

Аннотация

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Белова Михаила Владимировича по теме «Портативный модуль экологического мониторинга с удаленным доступом». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2016 году.

Пояснительная записка: 87с., 4 разд., 37 рис., 13 табл.

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: цифровое кодирование НЧ сигналов, импульсно-кодовая модуляция, сети на основе технологий Wi-Fi и WiMax, модуль последовательного интерфейса TWI, модуль последовательного интерфейса SPI, принципиальная схема, микроконтроллер семейства ATmega, программирование контроллера.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорного модуля экологического мониторинга. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема модуля, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата модуля. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

Содержание

Введение	5
1 Исследование современного состояния оборудования для систем экологического мониторинга	6
1.1 Цифровое кодирование НЧ сигналов.....	7
1.2 Методы и алгоритмы сжатия информации НЧ сигналов.....	9
1.2.1 Импульсно-кодовая модуляция	10
1.2.2 Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция.....	12
1.3 Специализированные синтезаторы НЧ сигналов.....	14
1.4 Анализ требований к системе управления модуля мониторинга.....	17
1.4.1 Структура и функциональные возможности МК ATmega.....	17
1.4.2 Выбор управляющего микроконтроллера	19
1.5 Анализ применимости беспроводных технологий передачи данных	21
1.5.1 Сети на основе технологии Wi-Fi.....	22
1.5.2 Сети на основе технологии WiMax.....	24
1.5.3 Сравнение сетей на основе технологий Wi-Fi и WiMax.....	25
2 Расчетная часть. Проектирование портативного модуля мониторинга	28
2.1 Анализ аппаратных модулей микроконтроллера ATmega128	28
2.1.1 Модуль аналого-цифрового преобразователя	28
2.1.2 Модуль последовательного интерфейса TWI.....	31
2.1.3 Модуль последовательного интерфейса SPI.....	33
2.1.4 Модуль универсального приемо-передатчика USART.....	36
2.2 Разработка функциональной схемы модуля мониторинга.....	38
2.3 Выбор элементной базы модуля мониторинга	41
2.3.1 Трансивер беспроводного доступа	41
2.3.2 Трансивер интерфейса SPI\USB	44
2.3.3 Внешняя flash-память данных	47
2.3.4 Графический ЖК индикатор высокого разрешения	48
2.4 Разработка канала голосового сопровождения	49
2.5 Расчет надежности разработанного модуля мониторинга.....	51

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию портативного модуля экологического мониторинга.....	55
3.1 Реализация модуля мониторинга	55
3.1.1 Предварительная настройка	55
3.1.2 Главный цикл программы.....	56
3.1.3 Очистка внешней flash-памяти данных	56
3.1.4 Аналого-цифровое преобразование.....	58
3.1.5 Запись данных во внешнюю память DataFlash	60
3.1.6 Воспроизведение данных из внешней памяти DataFlash	61
3.2 Подключение и организация работы синтезатора речи.....	63
3.2.1 Подключение аналоговых цепей синтезатора	63
3.2.2 Управление режимами работы синтезатора	65
3.3 Программно-аппаратные средства поддержки ATmega	68
4 Оценка экономической эффективности внедрения модуля мониторинга.....	73
4.1 Выбор и обоснование базового варианта.....	73
4.2 Расчет экономической эффективности	75
4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные».....	76
4.2.2 Затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»	76
4.2.3 Затраты по статье «Зарплата».....	77
4.2.4 Отчисления и накладные расходы	79
4.2.5 Себестоимость продукции	79
4.2.6 Расчет экономического эффекта.....	80
Заключение	83
Список литературы	84

Введение

Определение экологического мониторинга или мониторинга окружающей среды законодательно определено в Федеральном законе от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и Федеральном законе от 19.07.98 года № 113-ФЗ «О гидрометеорологической службе». Полномочия по осуществлению экологического мониторинга возложены как на органы государственной власти Российской Федерации, так и на субъекты Федерации.

Мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов. Реализация этой задачи подразумевает создание различных систем экологического мониторинга за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных водных объектов, почв, зеленых насаждений, уровней шума, опасных геоэкологических процессов и пр. Системы могут разрабатываться на уровне промышленного объекта, города, области, края, республики в составе федерации [1-5].

Как правило, действующие системы экологического мониторинга, реализуемые как научными учреждениями, так и федеральными органами, малоэффективны не только по причине низкой технической оснащенности, но и, в значительной мере, в силу игнорирования современных методов получения и обработки данных.

Очевидно, что для составления прогнозов и реализации экологических программ кроме традиционных малоинформативных сводок о доле показателей, превышающих предельно допустимые концентрации, необходимо получение в реальном времени значений контролируемых параметров с целью построения краткосрочных и долгосрочных моделей экологической обстановки.

Разработка и применение портативных модулей экологического мониторинга с удаленным доступом, способных работать в автоматическом режиме, значительно упрощает решение указанных выше задач.

1 Исследование современного состояния оборудования для систем экологического мониторинга

Для оценки экологического состояния окружающей среды нужно, прежде всего, обеспечить оперативное получение информации об изменении экологических показателей, характеризующих состояние экосистемы. Существует большое количество экологических показателей, которые несут информацию о состоянии растительного и животного мира, земельных и водных ресурсов, атмосферы и пр. Получение достоверной экологической информации о динамике изменения каждого компонента экосистемы является очень важной составляющей в процессе прогнозирования и принятия решений.

Среди большого количества экологических показателей очень информативными являются показатели загрязнения атмосферного воздуха:

- а) объем и состав выбросов загрязнителей из стационарных источников;
- б) объем и состав выбросов загрязнителей из передвижных источников;
- в) среднегодовое (среднесуточное) содержание загрязнителей в воздухе зон жилищной застройки населенных пунктов.

Именно по этим показателям и осуществляется экологический мониторинг атмосферного воздуха в РФ.

На территориях, «не охваченных» постоянными пунктами наблюдения проводятся специализированные экологические обследования атмосферного воздуха с использованием передвижных экологических лабораторий, оснащенных современным газоаналитическим оборудованием.

Проведение мониторинга с использованием автономных модулей подразумевает использование датчиков различных физических величин, имеющих стандартный цифровой выход или выходной сигнал в виде напряжения постоянного тока. Использование датчиков с ненормированным сигналом (сенсоров) требует использования внешних аппаратно реализуемых или встроенных программно управляемых интерфейсных схем, приводящих сигналы датчиков к требуемой форме и уровню, что увеличивает затраты на используемое оборудование.

Поэтому при дальнейшей работе будем ориентироваться именно на датчики со стандартным выходом. В этом случае будет не важно, какой именно параметр измеряется, и не потребуются интерфейсные схемы.

Разрабатываемый модуль мониторинга должен записывать сигналы датчиков и передавать их на графический ЖКИ высокого разрешения или по USB интерфейсу на ПК (автономный режим). В режиме удаленного доступа (радиоинтерфейс) данные передаются на Host компьютер системы экологического мониторинга.

При работе в автономном режиме модуль мониторинга должен обеспечить выдачу предупреждающих речевых сообщений об имеющихся превышениях предельно допустимых уровней (концентраций) контролируемых параметров. Учитывая универсальность разрабатываемого модуля мониторинга, должна быть обеспечена возможность оперативного изменения количества и содержания предупреждающих аудиосообщений.

Поэтому прежде чем приступить к разработке модуля мониторинга, необходимо проанализировать принципы цифрового преобразования, сжатия и обратного синтеза аналоговой информации. Учитывая, изменения контролируемых экологических параметров во времени незначительны и что верхняя частота диапазона частот голоса человека может быть ограничена 3,4 кГц (стандарт телефонии), в дальнейшем будем называть их низкочастотными (НЧ) сигналами.

