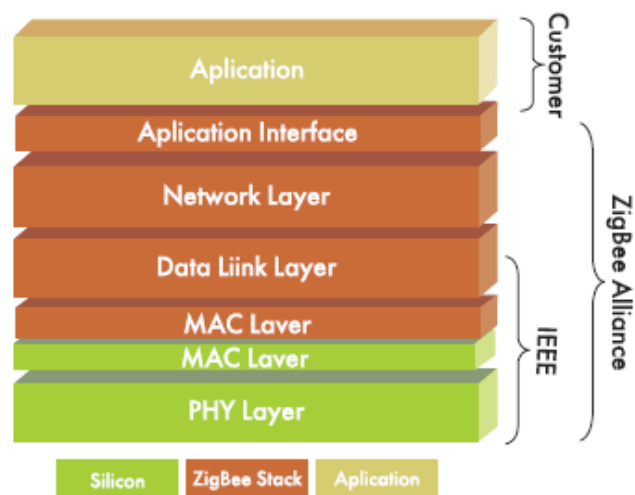


Рисунок 1.9 – Распределение слоев семиуровневой модели

Доступ к среде передачи в данной технологии типа CSMA-CA – (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) – множественный доступ с прослушиванием несущей и избеганием коллизий. Данный вид доступа является традиционным для стандартов RadioEthernet.

Структура пакета данных представлена на рисунке 1.10. Технические параметры технологии (особенно скорость передачи данных) отличаются для различных диапазонов частот.

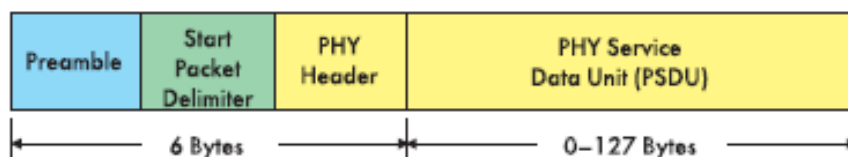


Рисунок 1.10 – Структура пакета данных

Поля пакета (слева направо): преамбула (32 бита) используется для синхронизации пакета, маркер пакета (8 битов) определяет один из трех применяемых типов пакетов, заголовок (8 битов) определяет длину поля данных, PSDU – поле данных от 0 до 127 байтов.

- 1) В диапазоне 2,4 ГГц (универсальном в мире):
 - информационная скорость передачи 250 кбит/с;

– техническая скорость передачи 62,5 кбод при кодировании 4 бит/символ;

2) В диапазоне 868 МГц (Европа) или 915 МГц (США):

– информационная скорость передачи 20 кбит/с;

– техническая скорость передачи 20 кбод при кодировании 1 бит/символ.

Встречаются данные о достижении скорости передачи данных 40 кбит/с в данном диапазоне. Для всех вариантов вид модуляции несущего колебания одинаков – относительная фазовая манипуляция; для передачи используются нелицензируемые диапазоны частот.

На рисунке 1.11 представлены частотные планы для различных диапазонов несущих колебаний.

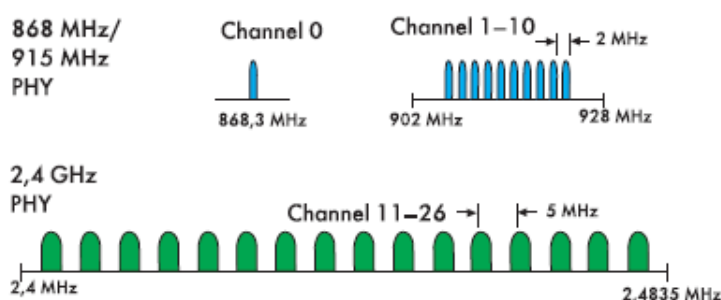


Рисунок 1.11 – Частотные планы радиосигналов в различных диапазонах несущего колебания

1.2.1.3 Физический уровень сенсорных сетей ZigBee

В соответствии с технологией ZigBee сети беспроводной передачи включают в свой состав устройства двух классов – полнофункциональные (Full function device – FFD) и устройства с ограниченной функциональностью (Reduced function device – RFD). Устройства первого типа обеспечивают расширенные возможности по построению топологии сети, могут выполнять роль координатора работы сети (главной станции радиосети) и могут обмениваться сообщениями с любой другой станцией сети. Устройства второго типа могут работать только в сети

звездообразной формы, не могут выполнять функции координации работы сети обмена данными и имеют упрощенную конструкцию. Последнее свойство – изначально заложенное в идеологию технологии неравенство возможностей устройств при их работе в единой сети – как раз и позволяет обеспечить их чрезвычайно низкое энергопотребление. Если для устройств Bluetooth с точки зрения энергопотребления характерен подход, аналогичный сотовой телефонии – периодическая подзарядка батарей, то здесь ориентация осуществлена в направлении длительного использования источников однократного применения (пальчиковых элементов) для многочисленных абонентских устройств и домашней электросети – для координатора.

Помимо физического разделения в ZigBee-сети существует еще и функциональное разделение устройств по типам:

- координатор – устройство, которое инициирует развертывание сети, управляет узлами сети, хранит сетевую информацию;
- маршрутизатор – устройство, участвующее в обмене данными в качестве промежуточного звена между двумя узлами сети;
- конечные устройства – вершины ZigBee-сети, отвечающие за сбор и прием данных – это датчики, контроллеры исполнительных механизмов.

Любая сеть стандарта IEEE 802.15.4 обязана иметь, по крайней мере, одно полнофункциональное устройство, выступающее в роли координатора сети (PAN coordinator). Основные отличия между полнофункциональным и функционально ограниченным устройством приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Отличия полнофункционального и функционально ограниченного устройства

Функционально ограниченное устройство	Полнофункциональное устройство
Применяется только при соединении «звезда»	Возможен любой тип соединения
Не может использоваться как координатор сети	Может использоваться как координатор сети

Продолжение таблицы 1.1

Функционально ограниченное устройство	Полнофункциональное устройство
Обмен данными только с полнофункциональным устройством	Обмен данными с любым типом устройств
Требует минимальных объемов ОЗУ и ПЗУ для реализации частичной поддержки стандарта IEEE 802.15.4	Требует больший объем ОЗУ и ПЗУ для полной реализации стандарта IEEE 802.15.4
Основной способ питания – от батареи	Основной способ питания – от сети

Функционально ограниченные устройства обычно являются самыми многочисленными узлами сети. Для них достаточно минимальных объемов памяти, и они способны выполнять лишь простейшие функции: поиск доступной сети, пересылка и получение данных. Такие устройства дешевле полнофункциональных, более компактны и экономичны. Благодаря возможности «засыпания» в периоды отсутствия обмена данными, функционально ограниченные устройства часто питаются от батарей или аккумуляторов.

Существенно отличаются для данных технологий и временные параметры алгоритмов работы сетей: для Bluetooth время выхода устройства из «спящего» режима составляет около трех секунд, а для ZigBee – 15 мс; время доступа подчиненного устройства к среде передачи – 15 мс и 2 мс соответственно; даже длительность «прописывания» нового элемента в сети существенно различна – более 3 с для Bluetooth и менее 30 мс для ZigBee.

Типичные значения временных параметров, связанных с инициированием ZigBee-устройств в сети, временем «пробуждения» (перехода от спящего состояния в активное) в сравнении с Bluetooth-устройствами приведены в таблице 1.2. Длительное время активации определяется необходимостью обнаружения координатором сети нового появившегося устройства и внесения его в собственную базу данных, а также о выдаче разрешения на начало обмена.

Таблица 1.2 – Типичные временные параметры устройств ZigBee и Bluetooth

Параметр	ZigBee	Bluetooth
Время активации нового устройства в сети	30 мс	не менее 3 с
Время перехода устройства из «спящего» состояния в «активное»	15 мс	3 с
Время доступа к каналу	15 мс	2 мс

Одним из главных достоинств технологии является сверхдлительное использование автономных источников питания. Продолжительность работы от батареи – один из важнейших параметров, которому в спецификации IEEE 802.15.4 уделено внимание. Время автономной работы датчика может насчитывать как несколько месяцев, так и несколько лет. Все зависит от того, насколько хорошо используются внутренние режимы энергосбережения и в какой мере реализованы сетевые возможности экономии энергии. Фактически эти данные подчеркивают то, что сравниваемые технологии рассчитаны на применение в различных сферах приложений.

Дальность передачи данных у ZigBee определяется тремя факторами: чувствительностью приемника, мощностью передатчика и наличием помех (стен, других источников радиосигнала). Если последний фактор – величина непредсказуемая и определяется условиями эксплуатации, то насчет первых двух параметров стандарт дает четкие рекомендации. Значения мощности передатчиков и чувствительности приемников в сравнении с соседствующими беспроводными стандартами приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Рекомендуемые характеристики передатчика и приемника ZigBee

Стандарт	Чувствительность приемника, дБм	Мощность передатчика, дБм	Полоса пропускания приемника, МГц
Wi-Fi	-76	14	22
Bluetooth	-70	0	1
IEEE 802.15.3	-75	8	15
ZigBee	-85	0	2

Устройства ZigBee обладают одним из самых маломощных передатчиков в сочетании с самым чувствительным из всех конкурентов приемником. Такая комбинация дает очевидный положительный эффект – значительно меньшую степень облучения людей, находящихся в зоне работы сети. Таким образом, ZigBee можно считать одним из самых безопасных и экологичных на сегодня беспроводных стандартов.

1.2.1.4 Топология сетей ZigBee

На рисунке 1.12 представлена структура сети типа «звезда».

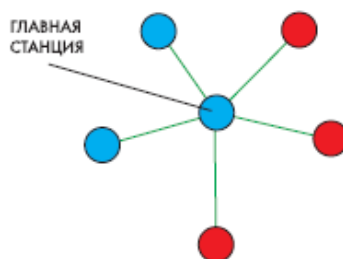


Рисунок 1.12 – Структура типа «звезда»

В центре находится станция первого типа, выполняющая функции главной станции сети. Она связана со станциями обоого типа, являющимися подчиненными

Задачи главной станции сети:

- передает сетевые маркеры;
- объединяет абонентские устройства в единую сеть;
- управляет абонентскими устройствами;
- хранит информацию о состоянии сети;
- организует передачу данных между тяготеющими элементами сети;
- получает питание от электросети;
- постоянно находится в режиме приема.

В свою очередь, подчиненная станция сети:

- принимает и передает данные в соответствии с выполняемым приложением;

- определяет, имеются ли данные, которые необходимо передать;
- запрашивает, в случае необходимости, необходимые данные от координатора сети;
- обычно обеспечивается электропитанием от автономной батареи;
- может находиться в спящем режиме длительное время.

Станции первого типа могут также создавать однородные структуры вида, представленного на рисунке 1.13.

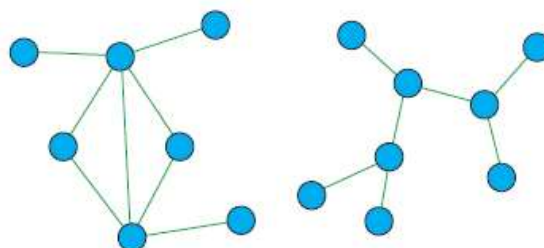


Рисунок 1.13 – Структуры сетей однородного типа

Подобно Bluetooth, технология позволяет строить структуры смешанного типа (Рисунок 1.14).

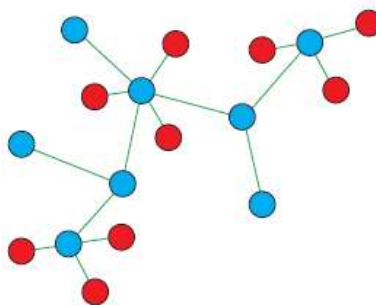


Рисунок 1.14 – Структуры смешанного типа

В зависимости от вида структуры сети меняется и адресация ее элементов. Применяются следующие способы адресации: сеть + идентификатор устройства (звездообразная структура), идентификаторы источника/получателя сообщений (однородная структура), дерево кластеров источников/получателей сообщений + идентификатор устройства (структуры смешанного типа).

Алгоритмы процесса передачи данных оптимизированы под вид входящего трафика, который может иметь следующие временные параметры:

- данные, передаваемые через определенные промежутки времени в различных направлениях (датчики, сенсоры, телеметрия);
- данные, передаваемые через случайные интервалы времени в различных направлениях (управление освещением, оконными шторами);
- случайная длительная прерывистая передача данных в одном направлении (работа мыши или клавиатуры ПК).

1.2.1.5 Развитие элементной базы технологии

Технология предъявляет следующие требования к стеку протоколов и устройствам его реализации:

- 8-разрядный микропроцессор, например 80с51;
- память для хранения полного стека протоколов координатора сети менее 32 кбайт;
- память для хранения стека протоколов абонентского устройства около 4 кбайт;
- главные станции (координаторы сети) требуют наличия внешней ОЗУ для хранения базы данных обо всех элементах сети, таблицы транзакций и таблицы связности сети.

Программно-аппаратное решение устройств ZigBee, представленное Motorola, соответствует уровням РНУ/МАС стандарта (первый и второй уровень по модели OSI), работает в диапазоне 2,4 ГГц и обеспечивает скорость передачи данных до 250 кбит/с. Его физический уровень включает в себя радиомодем и последовательный интерфейс для связи с контроллером, а программный уровень – управляющую программу, которая может встраиваться в прошивку контроллера устройства. Система предусматривает питание напряжением от 2 до 3,6 В. Для защиты данных от несанкционированного перехвата используется алгоритм AES со 128-битным ключом.

На рисунке 1.15 представлена структурная схема автономного датчика,

связанного с главной станцией сети по технологии ZigBee. Здесь:

1) Sensor – датчик.

2) 8-bit Microcontroller – 8-разрядный контроллер, который включает в себя: Sensor Driver – драйвер датчика, Sensor App – программу, реализующую заданное приложение; ZigBee NWK – 15.4 MAC-программу формирования кодированных посылок, обеспечивающих доступ к среде передачи в соответствии со стандартом IEEE802.15.4.

3) RF Data Modem – радиомодем, который включает в себя: SPI/Control – устройство управления последовательным интерфейсом; TX Baseband – устройство управления радиопередающей частью; RX Baseband – устройство управления радиоприемной частью; RX Analog/RF – радиопередатчик, TX Analog/RF – радиоприемник, Freq Gen – синтезатор рабочих частот, Power Management – источник электропитания.

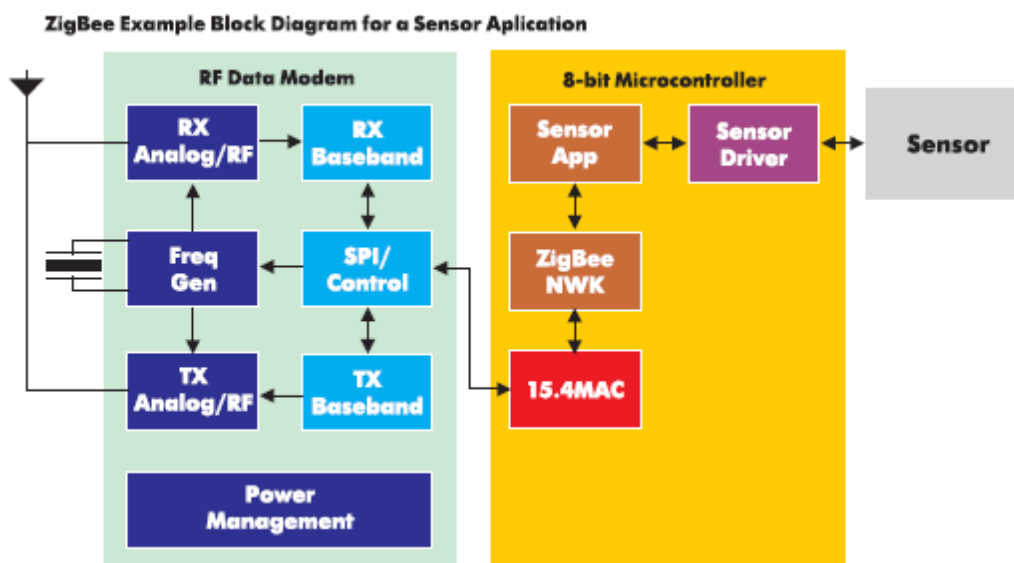


Рисунок 1.15 – Блок-диаграмма устройства, обеспечивающего передачу информации от датчика

Модуль имеет усилитель мощности (1 мВт), чувствительность радиоприемника равна – 90 дБ·мВт при коэффициенте ошибок 1 %. Источник питания – щелочная батарейка напряжением 2–3,6 В.

AMI Semiconductor также в рамках выставки Global Wireless Solutions Open House представила трансивер ASTRX1, спонсором разработки которого выступил ZigBee Alliance. ASTRX1 построен по технологии SoC (система-на-чипе) на основе платформы ASTRIC (Application Specific Transmittand Receive IC). Трансивер способен работать в частотных диапазонах 868–870 МГц и 902–928 МГц, заявленная скорость передачи и приема данных – 40 кбит/с. Напряжение питания ASTRX1 составляет $3,0 \pm 0,3$ В, размеры составляют 9×9 мм.

1.3 Методы АЦП преобразования и их реализация

В настоящее время известно большое число методов преобразования напряжение – код. Эти методы существенно отличаются друг от друга потенциальной точностью, скоростью преобразования и сложностью аппаратной реализации. На рисунке 1.16 представлена классификация аналого-цифровых преобразователей (далее – АЦП) по методам преобразования.

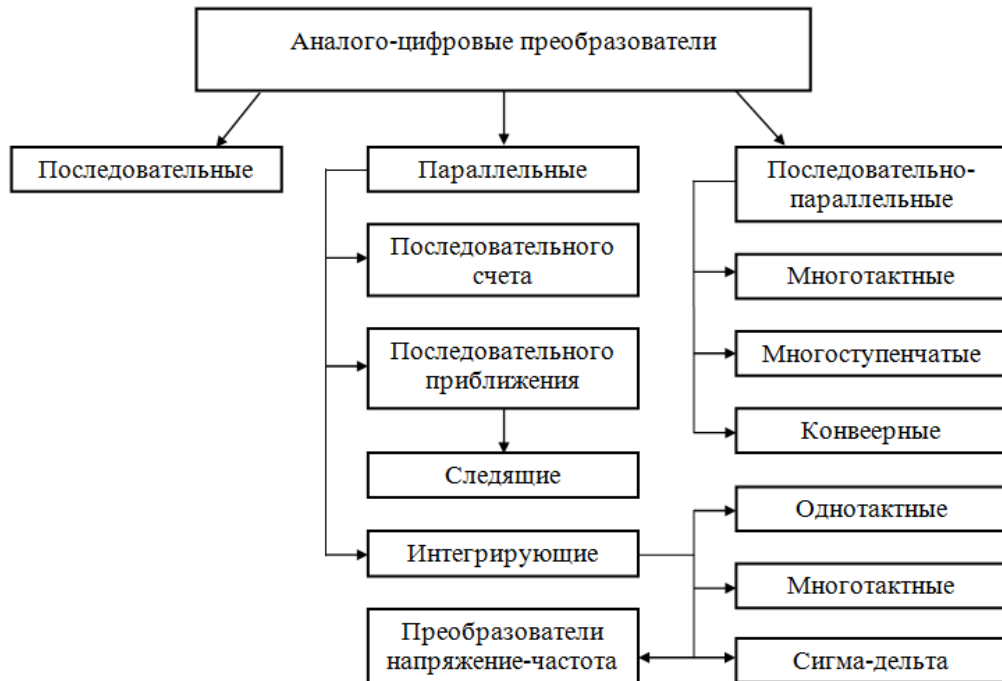


Рисунок 1.16 – Классификация АЦП

В основу классификации АЦП положен признак, указывающий на то, как во времени разворачивается процесс преобразования аналоговой величины в цифровую. В основе преобразования выборочных значений сигнала в цифровые эквиваленты лежат операции квантования и кодирования. Они могут осуществляться с помощью либо последовательной, либо параллельной, либо последовательно-параллельной процедур приближения цифрового эквивалента к преобразуемой величине.

1.3.1 Параллельные АЦП

АЦП этого типа осуществляют квантование сигнала одновременно с помощью набора компараторов, включенных параллельно источнику входного сигнала. На рисунке 1.17 представлена реализация параллельного метода аналого-цифрового преобразования (А/Ц-преобразования) для 3-разрядного числа.

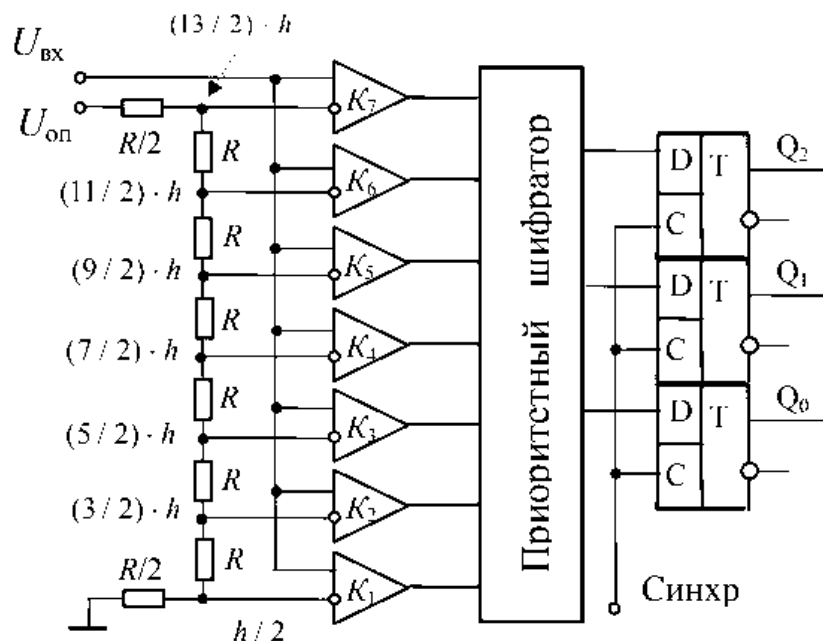


Рисунок 1.17 – Схема параллельного АЦП

С помощью трех двоичных разрядов можно представить восемь различных чисел, включая нуль. Необходимо, следовательно, семь компараторов. Семь соответствующих эквидистантных опорных напряжений образуются с помощью резистивного делителя. [11]

Примером данного вида АЦП является 8-разрядный параллельный АЦП с частотой преобразования 160 МГц СХА3286R.

СХА3286R – это 8-разрядный быстродействующий параллельный аналого-цифровой преобразователь с частотой преобразования 160 МГц. Цифровые входы по уровням совместимы с ЭСЛ/ПЭСЛ/ТТЛ-схемами. ТТЛ-совместимый цифровой выход имеет демультимплексор 1:2.

СХА3286R поставляется в компактном 48-выводном корпусе типа LQFP.

Особенности:

- дифференциальная нелинейность не более ± 0.5 МЗР;
- интегральная нелинейность не более ± 0.5 МЗР;
- максимальная частота преобразования 160 МГц;
- малая входная емкость 10 пФ;
- режим пониженного потребления энергии;
- широкая полоса входного аналогового сигнала 250 МГц;
- низкая потребляемая мощность 550 мВт;
- демультимплексированный выход 1:2;
- выход тактового сигнала с делением частоты на два (с функцией сброса);
- ЭСЛ/ПЭСЛ/ТТЛ-совместимые цифровые входы;
- функция контроля выходного напряжения;
- возможность непосредственного сопряжения с 3.3 В линейными КМОП-микросхемами;
- возможность работы от источника питания напряжением +5 В;
- компактный 48-выводной корпус типа LQFP. [12]

1.3.2 Последовательно-параллельные АЦП

Последовательно-параллельные АЦП являются компромиссом между стремлением получить высокое быстродействие и желанием сделать это по возможности меньшей ценой. Последовательно-параллельные АЦП занимают промежуточное положение по разрешающей способности и быстродействию между параллельными АЦП и АЦП последовательного приближения. Последовательно-параллельные АЦП подразделяют на многоступенчатые, конвейерные и многотактные.

1.3.3 Последовательные АЦП

1.3.3.1 АЦП последовательного счета

Этот преобразователь является типичным примером последовательных АЦП с единичными приближениями и состоит из компаратора, счетчика и цифроаналогового преобразователя (далее – ЦАП) (Рисунок 1.18).

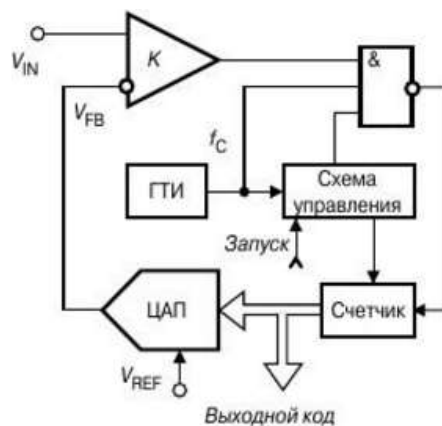


Рисунок 1.18 – Структурная схема АЦП последовательного счета

На один вход компаратора поступает входной сигнал, а на другой – сигнал обратной связи с ЦАП. В исходном состоянии выход компаратора равен ЛОГ.1. Работа АЦП начинается с прихода импульса запуска, который включает счетчик,

суммирующий число импульсов, поступающих от генератора тактовых импульсов (далее – ГТИ). Выходной код счетчика подается на ЦАП, осуществляющий его преобразование в напряжение обратной связи V_{FB} . Процесс преобразования продолжается до тех пор, пока в некоторый момент времени t_{CON} напряжение обратной связи не сравняется с входным напряжением, компаратор переключится, в состояние ЛОГ.0 и запретит поступление тактовых импульсов на счетчик.

Особенностью АЦП последовательного счета является небольшая частота дискретизации, достигающая всего лишь нескольких кГц. Достоинством АЦП данного класса является сравнительная простота построения, определяемая последовательным характером выполнения процесса преобразования. В настоящее время такие АЦП не изготавливаются в виде отдельных интегральных микросхем, однако входят в состав микросхем для управления электродвигателями, например, АDМC330.

1.3.3.2 АЦП последовательного приближения

Преобразователь последовательного приближения, называемый в литературе также АЦП с поразрядным уравниванием, в настоящее время является наиболее распространенным вариантом последовательных АЦП.

В основе работы этого класса преобразователей лежит принцип дихотомии, т. е. последовательного сравнения измеряемой величины с $1/2$, $1/4$, $1/8$ и т. д. от ее полной шкалы. Это позволяет для N -разрядного АЦП последовательного приближения выполнить весь процесс преобразования за N последовательных шагов (итераций) вместо $2^N - 1$ при использовании последовательного счета и получить существенный выигрыш в быстродействии. Так, уже при $N=10$ этот выигрыш достигает 100 раз и позволяет получить с помощью таких АЦП до $10^5 \dots 10^6$ преобразований в секунду.

Точность АЦП последовательного приближения определяется точностью источника опорного напряжения, компаратора и, главным образом, точностью

ЦАП. В современных АЦП используются параллельные ЦАП на коммутируемых конденсаторах (с суммированием заряда). Обеспечить монотонность их характеристик преобразования очень непросто. Как следствие АЦП высокого разрешения могут иметь пропуски кодов.

Быстродействие АЦП данного типа определяется суммой времени установления t_{AS} ЦАП до стационарного значения с погрешностью, не превышающей 0.5 LSB , времени переключения компаратора t_{COM} и задержки распространения сигнала в регистре последовательного приближения t_D . Сумма $t_{COM} + t_D$ является величиной постоянной, а t_{AS} уменьшается с уменьшением веса разряда.

Данный класс АЦП занимает промежуточное положение по быстродействию, стоимости и разрешающей способности между последовательно-параллельными и интегрирующими АЦП и находит широкое применение в системах управления, контроля и цифровой обработки сигналов.

Примером данного вида АЦП является 12-разрядный АЦП последовательного приближения с частотой преобразования 4 МГц ADS7881.

ADS7881 – это 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения с частотой дискретизации 4 МГц и внутренним источником опорного напряжения 2.5 В. ADS7881 содержит встроенное устройство выборки и хранения. В АЦП используется параллельный 12-разрядный интерфейс с дополнительным байтовым режимом работы, что обеспечивает простое сопряжение с 8-разрядными микропроцессорами. Прибор имеет псевдодифференциальный вход.

Для компенсации разброса потенциалов земель АЦП и датчика, а также для исключения синфазных помех допустимый разброс напряжений на инвертирующем входе составляет $\pm 200 \text{ мВ}$.

АЦП имеет несколько режимов энергосбережения, причем в режиме сна потребляется около 10 мВт, а в дежурном режиме лишь 10 мкВт. ADS7881 совместим по выводам со всеми АЦП Texas Instruments последовательного приближения с разрешением 12, 16 и 18 разрядов.

ADS7881 поставляется в 48-выводном корпусе типа TQFP.

Особенности:

- 12-разрядное разрешение и частота дискретизации 4 МГц;
- униполярный псевдодифференциальный вход: диапазон 0...2.5 В;
- высокоскоростной параллельный интерфейс;
- отношение сигнал/шум 71 дБ;
- полный коэффициент гармоник при 1 МГц -88.5 дБ;
- рассеиваемая мощность:
- при частоте 4 МГц 95 мВт;
- в режиме сна 10 мВт;
- в дежурном режиме 10 мкВт;
- внутренний источник опорного напряжения;
- внутренний буфер источника опорного напряжения.