1.1 Цифровое кодирование НЧ сигналов

Одним из самых простых способов записи и воспроизведения НЧ сигналов заключается в преобразовании их в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При этом НЧ сигнал подвергается дискретизации, квантуется и запоминается в цифровой форме, как показано на рисунке 1.1.

Для воспроизведения предварительно записанного («оцифрованного») сигнала данные по заданному адресу извлекаются из памяти и подаются на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), на выходе которого стоит фильтр нижних частот. Данный способ обеспечивает достаточно хорошее качество речи, на нем

основана работа большинства «говорящей» радиоаппаратуры.

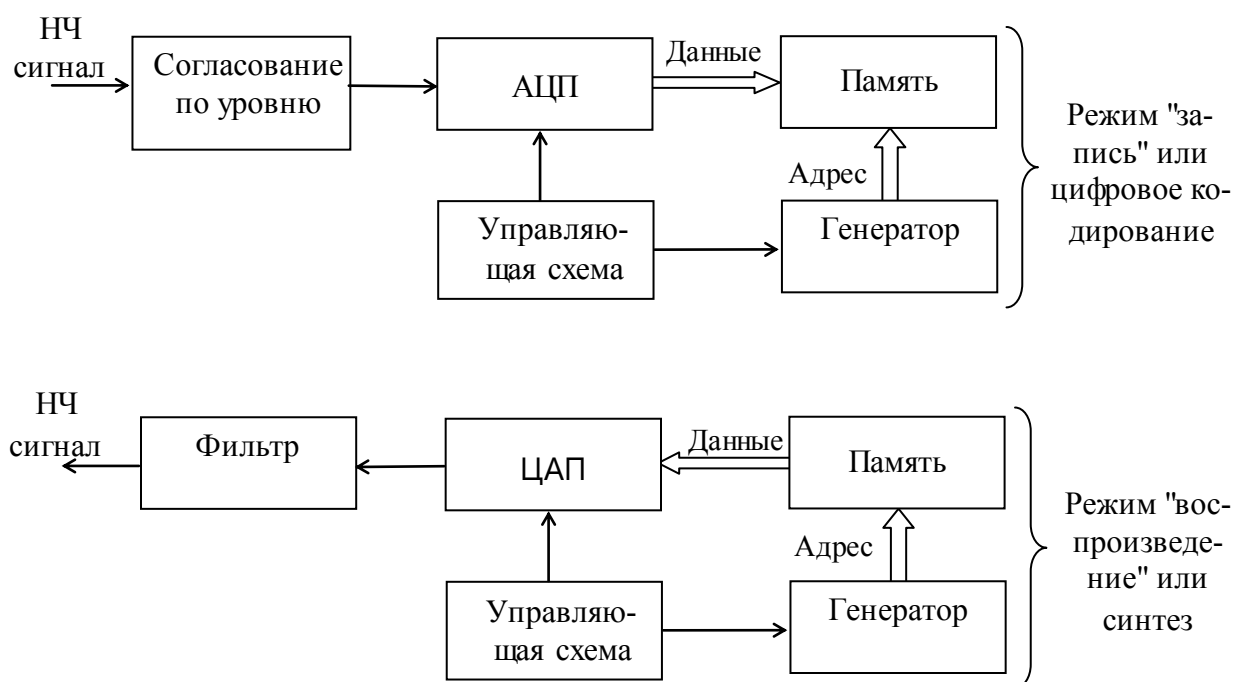


Рисунок 1.1 - Цифровое кодирование НЧ сигналов.

Непосредственное использование метода требует большого объема памяти, поскольку для качественной записи и воспроизведения НЧ сигналов устройство должно иметь соответствующую полосу пропускания.

Согласно теореме Котельникова-Шеннона любая непрерывная функция $x(t)$ с ограниченным спектром может быть точно представлена последовательностью своих отсчетов $x(t_k=kT)$, $k=\pm 0,1,2,\dots$, взятых в моменты времени t_k , отстоящих друг от друга через интервал времени:

$$T \leq \frac{\pi}{\omega_B} = \frac{1}{2F_B}, \quad (1.1)$$

где:

T - интервал дискретизации ($f_d = 1/T$ - частота дискретизации);

F_B - верхняя частота спектра сигнала.