1.3.4 Сигма-дельта АЦП

АЦП многотактного интегрирования имеют ряд недостатков. Во-первых, нелинейность переходной статической характеристики операционного усилителя, на котором выполняют интегратор, заметным образом сказывается на интегральной нелинейности характеристики преобразования АЦП высокого разрешения. Для уменьшения влияния этого фактора АЦП изготавливают многотактными. Например, 13-разрядный AD7550 выполняет преобразование в четыре такта. Другим недостатком этих АЦП является то обстоятельство, что интегрирование входного сигнала занимает в цикле преобразования только приблизительно третью часть. Две трети цикла преобразователь не принимает входной сигнал. Это ухудшает помехоподавляющие свойства интегрирующего АЦП. В-третьих, АЦП многотактного интегрирования должен быть снабжен довольно большим количеством внешних резисторов и конденсаторов с высококачественным диэлектриком, что значительно увеличивает место, занимаемое преобразователем

на плате и, как следствие, усиливает влияние помех и увеличивает стоимость изделия.

Эти недостатки во многом устранены в конструкции сигма-дельта АЦП. Своим названием эти преобразователи обязаны наличию в них двух блоков: сумматора (обозначение операции – Σ) и интегратора (обозначение операции – Δ). Один из принципов, заложенных в такого рода преобразователях, позволяющий уменьшить погрешность, вносимую шумами, а, следовательно, увеличить разрешающую способность – это усреднение результатов измерения на большом интервале времени.

В настоящее время изготавливаются две группы сигма-дельта АЦП:

- низкочастотные АЦП высокого разрешения с числом разрядов 16...24 для измерительной техники промышленного назначения;
- широкополосные АЦП умеренного и высокого разрешения с числом разрядов 12...24 для аудиоприложений и систем цифровой обработки сигналов.

Основные узлы АЦП – это сигма-дельта модулятор и цифровой фильтр. Схема n -разрядного сигма-дельта модулятора первого порядка приведена на рисунке 1.19.

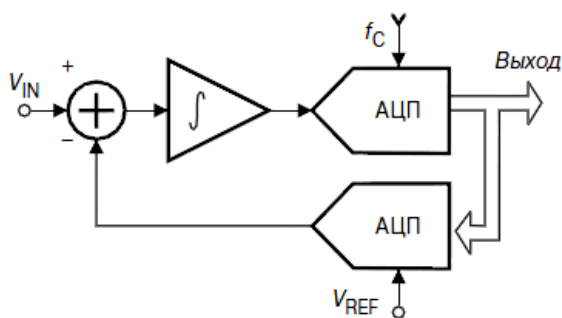


Рисунок 1.19 – Структурная схема сигма-дельта модулятора первого порядка

Работа этой схемы основана на вычитании из входного сигнала $V_{IN}(t)$ выходного сигнала ЦАП, выработанного на предыдущем такте работы схемы. Полученная разность интегрируется, а затем преобразуется в код параллельным АЦП невысокой разрядности. Последовательность кодов, следующих с тактовой частотой, поступает на цифровой фильтр нижних частот.

Порядок модулятора определяется числом интеграторов и сумматоров в его схеме. Сигма-дельта модуляторы второго порядка содержат два сумматора и два интегратора и обеспечивают лучшее соотношение сигнал/шум, чем модуляторы первого порядка.

Примером данного вида АЦП являются 16- и 24-разрядные дельта-сигма АЦП с малошумящим программируемым усилителем CS5531/32/33/34/.

CS5531/32/33/34 – это семейство дельта-сигма аналого-цифровых преобразователей на основе метода балансировки заряда, позволяющих получить 16-разрядное (CS5531/33) и 24-разрядное (CS5532/34) разрешение.

АЦП оптимизированы для применения в измерении низкоуровневых униполярных и биполярных сигналов в электронных весах, системах управления процессами, научном и медицинском оборудовании.

АЦП представляют собой как двухканальные (CS5531/32), так и четырехканальные (CS5533/34) приборы, включающие в себя инструментальные усилители со сверхмалым уровнем шума и программируемым усилением. Возможные значения коэффициента усиления составляют: 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64.

Кроме того, АЦП включают в себя дельта-сигма-модулятор 4-го порядка и цифровой фильтр. В АЦП предусмотрена возможность выбора выходной скорости преобразования из 20 значений: 6.25, 7.5, 12.5, 15, 25, 30, 50, 60, 100, 120, 200, 240, 400, 480, 800, 960, 1600, 1920, 3200 и 3840 SPS (выборка в секунду). Частота главного тактового сигнала 4.9152 МГц.

В состав АЦП входит простой трехпроводный интерфейс, совместимый с протоколами SPI и Microwire, и триггер Шмитта, включенный на входе последовательного тактового сигнала.

Возможные комбинации питающих напряжений:

- $V_{CC} = +5 \text{ В}$, $V_{EE} = 0 \text{ В}$, $V_{CCD} = +3 \dots +5 \text{ В}$;
- $V_{CC} = +2.5 \text{ В}$, $V_{EE} = -2.5 \text{ В}$, $V_{CCD} = +3 \dots +5 \text{ В}$;
- $V_{CC} = +3 \text{ В}$, $V_{EE} = -3 \text{ В}$, $V_{CCD} = +3 \text{ В}$.

Широкий динамический диапазон, программируемая выходная скорость и возможность использования разных комбинаций источников питания делают эти приборы идеальными для применения в электронных весах и системах управления.

АЦП поставляются в 20- и 24-выводных корпусах типа SSOP.

Особенности:

– стабилизированный усилитель с программируемым коэффициентом усиления от 1 до 64;

– дельта-сигма АЦП;

– нелинейность ± 0.0007 % ПШ;

– разрешение до 23 разрядов;

– двух- или четырехканальный дифференциальный мультиплексор;

– масштабирование входного размаха напряжений во время калибровки;

– регулируемое входное опорное напряжение;

– трехпроводный последовательный интерфейс;

– поканальные регистры калибровки;

– возможность выбора скорости преобразования слов от 6.25 до 3840 выборок в секунду;

– выбор частоты подавления помех: 50 или 60 Гц;

– широкий выбор возможных комбинаций напряжений питания.

1.4 Перспективные разработки в области проектирования цифровых устройств

1.4.1 Scientech ТН-3 (Беспроводной датчик температуры и влажности воздуха)

Благодаря маленьким размерам и беспроводной передаче данных, эти датчики могут отслеживать температуру и влажность воздуха в любых помещениях, таких как, комнаты, подсобные помещения и даже холодильники. Данные, полученные от датчиков, используются для перехода в режим Тревоги или для управления исполнительными устройствами систем домашней автоматике.

Датчик температуры и влажности воздуха ТН-3 специально разработан для применения в беспроводной охранной системе сигнализации LifeSOS для отслеживания температуры и влажности воздуха в любых помещениях.

Особенности:

- работа датчиков температуры и влажности воздуха от встроенной батареи;
- способность отслеживать температуру и влажность в любых помещениях (комнаты, подсобные помещения, холодильники);
- отображение на ЖКИ основного блока информации, передаваемой датчиком температуры и влажности;
- экономное расходование электроэнергии батареи: датчик передаёт данные автоматически только когда температура или влажность изменяются более чем на 1 °С или 3 %. Если в течение длительного времени нет никаких изменений, датчик температуры и влажности будет передавать данные ежечасно, для обновления показаний на дисплее основного блока. При появлении новых данных, переданных датчиком, основной блок будет отображать их с интервалом в 5 секунд;
- режимы «Тревога» и «Управление» исполнительными устройствами систем домашней автоматике. [13]

Технические характеристики беспроводного датчика температуры и влажности воздуха Scientech ТН-3 представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Технические характеристики беспроводного датчика температуры и влажности воздуха Scientech TH-3

Особенности	передает считываемые данные с интервалом в 30-минут поочередно.
Источник питания	одна литиевая батарея CR-2
Скорость обновления данных	1 раз в 30 с.
Нижний/Верхний пределы температуры	-40 °С/+103 °С
Точность	±1 °С в диапазоне от -10 °С до +50 °С ±2 °С в диапазоне от -40 °С до +85 °С ±3 °С в диапазоне от -85 °С до +103 °С (не рекомендуется для длительной работы)
Нижний/Верхний пределы влажности	0 % / 100 %
Точность	±4 % в диапазоне от 20 % до 80 % ±5 % в диапазоне от 0 % до 100 %

1.4.2 Терморегулятор Thermoreg TI 950

Термостат TI950 предназначен для регулировки кабелей обогрева пола. Термостат можно программировать и он регулирует температуру комнаты или пола на основании автоматически определенных и измеренных значений температуры. Значения температуры можно устанавливать между +5 и +40 градусами.

TI950 оборудован внутренним комнатным датчиком и наружным датчиком пола. Используемый датчик можно выбрать из меню настроек термостата. Термостат можно настроить на автоматический, ручной режим или на режим функционирования выходного дня. Основным назначением автоматического функционирования является понижение температуры ночью и днем в то время, когда пользователь не нуждается в более высокой комфортной температуре.

Таким образом, также можно сэкономить используемую энергию. В автоматическом функционировании есть четыре программируемых временных интервалов в сутки, в которых настраиваемая температура и длительность

временного интервала программируются отдельно. Временные интервалы названы следующим образом: «Утро», «Отсутствие», «Дома», «Ночь». Заводская настройка подходит для многих ситуаций. В ручном режиме можно обойти автоматическое функционирование и тогда будет постоянно использоваться только настроечная температура. В режиме выходного дня можно временно понизить температуру, например на время праздников, когда потребность в отоплении меньше. [14]

Технические характеристики терморегулятора Thermoreg TI 950 представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Технические характеристики терморегулятора Thermoreg TI 950

Напряжение	230 В пер. тока +10/-15 %, 50/60 Гц
Расход мощности устройства	0,8 Вт
Макс. нагрузка	16 А, 3600 Вт
Макс. предохранитель	16 А
Зона настройки	+5°C...+40 °C
Гистерезис	0,5 °C
Размеры кабелей	0,5...2,5 кв.мм
Корпус	IP 21
Датчик	12 кОм
Используемая температура	+10 °C...+50 °C
Размеры	71 × 71 × 54 мм
Гарантия	3 года
Срок службы терморегулятора	5 лет

1.4.3 Беспроводная система измерения температуры и влажности в закрытых помещениях testo Saveris-2

Беспроводная система WiFi-логгеров данных testo Saveris-2 является современным решением для мониторинга параметров микроклимата на складах и в производственных зонах. Система состоит из WiFi-логгеров данных и облачного хранилища измеренных значений. WiFi-логгеры данных Saveris-2 обеспечивают надёжные измерения и запись параметров температуры и влажности через заданные промежутки времени, и впоследствии передают измеренные значения по WiFi-каналу в облачное хранилище данных TestoCloud. Сохранённые значения могут

быть просмотрены и проанализированы в любом месте и с любого устройства, подключенного к Интернет (смартфона, планшета или ПК). Сигналы о нарушении установленных пределов немедленно передаются по e-mail или опционально в виде SMS. Сами логгеры имеют встроенную память на 10 000 измеренных значений на каждый измерительный канал. На дисплее приборов отображается информация о текущих измеренных значениях, установленных пределах и их нарушении, мин./макс. измеренных значений и оставшемся заряде батареи. Срок службы батареи составляет 24 месяца, при этом замена батареи может быть осуществлена пользователем самостоятельно.

Легкая в использовании измерительная система testoSaveris-2 обеспечивает высокую надежность измерений и экономию времени при беспроводной передаче данных на контрольное устройство, благодаря автоматизированной записи измеренных значений.

Простая установка специального программного обеспечения для системы измерения testo Saveris-2 происходит в течение нескольких секунд.

Имеется возможность создания автоматизированных отчетов в формате PDF.

Базовый элемент (доггер данных) системы testo Saveris-2:

- память: 40 000 значений на канал (всего – 10 160 000 значений);
- радиочастота: 2,4 ГГц (для РФ);
- интерфейс: USB, радио, Ethernet.
- передача оповещений: макс. 1 А, макс. 30 Вт, макс. 60/25 В постоянного/переменного тока, контакт NC или NO. Подключаемый радиозонд: через радиointерфейс можно подключить макс. 15 зондов, через интерфейс радио/маршрутизатор/конвертора/Ethernet можно подключить всего 150 зондов, макс. каналов – 254.

- дисплей: графический дисплей, 4 кнопки управления;
- рабочая температура: от -10 °С до +50 °С;
- температура хранения: от -40 °С до +85 °С;
- габариты: 225 × 150 × 49 мм;
- вес: 1510 г. Класс защиты корпуса: IP42;

– питание (необходимо): 6,3 В постоянного тока от источника питания; 24 В постоянного/переменного тока от разъема/винтовых клемм, потребляемая мощность < 4W;

– аккумулятор: литиево-ионная батарея (для обеспечения сохранности данных и аварийной отправки SMS при отказе питания). [15]

Выводы по разделу один:

В данном разделе произведен обзор первичных измерительных преобразователей температуры, влажности и давления и рассмотрены аналогичные устройства.

В результате обзора выявлены технические характеристики и параметры, которым должно соответствовать разрабатываемое устройство. В качестве ЧЭ проектируемого устройства были выбраны ПИП температуры, влажности и давления. Введено понятие АЦП, представлен аналитический обзор современных АЦП, выявлена зависимость характеристик и типа АЦП от параметров выбранного первичного сенсора. Определено, что использование беспроводных сетей для передачи данных является актуальной областью инженерных разработок.

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОГО ДАТЧИКА

2.1 Функциональная схема датчика

2.1.1 Обобщенная функциональная схема измерительного устройства

Обобщенная функциональная схема измерительного устройства представлена на рисунке 2.1.

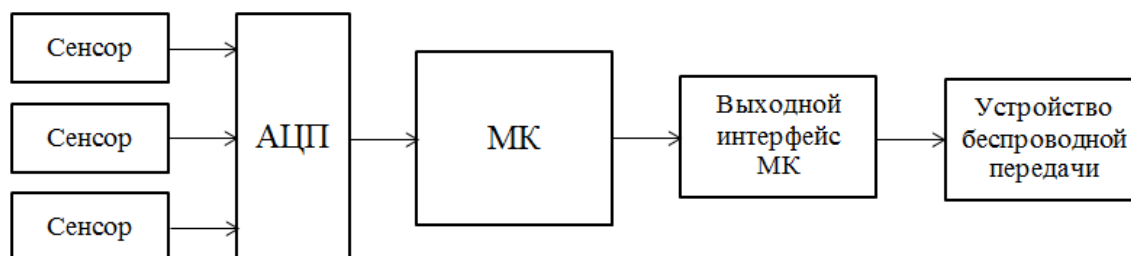


Рисунок 2.1 – Обобщенная функциональная схема измерительного устройства

Измеряемая физическая величина преобразуется на сенсоре в выходной сигнал тока или напряжения известных диапазонов (в соответствии с ГОСТ 24855-81 [16], ГОСТ 26.011-80 [17]), который АЦП преобразует в цифровой код, передаваемый в микроконтроллер. Обработанный в микроконтроллере цифровой сигнал, поступает в систему управления через интерфейс беспроводной передачи информации. Функциональная схема проектируемого прибора изображена на рисунке 2.2.

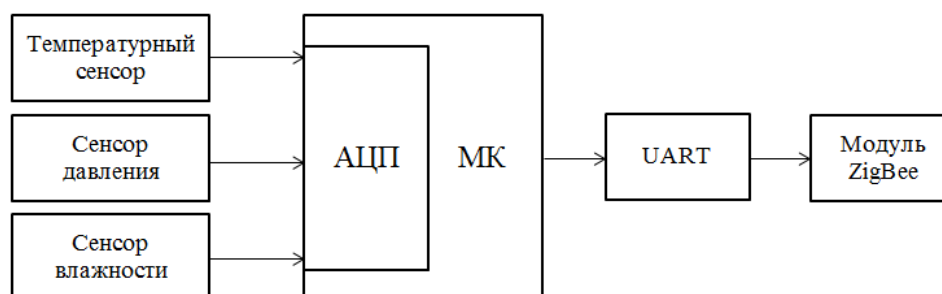


Рисунок 2.2 – Функциональная схема цифрового датчика

На входе МК аналоговые сигналы давления (от 50 до 3000 кПа), влажности (от 0 до 100 %) и температуры (от -55 до + 125 °С).

Модуль АЦП обрабатывает аналоговые сигналы измерительного блока, пропорциональные входной измеряемой величине (давлению, влажности и температуре), и преобразовывает их в цифровые коды. Микроконтроллер принимает цифровые сигналы с модуля АЦП, производит коррекцию и линеаризацию характеристики сенсоров, рассчитывает скорректированное значение выходного сигнала датчика и посылает его по интерфейсу UART на приемопередатчик ZigBee. Приемопередатчик ZigBee предназначен для передачи измерений через беспроводной интерфейс на удаленную систему управления.

2.2 Выбор и обоснование аппаратного обеспечения

2.2.1 Выбор микроконтроллера

Для получения лучших экономических показателей при сохранении высоких метрологических параметров средства измерения, рациональнее использовать микроконтроллер с встроенным АЦП. Для измерения температуры с помощью термопары нужно использовать точные АЦП. Прецизионным и правильным встроенным АЦП обладает микроконтроллер 1986VE4У.

1986VE4У – МК со встроенной Flash памятью программ, который построен на базе низкопотребляемого процессорного RISC ядра ARM Cortex-M0, реализованный на одной кристалле (Рисунок 2.3, рисунок 2.4). МК работает на тактовой частоте до 36 МГц и содержит 128 Кбайт Flash памяти и 16 Кбайт ОЗУ. Периферия включает в себя 8 каналов 24-х битных независимых сигма-дельта АЦП. Каждый канал АЦП имеет предусилитель, фазовую подстройку (для коррекции фазы не хуже 0.1°), а так же аппаратный блок для вычисления среднеквадратического значения сигнала. Каждый канал сигма-дельта АЦП может быть включен или отключен независимо от других каналов, и имеет отдельный

канал прямого доступа в память. Еще один дополнительный 12-битный АЦП последовательного приближения может быть использован для мониторинга напряжения питания основного или батарейного доменов, а так же для измерения температуры или захвата внешнего сигнала. В состав микроконтроллера входит 2 UART и 1 SPI интерфейсы.

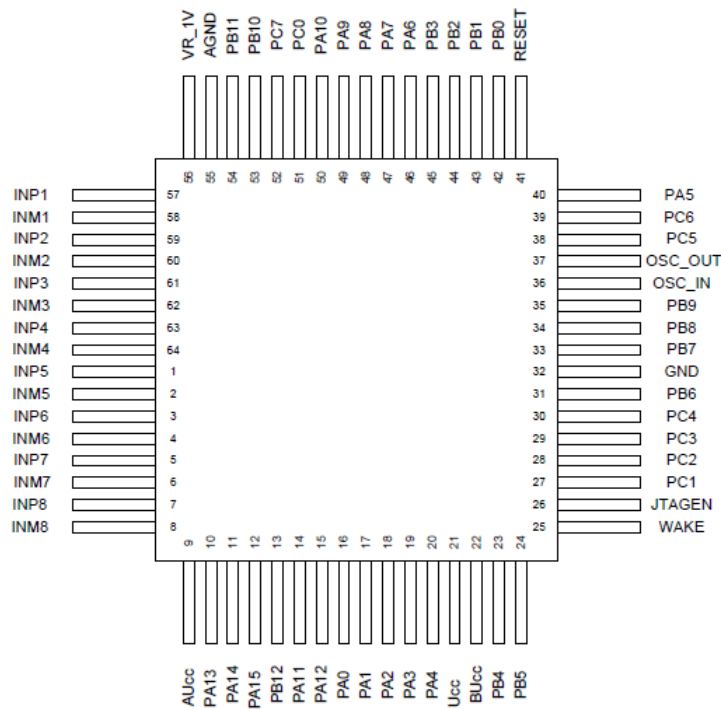


Рисунок 2.3 – Микроконтроллер 1986BE4У

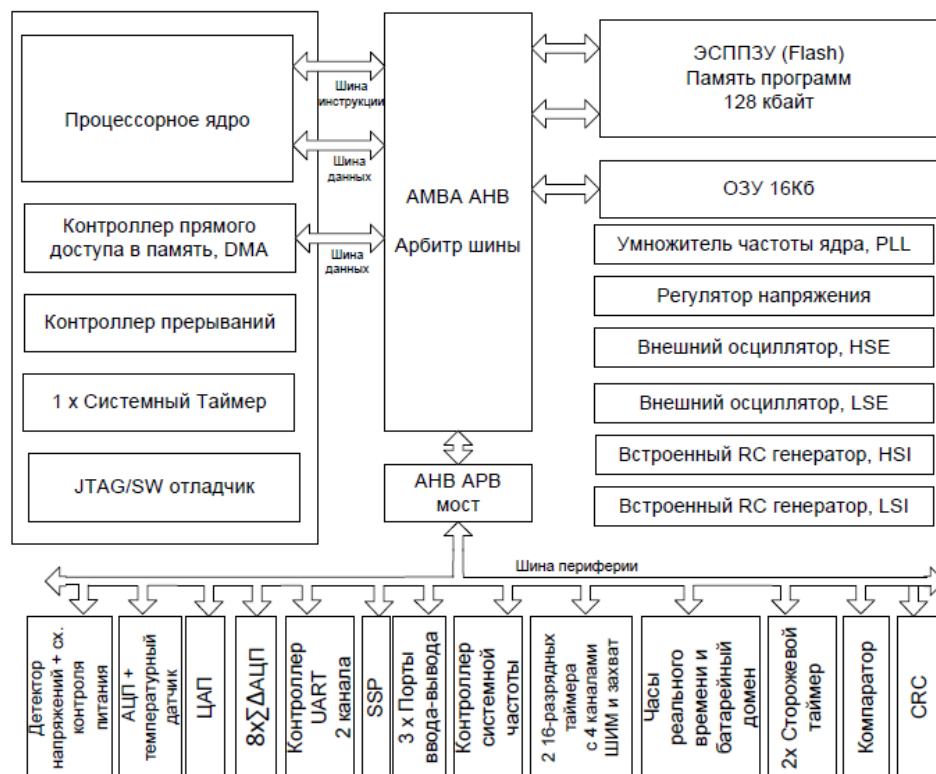


Рисунок 2.4 – Структурная схема микроконтроллера 1986BE4У

Встроенные RC генераторы HSI (8 МГц) и LSI (40 кГц), внешние осцилляторы HSE (2...16 МГц) и LSE (32 кГц) и схема умножения тактовой частоты PLL для ядра позволяют гибко настраивать скорость работы МК.

Архитектура системой шины за счет регулировки частоты периферийных блоков позволяет уменьшить потребление всей системы. Контроллер прямого доступа в память DMA позволяет ускорить обмен информацией между ОЗУ и периферией без участия процессорного ядра.

Встроенный регулятор для формирования питания внутренней цифровой части формирует напряжения 1,8 В и не требует дополнительных внешних элементов. Таким образом, для работы микроконтроллера достаточно одного внешнего напряжения питания в диапазоне от 2,2 до 3,6 В.

Основные характеристики:

- ARM 32-битное RISC ядро Cortex™-M0, тактовая частота до 36 МГц;
- умножение за один цикл;

– встроенная энергонезависимая память программ FLASH типа размером 128 Кбайт;

- встроенное ОЗУ размером 16 Кбайт;
- внешнее питание 2,2...3,6 В;
- встроенный регулятор напряжения на 1,8В для питания ядра;
- встроенные схемы контроля питания;
- встроенный домен с батарейным питанием;
- встроенный подстраиваемый RC генератор HSI, 8 МГц;
- встроенный подстраиваемый RC генератор LSI, 40 КГц;
- внешний осциллятор HSE, 2...16 МГц;
- внешний осциллятор LSE, 32 КГц;
- встроенный умножитель тактовой частоты PLL для ядра;
- 24-х разрядный сигма-дельта АЦП (до 8 каналов);
- 12-ти разрядных АЦП (до 8 каналов) с измеряемым диапазон входного напряжения от 0 до 3,6 В;
- 12-ти разрядный ЦАП;
- контроллеры интерфейсов UART, SSP;
- до 36 пользовательских линий ввода-вывода;
- два блока 16-ти разрядных таймеров с 4 каналами захвата событий и ШИМ;
- контроллер системной частоты. [18]

2.2.2 Выбор сенсоров

2.2.2.1 Сенсор температуры

Цифровой термометр DS18B20 обеспечивает от 9-ти до 12-битных температурных измерений и имеет функцию аварийной сигнализации с энергонезависимыми программируемыми пользователем верхними и нижними точками срабатывания. DS18B20 передает по 1-проводной шине, которая по определению требует только одну линию передачи данных (и землю) для связи с

центральным МК. Диапазон измеряемой температуры от -55 до + 125 °С с точностью $\pm 0,5$ °С. [19]

2.2.2.2 Сенсор относительной влажности

Датчики влажности серии НН-4010/4020/4021 разработаны специально для пользователей OEM (Original Equipment Manufacturer).

Входной сигнал для контроллера или другого устройства становится возможным благодаря линейному выходному напряжению этого датчика. При потреблении тока всего 200 мкА серии НН-4010/4020/4021 идеально подходят для систем с низким потреблением энергии, с батарейным питанием. Диапазон измеряемой влажности 0...100 % с точностью $\pm 0,5$ %.

Многослойная конструкция ЧЭ обеспечивает отличную устойчивость к большинству опасных факторов, таких как пыль, грязь, масла и общие химические вещества окружающей среды. [20]

2.2.2.3 Сенсор давления

Датчик абсолютного давления BMD040 содержит пьезорезистивный датчик давления и схему для усиления сигнала и температурной компенсации. Оба компонента интегрированы на одном кремниевом чипе. Датчик подает аналоговый выходной сигнал пропорциональный напряжению питания. Диапазон измерения давления 50...3000 кПа с точность $\pm 0,5$ кПа. Собственная оценка сигнала выполняется конденсаторами емкость 10 нФ между VDD и GND и между OUT и GND. [21]

2.2.3 Выбор модуля ZigBee

CC2530 – ценово-эффективное одночипное решение с малым энергопотреблением, предназначенное для реализации соединений протокола IEEE 802.15.4 point-to-point или сетей типа star или ZigBee PRO mesh.

Основные свойства:

- до 256 кБ флэш-памяти с 20 тысячами циклов перезаписи для поддержки приложений;
- 8 кБ ОЗУ для хранения данных комплексных приложений и ZigBee-профилей;
- программируемая выходная мощность передатчика (до +4,5 дБм);
- мощный интегрированный модуль распознавания адресов и обработки пакетов;
- низкое энергопотребление в режиме приёма и передачи, а также многочисленные энергосберегающие режимы обеспечивают долгое время работы от батарей. [22]

2.3 Расчет и проектирование принципиальной схемы

Принципиальная электрическая схема состоит из МК DD1 и подключенных к нему первичных преобразователей температуры, влажности и давления и приемопередатчика DD2.

МК 1986BE4У работает на тактовой частоте до 36 МГц и содержит 128 Кбайт Flash памяти и 16 Кбайт ОЗУ. Периферия включает в себя 8 каналов 24-х битных независимых сигма-дельта АЦП. В состав МК входит 2 UART и 1 SPI интерфейсы.

Первичный преобразователь температуры подключается к входу МК INP5. АЦП использует внутреннее опорное напряжение для измерения напряжения первичного преобразователя температуры. Внутренний источник опорного напряжения используется из-за его точности. Первичный преобразователь

влажности подключается к входу МК INP6, первичный преобразователь давления подключается к входу МК INP7.

Ядро МК (ARM Cortex M0) – мощное 32-разрядное ARM ядро со встроенным 128 Кбайт флэш-памяти и 16 Кбайт ОЗУ памяти запускает пользовательский код, который настраивает и управляет АЦП, обрабатывает преобразования АЦП от первичных преобразователей температуры, влажности и давления. Система ввода 1986BE4У управляет встроенным мультиплексором, который выбирает один из сигналов: от первичных преобразователей. Такой подход позволяет измерять сигналы обоих датчиков при помощи одного АЦП.

Модуль беспроводной передачи данных DD2 подключается к МК через интерфейс UART. Для подключения в схему этого модуль нужно подключить питание DVDD2 и GND, на P1_1 и P1_0 соответствующие выводы UART принимающего устройства. С выхода МК PB0 (P1_1) на вход трансивера передаются управляющие команды и данные для передачи по беспроводной сети. А через порт P0.2 (P1_0) МК принимает информацию от модуля. Порт RESET МК подключен к входу RESET_N, используется для сброса (перезагрузки) DD2.

Принципиальная электрическая схема и перечень элементов к ней представлены в приложении А.

Выводы по разделу два:

В данном разделе разработаны функциональная и принципиальная электрическая схемы датчика мониторинга окружающей среды. Исходя из выбранных ПИП, МК и приемопередатчика, рассчитаны и определены остальные элементы принципиальной электрической схемы.

3 МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА

3.1 Расчет погрешности измерительного канала датчика

Измерительный канал разрабатываемой информационно-измерительной системы (далее – ИИС) состоит из ПИП (сенсоров температуры, влажности и давления) и АЦП. Измерительный канал представлен на рисунке 3.1.

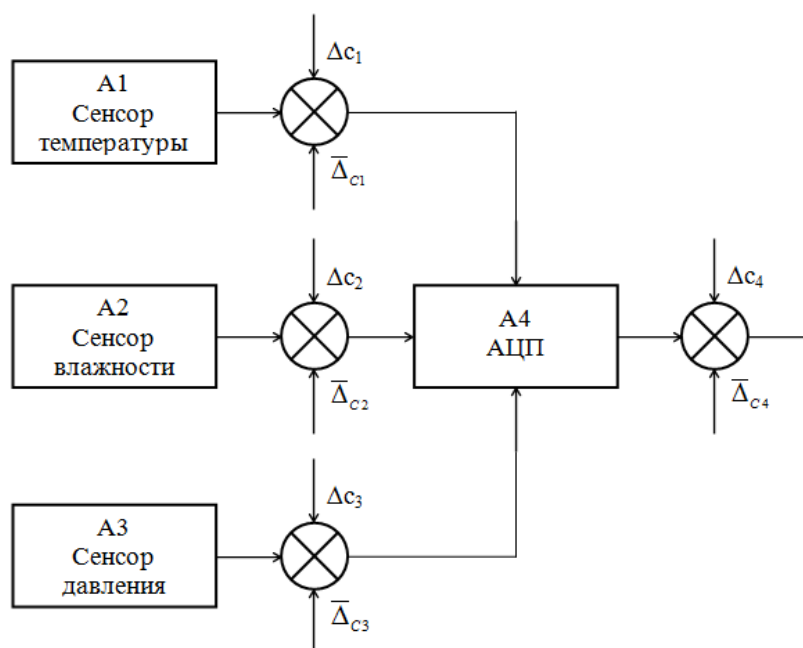


Рисунок 3.1 – Измерительный канал

Произведен расчет погрешности измерительного канала ИИС по метрологическим характеристикам компонентов, в соответствии с требованиями МИ 222-80 [23]. Расчет погрешности произведен в номинальных условиях эксплуатации.

Полная погрешность ИИС представляет собой сумму систематической $|\Delta_c|$ и случайной погрешностей $\delta|\bar{\Delta}|$:

$$\Delta = |\Delta_c| + \gamma \times \delta|\bar{\Delta}| \quad (1)$$

Полная систематическая погрешность:

$$\Delta_c = M|\Delta_c| + k \times \delta|\Delta_c|, \quad (2)$$

где $M|\Delta_c|$ – математическое ожидание погрешностей на выходе элементов;

k – коэффициент Стьюдента;

$\delta|\Delta_c|$ – среднеквадратическое отклонение (далее – СКО) систематической составляющей погрешности на выходе проектируемого датчика.

СКО систематической погрешности на выходе датчика мониторинга окружающей среды будем находить:

$$\sigma|\Delta| = \sqrt{\sigma^2(\Delta_{c1}) \times (A_2 \times A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta_{c2}) \times (A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\Delta_{c_{N-1}}) \times A_N^2 + \sigma^2(\Delta_N)} \quad (3)$$

а СКО случайной погрешности на выходе ИИС будем находить:

$$\sigma|\bar{\Delta}| = \sqrt{\sigma^2(\bar{\Delta}_{c1}) \times (A_2 \times A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_{c2}) \times A_3 \dots A_N)^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_{c_{N-1}}) \times A_N^2 + \sigma^2(\bar{\Delta}_N)} \quad (4)$$

Рассчитали функции преобразования на каждом элементе:

$$A_1 = \frac{3B}{125^\circ C} = 0,024 \text{ В} \cdot \text{градус}^{-1};$$

$$A_2 = \frac{3B}{100\%} = 0,03 \text{ В} \cdot \%^{-1};$$

$$A_3 = \frac{5B}{3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}} = 1,667 \times 10^{-6} \text{ В} \cdot \text{Па}^{-1};$$

$$A_4 = \frac{5B}{2^{24}} = 2,98 \times 10^{-7} \text{ В} \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Математическое ожидание $M|\Delta_c|$ всех элементов измерительных каналов равно 0.

Рассчитаем СКО систематической погрешности:

1) Сенсор температуры:

$$\Delta_{осн1} = \pm 2\% = \pm 0,02B$$

Предполагая равномерный вид закона распределения, найдем дисперсию систематической составляющей погрешности:

$$D = \frac{(x_B - x_H)^2}{24} \quad (5)$$

$$D_1 = \frac{(0,02 + 0,02)^2}{24} = 6,667 \times 10^{-5} B$$

Найдем СКО сенсора:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (6)$$

$$\sigma(\Delta_{c1}) = \sqrt{6,667 \times 10^{-5}} = 0,0082 B$$

2) Сенсор влажности:

$$\Delta_{осн2} = \pm 3,5\% = \pm 0,035B$$

Предполагая равномерный вид закона распределения, найдем дисперсию систематической составляющей погрешности:

$$D_2 = \frac{(0,035 + 0,035)^2}{24} = 2,042 \times 10^{-4} B$$

Найдем СКО сенсора:

$$\sigma(\Delta_{c2}) = \sqrt{2,042 \times 10^{-4}} = 0,0143 B$$

3) Сенсор давления:

$$\Delta_{осн3} = \pm 4,75\% = \pm 0,0475 B$$

Предполагая равномерный вид закона распределения, найдем дисперсию систематической составляющей погрешности:

$$D_3 = \frac{(0,0475 + 0,0475)^2}{24} = 3,76 \times 10^{-4} B$$

Найдем СКО сенсора:

$$\sigma(\Delta_{c3}) = \sqrt{3,76 \times 10^{-4}} = 0,0194 B$$

4) АЦП:

$$\Delta_{осн4} = \frac{U_{вх}}{2^{24}} = \frac{5B}{2^{24}} = 2,98 \times 10^{-7} B \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Из (5) найдем дисперсию систематической составляющей погрешности АЦП:

$$D_4 = \frac{(2,98 \times 10^{-7} + 2,98 \times 10^{-7})^2}{24} = 1,48 \times 10^{-4} B$$

Из (6) найдем СКО систематической составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma(\Delta_{c4}) = \sqrt{1,48 \times 10^{-14}} = 1,217 \times 10^{-7} B \cdot \text{разряд}^{-1}$$

Рассчитаем СКО систематической составляющей погрешности измерительных каналов по (3):

$$\sigma|\Delta| = \sqrt{0,0082^2 \times (0,03 \times 1,667 \cdot 10^{-6} \times 2,98 \times 10^{-7})^2 + 0,0143^2 \times (1,667 \times 10^{-6} \times 2,98 \times 10^{-7})^2 + 0,0194^2 \times (2,98 \times 10^{-7})^2 + (2,98 \times 10^{-7})^2} = 1,218 \times 10^{-7} B$$

Исходя из (4.2) определим полную систематическую погрешность:

$$\Delta_c = 0 + 1,96 \times 1,218 \times 10^{-7} = 2,388 \times 10^{-7} B$$

Рассчитаем СКО случайной погрешности:

1) У ПИП (температуры, влажности, давления) СКО случайной погрешности $\sigma(\bar{\Delta})$ будет равно нулю.

2) АЦП:

Характеристики АЦП для расчета:

- 24-х разрядный, $n = 24$;
- время преобразования отсчета $T = 5 \times 10^{-5} \text{ с}$;
- частота преобразования $F = 250 \text{ Гц}$.

Приведённое значение дисперсии случайной погрешности АЦП с равномерной шкалой квантования для случайного сигнала с нормальным распределением спектра с $M|\Delta_c| = 0$.

Приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности:

$$\sigma^2(\bar{\Delta}_{\text{АЦП}}) = \frac{1}{12 \times 2^n} + \frac{\sigma_x T_{np}^2}{9} \quad (7)$$

Время преобразования:

$$T_{np} = a \times 2^n \quad (8)$$

Дисперсия производной процесса:

$$\sigma_x = |R_x(\tau)|_{t=0} \quad (9)$$

Вторая производная корреляционной функции $R_x''(\tau)$:

$$a = (\sqrt{1 + \sqrt{2}}) \times 2\pi \times F_{\max} \quad (10)$$

Рассчитаем по (7) приведенное значение дисперсии результирующей случайной погрешности АЦП:

$$\sigma^2(\bar{\Delta}_{АЦП}) = \frac{1}{12 \times 2^{24}} + \frac{((\sqrt{1 + \sqrt{2}}) \times 2\pi \times 250 \times 5 \times 10^{-5})^2}{9} = 0,00165 \text{ с}^2$$

Найдем СКО случайной составляющей погрешности АЦП:

$$\sigma(\bar{\Delta}_{АЦП}) = \sqrt{0,00165} = 0,0407 \text{ с}$$

Рассчитаем СКО случайной составляющей погрешности измерительных каналов по (4):

$$\sigma(\bar{\Delta}) = 0,0407 \text{ с}$$

Исходя из (1) определим полную погрешность измерительных каналов:

$$\Delta = 2,388 \times 10^{-7} + 1,96 \times 0,0407 = 0,0798$$

3.2 Разработка методики выполнения измерения

Большое значение для процесса измерений имеет его правильная организация. Любое измерение требует от исполнителя контроля, понимания и четкости выполнения всей совокупности операций, направленных на исключение или уменьшение влияния погрешностей на результат измерения. Сложность значительной части измерений и обработки их результатов обуславливает необходимость разработки методик выполнения измерений (далее – МВИ).

МВИ – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью.

МВИ датчика мониторинга окружающей среды с ПИП (сенсорами) DS18B20, НН-4010, ВМД040.

МВИ составлена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563–2009. [24]

1. Область применения.

Данная методика применяется для мониторинга окружающей среды в лабораториях по поверке контрольно-измерительных приборов.

2. Требование к погрешности измерений.

Погрешность измерений соответствует характеристикам, приведенным при расчете погрешности при измерении температуры, влажности и давлении.

Полная систематическая погрешность: $\Delta_c = 2,388 \times 10^{-7} B$.

СКО случайной составляющей погрешности: $\sigma|\bar{\Delta}| = 0,0407 c$.

Полная погрешность датчика мониторинга окружающей среды:
 $\Delta = 0,0798 B$.

Субъективные погрешности (вносимые оператором) отсутствуют, так как прибор автоматизирован.

3. Средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы.

Датчик с первичными сенсорами температуры, влажности и давления. Диапазон измерения температуры от -55 до + 125 °С, влажности от 0 до 100 % и давления от 50 до 3000 кПа.

4. Метод измерения.

Основным методом измерения являются прямые однократные измерения. Данная методика применима при выполнении следующих условий: составляющие погрешности известны, случайные составляющие распределены по нормальному закону, а не исключенные систематические, заданные своими границами – равномерно.

Составляющими погрешности прямых однократных измерений являются:

– погрешности средства измерения (далее – СИ), рассчитываемые по их метрологическим характеристикам;

– погрешность используемого метода измерений, определяемая на основе анализа в каждом конкретном случае;

– личная погрешность, вносимая конкретным оператором. Если последние две составляющие не превышают 15% погрешности СИ, то за погрешность результата однократного измерения принимают погрешность используемого СИ.

5. Условия проведения измерений и характеристика измеряемой среды.

При выполнении измерений соблюдают следующие рабочие условия эксплуатации:

- температура окружающей среды, °С (от -55 до +125);
- относительная влажность, % (от 0 до 100);
- давление, кПа (от 50 до 3000).

6. Подготовка к выполнению измерений.

Подготовка к выполнению измерений заключается в осуществлении комплекса мероприятий по вводу измерительной системы в эксплуатацию, основными из которых являются:

- проведение поверки СИ;
- проведение внешнего осмотра датчика и наличия полной комплектации;
- проверка правильности монтажа в соответствии с проектной документацией;
- проведение наладочных работ;
- введение системы измерений в эксплуатацию.

При подготовке необходимо проверить целостность корпуса СИ. Далее необходимо подключить датчик мониторинга окружающей среды к измеряемому объекту. При подключении проверить, чтобы все контакты и разъемы были без загрязнений, это нужно для лучшего контакта СИ с измеряемым объектом.

7. Выполнение измерений.

Устройство стационарно закреплено на стене в помещении, где необходимо контролировать температуру, влажность и давление. Датчик автоматизированный, не требуя участия оператора, однократно проводит измерения и отправляет данные по беспроводной технологии передачи информации на систему умный дом, удаленный

ПК или другие гаджеты пользователя, подключенные к системе. Далее данные обрабатываются и считываются оператором.

8. Обработка результатов измерений.

Обработка результатов измерений выполняется в соответствии с Р 50.2.038-2004. [25]

За результат однократного измерения принимать значение величины, полученное при измерении. Составляющие погрешности результата измерения считать известными до проведения измерения. Предполагается, что известные систематические погрешности исключены.

Считать, что распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению, а не исключенные систематические погрешности, представленные заданными границами $\pm\Theta$, распределены равномерно.

Неопределенность результата измерений учитывать как неполное знание значения измеряемой величины, и для количественного выражения этой неполноты ввести распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины – параметр, который количественно характеризует точность результата измерений. Полагая, что распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины не противоречит нормальному распределению.

При определении доверительных границ погрешности или расширенной неопределенности для уровня доверия P результата измерения принимать вероятность, равную 0,95.

При вычислениях следует пользоваться правилами округления в соответствии с МИ 1317-2004. [26]

Погрешность результата однократного измерения чаще всего представлена неисключенными систематическими погрешностями и случайными погрешностями.

Погрешность СИ определяются на основании их метрологических характеристик, которые должны быть указаны в нормативных и технических документах, в соответствии с РД 50-453-84. [27]

Доверительные границы случайной погрешности и стандартную неопределенность, оцениваемую по типу А, результата измерения вычислять следующим образом.

а) Если случайные погрешности представлены несколькими СКО, то СКО результата однократного измерения $S(\tilde{A})$ вычисляют по формуле (11):

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m S_i^2} \quad (11)$$

Стандартную неопределенность, оцениваемую по типу А, результата однократного измерения u_A вычислять по формуле (12):

$$u_A = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{i,A}^2}, \quad (12)$$

где m – число составляющих случайных погрешностей.

Доверительную границу случайной погрешности результата измерения вычислять по формуле (13):

$$\varepsilon(P) = Z_{P/2} \times S(\tilde{A}), \quad (13)$$

где $Z_{P/2}$ – $P/2$ точка нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности P .

б) Если случайные погрешности представлены в виде доверительных границ, соответствующими одной и той же вероятности, доверительную границу случайной погрешности результата однократного измерения вычислять по формуле (14):

$$\varepsilon(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2(P)} \quad (14)$$

в) Если случайные погрешности заданы в виде доверительных границ, соответствующими разными вероятностями, сначала определить среднеквадратическое отклонение результата измерения по формуле 15:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \varepsilon^2(P_i) / Z_{Pi/2}^2}, \quad (15)$$

а затем вычислить доверительные границы случайной погрешности результата измерения по формуле 12.

При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представлять в форме $\tilde{A}; \pm D(P); P$ или $\tilde{A}; \pm D(P)$, или $\tilde{A}; U(P)$.

9. Контроль точности результатов измерений.

Для проведения контроля точности результатов измерения необходимо воспользоваться более точными датчиками температуры, давления, влажности с предельной погрешностью $\pm 0,05$ В.

3.3 Разработка методики поверки

1. Операции поверки:

При проведении поверки выполняют следующие операции:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение основной погрешности датчика;
- определение вариации выходного сигнала датчика.

2. Средства поверки:

Для поверки приборов должны применяться следующие измерительные приборы и устройства:

3. Требования к квалификации поверителя и других исполнителей:

При использовании настоящих методических указаний для разработки отдельного документа или раздела Технического описания и инструкции по эксплуатации (паспорта), регламентирующих методику поверки цифрового измерительного устройства (далее – ЦИУ), работу должен выполнять специалист, имеющий достаточную подготовку в области метрологии и испытаний электронных измерительных устройств.

При использовании настоящих методических указаний непосредственно для поверки ЦИУ конкретного типа работу целесообразно выполнять в два этапа, на каждом из которых требуются исполнители различной квалификации (возможно выполнение работы одним исполнителем при его достаточной квалификации).

Проведение поверки осуществляет поверитель электроизмерительных или радиоизмерительных приборов.

4. Требования безопасности:

При проведении поверки должны быть соблюдены общие требования безопасности по работе с датчиком мониторинга окружающей среды, а также требования по безопасности, изложенные в эксплуатационных документах поверяемого и эталонных СИ.

5. Условия поверки и подготовка к ней:

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха 20 ± 5 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха от 30 до 80 %;
- давление в помещении, где проводят поверку от 0,84 до 1,07 бар;
- вибрация, тряска, удары, наклоны и магнитные поля, кроме земного, влияющие на работу преобразователя, должны отсутствовать;

6. Проведение поверки:

6.1 Внешний осмотр:

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие датчика мониторинга окружающей среды следующим требованиям:

- датчик должен иметь паспорт или документ, его заменяющий; при периодической поверке допускается вместо паспорта представлять документ с

указанием предела измерений, предельных значений выходного сигнала, требуемого предела допускаемой основной погрешности и номера, присвоенного предприятием – изготовителем. Справка должна быть подписана метрологической службой предприятия, эксплуатирующего датчик давления;

- на датчике должна быть табличка с маркировкой, соответствующей паспорту или документу, его заменяющему;

- должна быть обеспечена возможность снятия крышки, закрывающей клеммы контроля и колодку внешних соединений;

- должна быть обеспечена возможность регулировки нуля (по всем цифровым выходным устройствам);

- резьбы на присоединительных элементах (переходных устройствах) не должны иметь сорванных ниток.

6.2 Опробование:

6.2.1 При опробовании проверяют работоспособность датчика, функционирование корректора нуля (по всем выходным устройствам), герметичность датчика давления.

6.2.2 Работоспособность датчика проверяют, изменяя измеряемые параметры давление от нижнего предельного значения до верхнего. При этом должно наблюдаться изменение выходной величины на всех выходных устройствах.

6.2.3 Функционирование корректора нуля проверяют, задав одно (любое) значение измеряемой величины. Воздействуя на корректор нуля, проверяют наличие изменения выходной величины на всех выходных устройствах. Возвращая корректор нуля в прежнее положение (если это допускает конструкция датчика) проверяют наличие изменения выходного сигнала в противоположную сторону на всех выходных устройствах.

6.2.4 Проверку герметичности датчика давления рекомендуется совмещать с операцией определения основной погрешности (п.6.4).

Методика проверки герметичности датчика имеет следующие особенности:

- изменение температуры, давления и влажности определяют по изменению выходного сигнала или показаний поверяемого датчика, включенного в систему;

– в случае обнаружения не герметичности системы с поверяемым датчиком следует проверить отдельно систему и датчик.

6.3 Проверка идентификационных данных ПО:

6.3.1 В качестве идентификатора ПО принимается версия (идентификационный номер) ПО. Методика заключается в проверке номера ПО датчика по протоколу ZigBee.

6.3.2 Датчики считаются прошедшими поверку с положительным результатом, если идентификатор ПО соответствует значению, указанному выше.

6.3.3 Если данные требования не выполняются, то датчик считается непригодным к применению, к эксплуатации не допускается, выписывается свидетельство о непригодности, дальнейшие пункты методики не выполняются.

6.4 Определение основной погрешности:

6.4.1 Основную погрешность определяют, устанавливая по эталонным приборам на входе датчика измеряемые температура, давление и влажность равные номинальным.

По эталонному миллиамперметру (или вольтметру) измеряют значения соответствующего выходного сигнала: тока от 4 до 20 мА (или напряжения для всех моделей с выходным сигналом в виде напряжения).

6.4.2 Подключение эталонов осуществляют в соответствии с эксплуатационной документацией на эти приборы.

6.4.3 Перед определением основной погрешности должны быть соблюдены требования п.4. и, в случае необходимости, откорректировано значение выходного сигнала, соответствующее нижнему предельному значению измеряемого параметра.

6.4.4 Основную погрешность определяют при пяти значениях измеряемой величины, достаточно равномерно распределённых в диапазоне измерений, в том числе при значениях измеряемой величины, соответствующих нижнему и верхнему предельным значениям выходного сигнала. Интервал между значениями измеряемой величины не должен превышать 30% диапазона измерений.

Основную погрешность определяют при значении измеряемой величины, полученной при приближении к нему как от меньших значений к большим, так и от больших к меньшим (при прямом и обратном ходе).

Перед поверкой при обратном ходе датчик выдерживают в течение 1 минуты под воздействием верхнего предельного значения измеряемого параметра, соответствующего предельному значению выходного сигнала.

При периодической поверке основную погрешность определяют в два цикла: до корректировки диапазона изменения выходного сигнала (калибровки) и после корректировки диапазона. Допускается второй цикл не проводить, если экспериментально определённая в первом цикле основная погрешность не превышает допустимого предела.

6.4.5 Основную погрешность γ_D в % нормирующего значения вычисляют по формулам:

$$\gamma_D = \frac{I - I_p}{I_{\max} - I_0} \times 100 \quad (16)$$

$$\gamma_D = \frac{U - U_p}{U_{\max} - U_0} \times 100 \quad (17)$$

где I – экспериментально полученное значение выходного сигнала на выходе датчика при измерении тока, мА;

U – экспериментально полученное значение выходного сигнала на выходе датчика при измерении напряжения, В;

P – экспериментально полученное значение выходного сигнала на показывающих устройствах датчика;

I_p, U_p – соответственно, расчётные значения тока (мА) и напряжения (В).

Датчик признают годным, если во всех проверяемых точках модуль основной погрешности не превышает максимально допустимого значения основной погрешности для конкретной модели датчика.

$$|\gamma_{\text{д}}| \leq |\gamma_{\text{осн}}| \quad (18)$$

Датчик признают негодным, если хотя бы в одной точке модуль основной погрешности превышает допустимое значение.

$$|\gamma_{\text{д}}| > |\gamma_{\text{осн}}| \quad (19)$$

6.5 Определение вариации:

6.5.1 Вариацию выходного сигнала определяют при каждом проверяемом значении измеряемого параметра, кроме значений, соответствующих нижнему и верхнему пределам измерений, по показаниям, полученным при определении основной погрешности.

6.5.2 Вариацию выходного сигнала γ_{Γ} , в % нормирующего значения вычисляют по формулам:

$$\gamma_{\Gamma} = \frac{I^* - I_p}{I_{\text{max}} - I_0} \times 100 \quad (20)$$

$$\gamma_{\Gamma} = \frac{U^* - U_p}{U_{\text{max}} - U_0} \times 100 \quad (21)$$

где I, I^* – действительные значения выходного сигнала на одной и той же точке при измерении на выходе тока, соответственно, при прямом и обратном ходе, мА;

U, U^* – действительные значения выходного сигнала на одной и той же точке при измерении на выходе напряжения, соответственно при прямом и обратном ходе, мВ, В.

Значения γ_{Γ} , полученные по вышеприведённым формулам, не должны превышать предела её допускаемого значения.

6.5.3 Вариацию выходного сигнала датчика не определяют, если предел её допустимого значения менее 0,5 предела допускаемой основной погрешности.

6.5.4 Допускается вместо определения действительного значения вариации осуществлять контроль соответствия её предельно допускаемым значениям.

7. Оформление результатов поверки:

Положительные результаты первичной поверки датчика оформляются записью в паспорте (раздел «Свидетельство о приёме»), заверенной поверителем и удостоверенной оттиском клейма.

Положительные результаты периодической поверки датчика оформляют выдачей свидетельства о поверке.

Положительные результаты периодической ведомственной поверки оформляют в порядке, установленном ведомственной метрологической службой.

При отрицательных результатах поверки датчик бракуют. При периодической государственной поверке выдают извещение о непригодности.

8. Достоверность методики выполнения поверки:

Установление допускаемой погрешности поверки, а также выбор эталонного средства измерения по точности осуществляется по параметрам методики поверки датчика мониторинга окружающей среды.

В качестве исходных данных для установления значений параметров методик поверки используем критерии достоверности поверки.

Основными критериями достоверности поверки:

– наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра средств измерения P_{bam} ;

– отношение наибольшего возможного модуля контролируемой характеристики погрешности средств измерения, которое может быть ошибочно признано годным к пределу её допускаемых значений $\{(\delta_M)_{\text{ba}}\}$.

Допустимые значения:

$$\{(\delta_M)_{\text{ba}}\} = 1.20;$$

$$P_{\text{bam}} = 0.40.$$

На основании указанных критериев достоверности поверки определим отношение предела допускаемого значения погрешности поверки к пределу допускаемого значения основной погрешности средств измерения – a_p , и допускаемую погрешность поверки Δ_{op} .

Предельные значения a_p выбираем из ряда: 1/10; 1/5; 1/4; 1/3; 1/2,5; 1/2.

В частном случае a_p является отношением погрешностей эталонного и поверяемого средства измерения.

При поверке необходимо установить соотношение a_p , которое обеспечивает неравенство:

$$P_{bam} \leq \{P_{bam}\}_p \text{ и } \{(\delta_M)_{ba}\} \leq \{(\delta_M)_{ba}\}_p \quad (22)$$

Это возможно лишь при условии сравнения полученного при поверке значения погрешности не с пределом допускаемого значения погрешности средств измерения Δ_{op} , а с контрольным допуском $\Delta_{o\gamma}$, который определяется по (23):

$$\left| \Delta_{o\gamma} \right| = \gamma \left| \Delta_{op} \right|, \quad (23)$$

где γ – абсолютное значение отношения границ поля контрольного допуска к модулю допускаемого значения характеристики.

Значение γ устанавливается на основании критериев достоверности поверки и выбранного значения a_p .

Для заданных значений $\{(\delta_M)_{ba}\} = 1.20$ и $P_{bam} = 0.40$ по таблице 3.1, согласно МИ 188–86 [28], проведем границу области.

Таблица 3.1 – Значения γ и $(\delta_M)_{ba}$

a_p	Значения γ и $(\delta_M)_{ba}$ при P_{bam} , равном										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0,90	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
	1,00	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09	1,09	1,10	1,10
1/5	0,80	0,88	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00

	1,00	1,08	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20
1/4	0,75	0,85	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
	1,00	1,10	1,13	1,16	1,18	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1/3	0,67	0,80	0,85	0,88	0,91	0,93	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00
	1,00	1,13	1,18	1,21	1,24	1,31	1,33	1,35	1,37	1,38	1,33
1/2,5	0,60	0,76	0,82	0,86	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	1,00
	1,00	1,16	1,22	1,26	1,29	1,31	1,33	1,35	1,37	1,38	1,40
1/2	0,50	0,70	0,77	0,82	0,86	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	1,00	1,20	1,27	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,46	1,48	1,50

Полученную границу перенесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Значения γ и $(P_{gr})_{mg}$

a_p	Значения γ и $(\delta_M)_{ba}$ при $P_{bам}$, равном										
	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1/10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/5	0,028	0,005	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1/4	0,067	0,016	0,009	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
1/3	0,140	0,047	0,027	0,018	0,012	0,009	0,007	0,005	0,004	0,003	0,002
1/2,5	0,207	0,079	0,047	0,032	0,023	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,006
1/2	0,305	0,133	0,087	0,062	0,045	0,035	0,027	0,023	0,019	0,016	0,013

Двигаясь по границе области, установим значения γ , a_p и $(P_{gr})_{mg}$ (Таблица 3.3), при которых выполняется требование.

Таблица 3.3 – Значения γ , a_p и $(P_{gr})_{mg}$

a_p	1/10	1/5	1/4	1/3	1/2,5	1/2
γ	1	1	0,95	0,85	0,76	0,7
$(P_{gr})_{mg}$	0	0	0,002	0,027	0,079	0,133

Для поверки датчика мониторинга окружающей среды рекомендовано использовать значение минимум $a_p = 1/3$, отсюда полученного ряда следует:

– средняя вероятность ошибочного признания дефектным годного датчика мониторинга окружающей среды составляет 2,7% (т.к. $(P_{gr})_{mg} = 0,027$);

– контрольный допуск составляет 0,85 допускаемой погрешности поверяемого датчика мониторинга окружающей среды, т.е. $\Delta_{ог} = 0,85\Delta_{оп}$. [29]

Выводы по разделу три:

В данном разделе рассчитана погрешность датчика мониторинга окружающей среды, составлены методика выполнения измерения и методика поверки.

4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДАТЧИКА

4.1 Алгоритм обмена данными с МК

1. Инициализация АЦП.

МК проводит инициализацию АЦП, калибрует его, затем проверяет его готовность считывать сигналы. На АЦП необходимо подавать опорное напряжение питания 5 В.

2. Прием сигнала.

Система ввода 1986ВЕ4У управляет встроенным мультиплексором, который выбирает один из сигналов: от ХР1, ХР2, ХР3. Такой подход позволяет измерять сигналы трех датчиков при помощи одного АЦП.

3. Оцифровка сигнала.

АЦП преобразует измеренное напряжение в код, для последующей передачи этого кода на МК. АЦП работает в двух режимах (режиме одиночного преобразования и постоянного преобразования). Одиночное преобразование АЦП может быть инициировано в программном обеспечении, установлением бита 1 регистра ADC0MDE / ADC1MDE ($ADCxMDE [2:0] = 010$). После завершения однократного преобразования АЦП возвращается в режим ожидания.

4. Обработка данных.

Когда преобразование готово МК считывает код, полученный на АЦП, затем преобразует его в величину температуры, давления, влажности.

5. Передача данных по интерфейсу UART.

После завершения преобразования МК передает значение с помощью токового интерфейса UART. С выхода микроконтроллера PB1 (TX) на вход трансивера UPRX передаются управляющие AT-команды для вывода модуля из спящего режима и передачи данных по беспроводной сети. А через порт PB2 (RX)

микроконтроллер принимает информацию от радиомодуля (входящие пакеты и информацию о доставке).

6. Передача данных по сети ZigBee.

МК выводит приемопередатчик из режима сна и передает команду AT+CIPSEND по интерфейсу UART. После получения данной команды модуль выводит приглашение ">" и переходит в режим приема данных через UART, после приема данных необходимой длины передает их в радиоканал. При успешной передаче возвращает в МК сообщение "SEND OK", при неудаче сообщение "ERROR". Длина данных в передаваемом пакете до 2048 байт.

7. Условие завершения измерений.

При отключении питания, МК перестает подавать сигналы считывания данных на АЦП, система завершает работу.

Если питание не отключено, производится очистка и сброс внутренних регистров, измерения продолжаются. Выполнение алгоритма продолжается с пункта 2 «Прием сигнала».

На рисунке 4.1 представлена блок-схема алгоритма работы МК при измерениях.

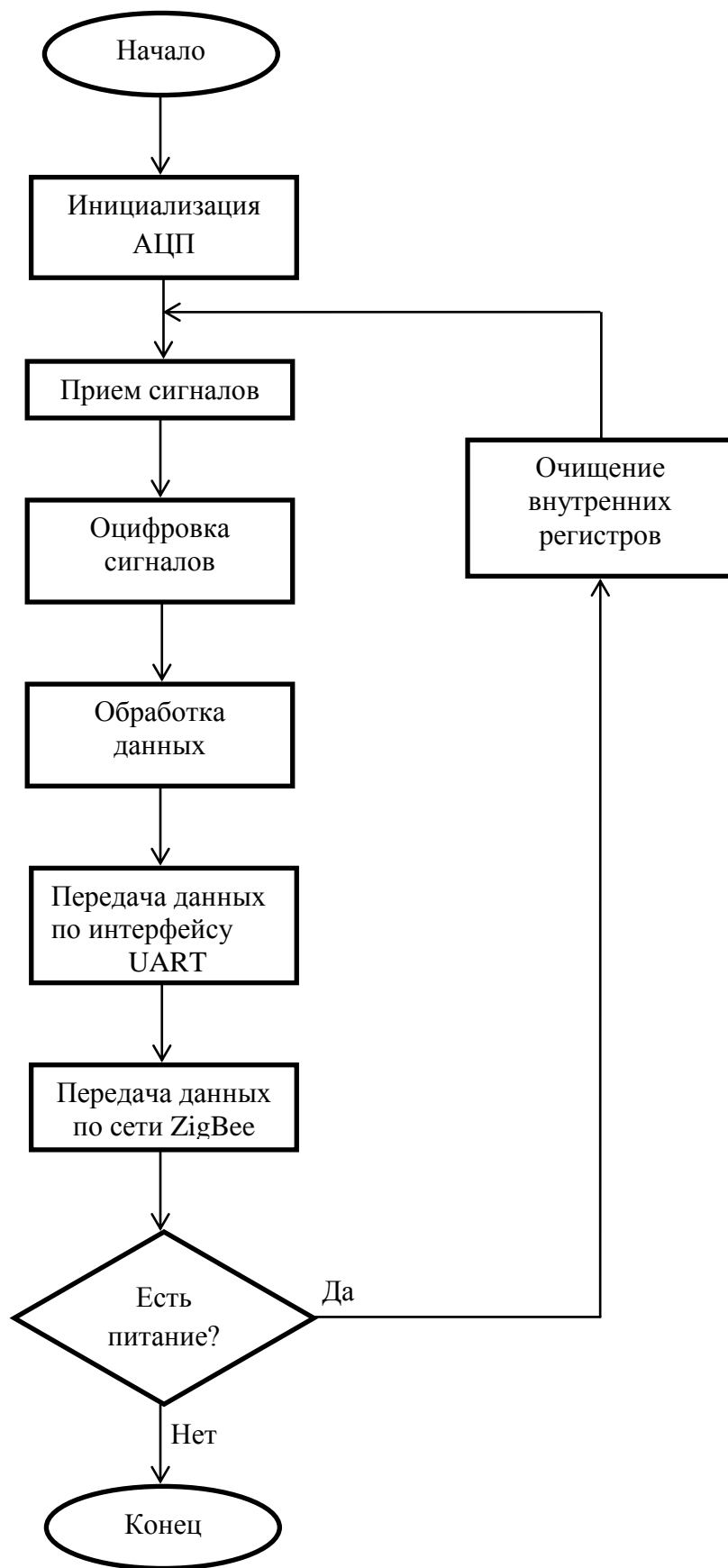


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма работы МК при измерениях

Выводы по разделу четыре:

Описан алгоритм работы микроконтроллера при измерениях в виде блок-схемы и на естественном языке.

5 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

5.1 Расчёт себестоимости. Определение оптовой цены

Расчет себестоимости устройства можно осуществить с помощью расчетно-аналитического метода. Его сущность сводится к тому, что прямые затраты на единицу продукции определяются путем нормативного расчета себестоимости проектируемого устройства по статьям калькуляции. По существующей классификации затрат принят следующий состав статей калькуляции:

- сырье и материалы;
- возвратные отходы;
- покупные комплектующие изделия;
- основная заработная плата производственных рабочих;
- отчисления на социальные нужды с заработной платы.

5.1.1 Сырье и материалы

Эта статья включает в себя затраты на основные материалы, расходуемые, в нашем случае, на изготовление печатного узла.

Таблица расхода материалов в расчете на печатную плату:

Таблица 5.1 – Расход материалов

Наименование материалов	Ед. изм.	Норма расх. на 1 изд.	Цена на ед. измер.	Стоимость материалов, руб.
Стеклотекстолит	кг	0,12	85	10,2
Припой	кг	0,015	347,71	5,22
Флюс	кг	0,003	61	0,18
Лак	кг	0,018	32	0,58
Спирт	кг	0,02	65	1,3
Хлористое железо	кг	0,03	45	1,35
Итого				18,83

В калькуляцию включается стоимость материалов с учетом транспортно-заготовительных расходов. Получаем $18,83 \times 0,03 = 0,57$ руб.

Итого $18,83 + 0,57 = 19,4$ руб.

5.1.2 Возвратные отходы

Считаем, что они составляют 1 % от стоимости материалов:

$19,4 \times 0,01 = 0,2$ руб.

5.1.3 Покупные комплектующие изделия, полуфабрикаты и услуги кооперирующихся предприятий

Эта статья включает в себя затраты на приобретенные готовые изделия и полуфабрикаты.

Составим таблицу для расчета стоимости покупных комплектующих изделий:

Таблица 5.2 – Стоимость комплектующих

Наименование, тип элемента	Кол-во шт.	Цена за 1 шт. руб.
1986BE4Y	1	13207,74
CC2530	1	287,58
DS18B20	1	100
SYH-2RNC	1	191
BMD040	1	490
ЕСАР (К50-35 мини), 22 мкФ	1	3
К10-17Б, 0,1 мкФ	3	4
0603 X5R, 10 нФ	2	5,1
0603 X7R, 100 нФ	1	2
К10-17Б, 18 пФ	2	2
К10-17Б, 1 пФ	2	4
К10-17Б, 2,2 пФ	1	14
К10-17Б, 15 пФ	2	2
К10-17Б, 27 пФ	2	3
ЕСАР (К50-35 мини), 1 мкФ	1	5
CF-100 (C1-4), 4,7 кОм	1	3

Продолжение таблицы 5.2

Наименование, тип элемента	Кол-во шт.	Цена за 1 шт. руб.
CF-25 (C1-4), 82 кОм	1	2
CF-100 (C1-4), 680 кОм	1	3
CF-100 (C1-4), 22 кОм	1	3
CF-100 (C1-4), 56 кОм	1	3
LQW18AN2N2D, 2,2 нГн	2	12
НС-49U, 30 МГц	1	26
НС-49U, 32,768 МГц	1	18
Итого	31	14426,52

Транспортно-заготовочные расходы составляют 5% от общей стоимости комплектующих изделий: $14426,52 \times 0,05 = 721,33$ руб.

Итого: $14426,52 + 721,33 = 15147,85$ руб.

5.1.4 Основная заработная плата производственных рабочих

Эта статья включает в себя основную заработную плату как производственных рабочих и других категорий работников за работу, непосредственно связанную с изготовлением продукции.

Основная заработная плата определяется прямым путем по формуле:

$$Z_O = Z_T + Z_{\Pi}, \quad (24)$$

где Z_T – заработная плата по тарифу;

Z_{Π} – доплаты по сдельно и повременно-премиальным системам (20 %).

Заработная плата по тарифу рассчитывается по формуле:

$$Z_T = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_{li} \cdot K_{npi}, \quad (25)$$

где t_i – трудоемкость 1-ой операции (виды работ);

C_{1i} – тарифная ставка первого разряда;

K_{npi} – тарифный коэффициент, соответствующий разряду работ по 1-ой операции;

n – количество видов работ (операций).

Тарифная ставка для первого разряда: $C_{1i} = 70,21$ руб/час.

Тарифный коэффициент для третьего разряда: $K_{npi} = 1,33$.

Тарифный коэффициент для четвертого разряда: $K_{npi} = 1,5$.

Таблица 5.3 – Заработная плата производственным рабочим

Наименование деталей (узлов)	Кол-во деталей	Наименование операции	Разряд работы	Норма времени		Часовая тариф. ставка руб/час	З/П руб
				Деталь/ час	Изделие/ час		
Печатная плата	1	Сверление отверстий	4	0,2	0,8	105,31	84,25
		Травление	3	0,1	0,2	93,3	18,68
		Металлизация и трассировка	4	0,3	0,6	105,31	63,19
		Покрытие лаком	3	0,5	1	93,3	93,38
		Сборка	3	0,2	0,8	93,3	74,70
Установочный набор ЭРЭ	1	Монтаж	3	0,5	1	93,3	93,38
		Электр. проверка	4	0,01	0,02	105,31	2,11
Печатный узел	1	Проверка	4	–	0,05	105,31	5,27
Изделие	1	Регулировка	4	–	0,5	105,31	52,66
		Контроль ОТК	4	–	0,8	105,31	84,25
Итого							571,85

5.1.5 Дополнительная заработная плата

В дополнительную заработную плату производственных рабочих входят выплаты за очередные и дополнительные отпуска, перерывы в работе и т.д.

$$З_д = 0,2 \times 571,85 = 114,37 \text{ руб.}$$

5.1.6 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальное страхование принимаются в размер 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы рабочих:

$$З_{OC} = 0,3 \times (З_0 + З_д) = 0,3 \times (571,85 + 114,37) = 686,22 \text{ руб.}$$

5.1.7 Расходы на подготовку и освоение производства

Расходы на освоение и подготовку производства в процентах от основной заработной платы производственных рабочих 40-60 %:

$$P_{II} = 0,5 \times 571,85 = 285,92 \text{ руб.}$$

5.1.8 Расходы на износ инструмента и приспособлений целевого назначения и специальные расходы

Для серийного производства, специализированного на выпуске данной продукции, эти расходы составляют 25 % от основной заработной платы производственных рабочих:

$$P_{И} = 0,25 \times 571,85 = 142,96 \text{ руб.}$$

5.1.9 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Данные расходы составляют 40 % от основной заработной платы:

$$P_C = 0,4 \times 571,85 = 228,74 \text{ руб.}$$

5.1.10 Цеховые расходы

Цеховые расходы принимаем равными 120 % от основной заработной платы:

$$P_{Ц} = 1,2 \times З_0 = 1,2 \times 571,85 = 686,22 \text{ руб.}$$

5.1.11 Общезаводские расходы

Общезаводские расходы принимаем равными 5 0% от основной заработной платы:

$$P_{O3} = 0,5 \times 571,85 = 285,92 \text{ руб.}$$

5.1.12 Полная себестоимость

Полная себестоимость изделия вычисляется по формуле:

$$C_{\Pi} = P_{M} + B_{OTX} + C_{И} + Z_{O} + Z_{Д} + Z_{OC} + P_{\Pi} + P_{И} + P_{C} + P_{Ц} + P_{O3} \quad (26)$$

$$C_{\Pi} = 18,83 + 0,2 + 15147,85 + 571,85 + 114,37 + 686,22 + 285,92 + 142,96 + 228,74 + 686,22 + 285,92 = 18168,38 \text{ руб.}$$

5.1.13 Оптовая цена изделия

Оптовая цена изделия, обеспечивающая возмещение издержек предприятия-изготовителя и получение прибыли не ниже отраслевой нормы по аналогичной продукции:

$$Ц_{O} = C_{\Pi} \times (1 + \Pi/100), \quad (27)$$

где Π – плановый процент прибыли ($\Pi=14\%$)

$$Ц_{O} = 18168,38 \times (1 + 0,14) = 20711,95 \text{ руб.}$$

$$\text{Плановая прибыль: } Ц_{\Pi} = Ц_{O} - C_{\Pi} = 20711,95 - 18168,38 = 2543,57 \text{ руб.}$$

5.2 Расчёт эксплуатационных расходов

Текущие расходы эксплуатации устройств радиоэлектронной аппаратуры:

- стоимость потребляемой электроэнергии;
- прочие затраты.

5.2.1 Стоимость потребляемой электроэнергии

Прибор питается от батареи, выходное напряжение которой 5 В. Средняя стоимость такой батареи около 50 руб. Поэтому примем $C_э = 50$ руб.

5.3 Экономическое обоснование работы

Для расчета экономического эффекта проекта сравним стоимость датчиков на основе заводского исполнения и на основе разрабатываемой системы.

Полная себестоимость датчика мониторинга окружающей среды составляет 18215,9 руб.

Таблица 5.4 – Стоимость датчиков на основе заводского исполнения

Наименование	Цена за 1 шт., руб.	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.
Измеритель параметров микроклимата МТЕОСКОП-М	39900	1	39900
Итого			39900

Выводы по разделу пять:

Из сравнения полученных результатов видно, что экономический эффект составляет 21731,62 руб., при этом наша разработка нисколько не потеряла в точности. Исходя из этого, разрабатываемое устройство являются экономически более выгодным по сравнению с готовым исполнением.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Безопасность жизнедеятельности – наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека с техносферой, представляет собой область научных знаний, изучающая опасности угрожающие человеку и разрабатывающие способы защиты от них в любых условиях обитания человека. Основной целью «Безопасности жизнедеятельности» является обеспечение безопасности и создание комфортных условий жизнедеятельности, что на данном этапе развития техносферы не всегда осуществимо. Вероятность осуществления трудовой деятельности в опасных условиях техносферы достаточно высока. Отклонения от допустимых условий деятельности всегда сопровождаются воздействием негативных факторов на человека, что отрицательно влияет на производительность труда, ухудшает самочувствие, приводит к травмам и заболеваниям, а иногда и гибели людей.

В данной выпускной квалификационной работе был разработан датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных.

6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [30] «Опасные и вредные производственные факторы». На человека могут воздействовать: физические, химические, биологические, психофизиологические производственные факторы.

При работе с электроприбором может проявиться ряд опасных и вредных факторов.

Электрические факторы, обусловленные:

- повышенным уровнем электромагнитных излучений;
- повышенным уровнем статического электричества;
- повышенной напряженностью электрического поля;
- повышенной напряженностью магнитного поля.

Электрические факторы появляются из-за электрических сетей, электроприборов, оборудования с электроприводом и т. п. Данные факторы могут повлечь за собой:

- механические травмы;
- психические травмы;
- ожоги.

Психофизиологические факторы, обусловленные статическими физическими перегрузками:

- продолжительная работа с датчиком;
- работа в неудобной позе.

Психофизиологические факторы, обусловленные нервно-психическими перегрузками:

- умственным перенапряжением;
- перенапряжением анализаторов;
- монотонностью труда;
- эмоциональные перегрузки.

Психофизиологические факторы являются причиной:

- радикулита;
- миозита;
- психических расстройств;
- усталости и др.

Для предотвращения возникновения перечисленных опасностей необходимо соблюдать меры безопасности при работе с электроприбором.

6.2 Анализ условий эксплуатации

Разрабатываемый датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных предназначен для использования в неагрессивных условиях при температуре от -55 до $+125$ °С.

Датчик стационарно закреплен на стене в помещении, где необходимо контролировать температуру, влажность и давление. При выборе места установки и положения следует учитывать необходимость доступа к датчику. Устройство автоматизировано, не требуя участия оператора, однократно проводит измерения и отправляет данные по беспроводной технологии передачи информации на систему умный дом, удаленный ПК или другие гаджеты пользователя, подключенные к системе.

Для достижения максимальной надежности передачи, антенна должна быть установлена вертикально, на некотором удалении от металлических труб или металлических стен, поскольку труба или стена могут негативно повлиять на передачу сигнала.

Нормальные условия применения приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Нормальные условия применения

Влияющая величина	Допустимое значение
Температура окружающего воздуха, °С	20 ± 2
Относительная влажность воздуха, %	до 80
Атмосферное давление, кПа (ммрт.ст.)	100 ± 4 (750 ± 30)
Внешнее магнитное поле	Магнитное поле Земли

6.3 Соответствие требованиям безопасности

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и

Источником опасности при монтаже и эксплуатации датчика являются электрический ток. По способу защиты человека от поражения электрическим током датчик относится к классу 01 по ГОСТ 12.2.007.0-75. [31]

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;

- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей;
- предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Использование питания от батареи защитит систему от перепадов напряжения в электрической сети. При эксплуатации корпус датчика должен быть заземлен.

6.4 Соответствие оборудования требованиям эргономики

Эргономика – наука о приспособлении рабочих мест, предметов и объектов труда, а также компьютерных программ для наиболее безопасного и эффективного труда работника, оптимизации средств и условий труда, исходя из физических и психических особенностей человеческого организма.

Устройство соответствует требованиям эргономики (ГОСТ 12.2.064-8 [32]).

Значения усилий, прилагаемых к кнопке включения/выключения, не превышает допустимые динамические нагрузки на двигательный аппарат человека.

Поверхность кнопки включения/выключения выполнена из нетоксичных, нетеплопроводных и электроизоляционных материалов.

Кнопка включения/выключения обозначена символы выключателя (вертикальная черта в кольце – кнопка предназначена и для включения, и для выключения прибора), выполнена в круглой форме.

Форма и размеры кнопки включения/выключения обеспечивает удобство её применения. Рабочая поверхность кнопок предназначена для управления пальцем, имеет плоскую форму.

Значение хода кнопки включения/выключения обеспечивает визуальное различие положений «включено» и «выключено».

В момент приведения в действие кнопки включения/выключения её конструкция обеспечивает упругое сопротивление пальцу, а после завершения действия сигнализирует об этом механически – падение упругого сопротивления, акустически – «щелчок».

На корпусе датчика нанесены:

- товарный знак предприятия-изготовителя;
- условное обозначение датчика;
- диапазон измеряемых температур, влажности и давления;
- единицы измерений (°С, %, кПа);
- выходной сигнал;
- предел допускаемой основной приведенной погрешности;
- значение параметров питания;
- порядковый номер датчика по схеме нумерации предприятия-изготовителя;
- год выпуска;
- «Россия» (наносится на датчики для экспорта).

На съемной крышке имеется предупредительная надпись «открывать, отключив от сети».

Выводы по разделу шесть:

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассмотрена проблема безопасности жизнедеятельности, связанная с работой на предложенной модели датчика мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных.

Произведена классификация опасных и вредных производственных факторов, особо выделены те, которые имеют непосредственное влияние при работе с прибором.

В связи с этим, были изучены нормативные документы, сертификаты и правила, определялись пути решения проблем, для сокращения пагубного влияния на человека и обеспечения безопасных условий труда операторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были получены следующие результаты:

1. Проведен обзор принципов работы первичных преобразователей температуры, давления, влажности и рассмотрены аналогичные устройства.
2. Разработана функциональная схема прибора.
3. Разработана принципиальная электрическая схема прибора.
4. Разработано метрологическое обеспечение цифрового датчика (рассчитана погрешность измерительного канала, создана методика выполнения измерения и методика поверки).
5. Разработан алгоритм работы микроконтроллера при выполнении измерений.
6. Охарактеризована экономическая целесообразность проекта и безопасность жизнедеятельности при работе с устройством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Испытания воздушно-реактивных двигателей: Учебник для вузов по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки»./ А.Я. Черкез, И.И. Онищик, Е.М. Таран и др.; под общей ред. А.Я. Черкеза. – М.: Машиностроение, 1992. – 304 с.; ил.

2 Щепакин, К.М. Первичные преобразователи. – https://studopedia.su/15_153345_pervichnie-preobrazovateli-datchiki.html [дата обращения 01.02.2018].

3 Лурье, Г.И. Датчики давления для общепромышленного применения. Часть 1 / Г.И. Лурье. – М.: ИНФРА, 2009. – 9 с.

4 Козлов, М.Г. Метрология и стандартизация: учебник./ М.Г. Козлов. – М., СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. – 372 с.

5 Кестер, У. Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков / Уолт Кестер; пер. с англ. Горшков Б.Л. – СПб.: АВТЭКС, 2015. – 311 с.

6 Термопары и их применение. – http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/terpara.html [дата обращения 05.02.2018].

7 Термометры сопротивления. – <https://rusautomation.ru/termometriya/termsoprotivleniya> [дата обращения 05.02.2018].

8 Датчики влажности – как устроены и работают. – <http://elektrik.info/main/automation/1083-datchiki-vlazhnosti-kak-ustroeny-i-rabotayut.html> [дата обращения 05.02.2018].

9 Скуснов, А. ZigBee: обзор технологии / А. Скуснов // Компоненты и технологии. – 2005. – № 3. – С. 176-179.

10 Дмитриев, В. Технология ZigBee / В. Дмитриев // Компоненты и технологии. – 2004. – № 1. – С. 70-74.

11 Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств /Г.И. Волович. – 3-е изд. стер. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2011. – 528 с. :ил.

12 Микросхемы АЦП и ЦАП. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2010. – 432 с. :ил. + CD.

13 Инструкция на беспроводной датчик температуры и влажности воздуха Scientech TH-3. – 2013. – 4 с.

14 Инструкция на терморегулятор Thermoreg TI-950. – 2013. – 7 с.

15 Инструкция на беспроводную систему измерения температуры и влажности в закрытых помещениях testo Saveris-2. – 2015. – 8 с.

16 ГОСТ 24855-81. Издания. Преобразователи измерительные тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления аналоговые. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 30 с.

17 ГОСТ 26.011-80. Издания. Средства измерений и автоматизации. Сигналы тока и напряжения электрические непрерывные входные и выходные. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 6 с.

18 Спецификация 1986BE4У, К1986BE4У, К1986BE4УК, 1986BE4У1, К1986BE4У1, К1986BE4У1К, К1986BE4Н4. – АО «ПКК Миландр», 2015. – 344 с.

19 DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermimeter. – 20 p.

20 Honeywell ННН-4010/4020/4021 Series Humidity Sensors. – 9 p.

21 BMD040 Analog pressure sensor. – 15 p.

22 CC2530F32, CC2530F64, CC2530F128, CC2530F256. – 36 p.

23 МИ 222.80. Издания. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 24 с.

24 ГОСТ Р 8.563-2009. Издания. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 13 с.

25 ГОСТ Р 50.2.038-2004. Издания. ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 7 с.

26 МИ 1317-2004. Издания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров образцов продукции и контроле их параметров. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 43 с.

27 Р 50-453-84. Издания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 21 с.

28 МИ 188-86. Издания. Государственная система обеспечения единства измерений. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1986 – 32 с.

29 Правила метрологии. Порядок проведения поверки средства измерения, ПР50.2.006-94, 2001. – №476.

30 ГОСТ 12.0.003-74. Издания. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1974 – 22 с.

31 ГОСТ 12.2.007.0-75. Издания. Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1975 – 16 с.

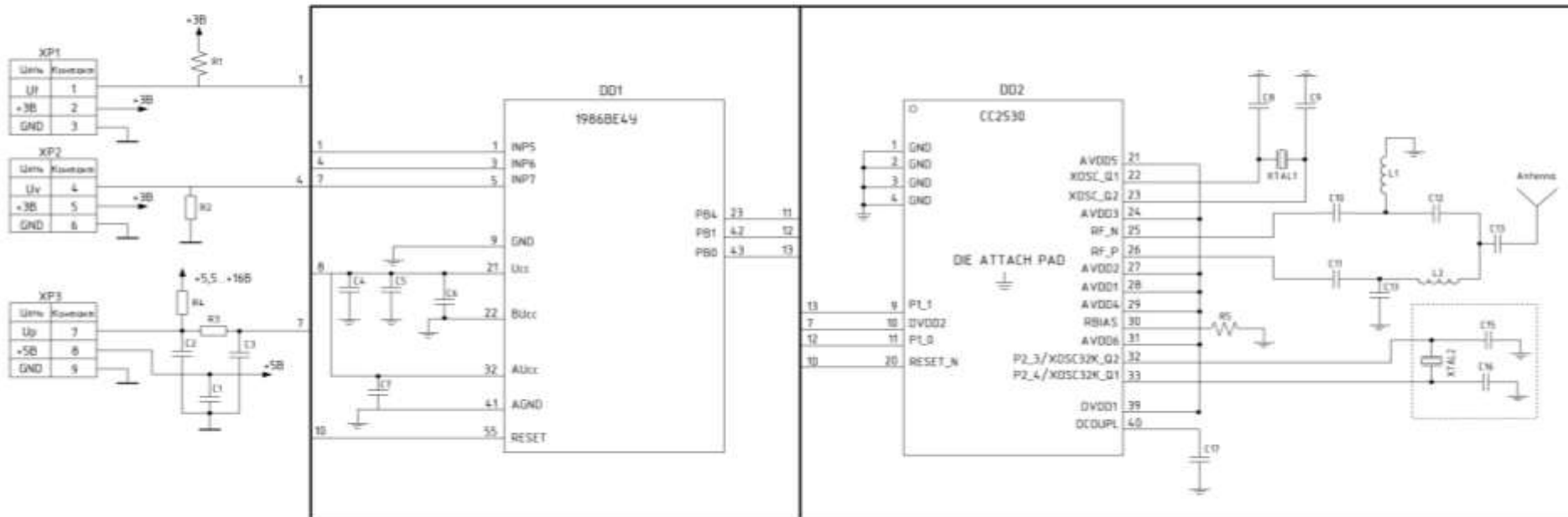
32 ГОСТ 12.2.064-81. Издания. Система стандартов безопасности труда. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1981 – 8 с.

33 Буйлушкина, Л.Н. Методические рекомендации по подготовке и оформлению выпускной квалификационной работы (проекта) для технических направлений подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.04 Программная инженерия, 12.03.01 Приборостроение, 23.03.01 Технология транспортных процессов / Л.Н. Буйлушкина. – Нижневартовск, 2017. – 35с

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ДАТЧИКА МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ

Принципиальная электрическая схема датчика мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных представлена на рисунке А1.



				12.03.01.447.ПЗ		
				Датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной передачей данных		
Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Лит	Масса
Разраб		Оганян Н.Н.			В	К
Провер		Брагава Е.В.			Р	
Н. контр		Будилевича Л.Н.			Лист 101 Листов 104	
Инженер		Яковлев А.В.			Филиал ФГАОУ ВО "ЮрГУ (НИИ)" в г. Нижнеартабск кафедра "Информатика"	

Поз. обозн.	Наименование				Кол.	Примечание																
	<i>Кварцевые резонаторы</i>																					
XTAL1	НС-49U, 30 МГц				1																	
XTAL2	НС-49U, 32,768 МГц				1																	
	<i>Микросхемы</i>																					
DD1	1986BE4У				1	Микроконтроллер																
DD2	CC2530				1	Модуль ZigBee																
	<i>Резисторы</i>																					
R1	CF-100 (C1-4), 4,7 кОм, 5%				1																	
R2	CF-100 (C1-4), 82 кОм, 5%				1																	
R3	CF-100 (C1-4), 22 кОм, 5%				1																	
R4	CF-100 (C1-4), 680 кОм, 5%				1																	
R5	CF-100 (C1-4), 56 кОм, 5%				1																	
	<i>Конденсаторы</i>																					
C1, C2	0603 X5R, 10 нФ, 10%				2																	
C3	0603 X7R, 100 нФ, 10%				1																	
C4	ECAP (K50-35 мини), 22 мкФ				1																	
C5-C7	K10-17Б 0,1 мкФ, 10%				3																	
C8, C9	K10-17Б 27 пФ, 5%				2																	
C10, C11	K10-17Б 18 пФ, 5%				2																	
C12, C13	K10-17Б 1 пФ, 5%				2																	
C14	K10-17Б 2,2 пФ, 20%				1																	
C15, C16	K10-17Б 15 пФ, 5%				2																	
C17	ECAP (K50-35 мини), 1 мкФ				1																	
	<i>Катушки</i>																					
L1, L2	LQW18AN2N2D, 2,2 нГн, 5%				2																	
	<i>Вилки</i>																					
XP1	Гнездо сенсора температуры				1																	
					12.03.01.2018.447.ПЗ																	
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата																	
Инв.№ подл.	Разработал	Огонян Н.Н.				<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Лит.</td> <td>Лист</td> <td>Листов</td> </tr> <tr> <td>В</td> <td>К</td> <td>Р</td> <td>102</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">104</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»</td> </tr> </table>	Лит.		Лист	Листов	В	К	Р	102	104				Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»			
	Лит.		Лист	Листов																		
	В	К	Р	102																		
	104																					
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»																						
Проверил	Юрасова Е.В.																					
Н. контр	Буйлушкина Л.Н.																					
Утвердил	Ялаев А.В.																					
Датчик мониторинга окружающей среды с беспроводной																						

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. КОМПАКТ-ДИСК

Содержание:

1. Пояснительная записка.
2. Презентация.