Согласно приведенной выше формуле, дискретизацию исследуемого сигнала следует проводить, по крайней мере, с удвоенной частотой.

При этом следует также учесть, что максимальная частота записываемого

сигнала будет определяться максимальной частотой аудиосообщений 3,4 кГц. Согласно требованиям стандартов телефонии, приемлемая разборчивость речи обеспечивается при 8 битном квантовании речевого сигнала. Легко сосчитать, что указанная погрешность обеспечивается при 8 разрядном аналого-цифровом преобразовании.

С целью повышения разборчивости речи в разрабатываемом модуле мониторинга применим 10 битное АЦ преобразование. В результате этого при частоте дискретизации 7-8 кГц (согласно теореме Котельникова) потребуется запись со скоростью не менее 80 кб в секунду.

С точки зрения скорости передачи данных это не является проблемой, однако позволяет определить минимальный объем памяти, необходимой для записи экологических данных в течение заданного времени и объем памяти для предупреждающих сообщений.

Например, для записи аудиосообщений длительностью 5 минут (требования ТЗ) потребуется память объемом $5 \cdot 60 \cdot 80000 = 24$ Мб. Для записи группы из 4 контролируемых экопараметров с разрешением 10 бит один раз в 10 минут с фиксацией группового времени измерений РТС потребуется около 2 Мб памяти данных в течение полугода. Для большего числа контролируемых параметров и более оперативного мониторинга (например, 1 раз в минуту) потребуются значительно большие объемы памяти данных.

Поэтому для увеличения длительности мониторинга экопараметров часто используются различные методы и алгоритмы сжатия данных, которые позволяют существенно уменьшить требуемые объемы памяти.

1.2 Методы и алгоритмы сжатия информации НЧ сигналов

Как известно, любой непрерывный во времени и по величине (аналоговый) сигнал может быть представлен в дискретной (цифровой) форме путем квантования по времени и уровню (рисунок 1.2).

Квантованием по времени называется деление промежутка времени на малые отрезки - кванты (Δt). Измерение значений сигнала на каждом участке (U_{01} , U_{02} и т. д.) носит название выборки.

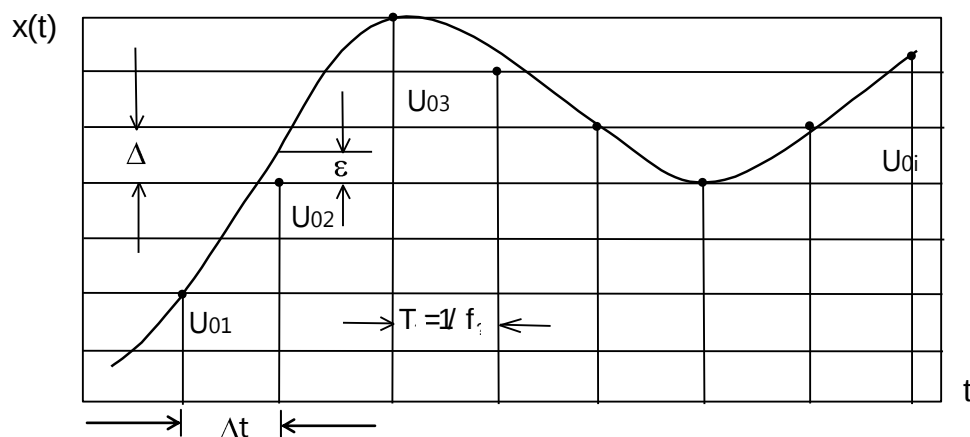


Рисунок 1.2 - Процесс дискретизации и квантования НЧ сигнала.

Таким образом, с помощью тактовых импульсов производится дискретизация (квантование) по уровню непрерывно изменяющейся величины, например, напряжения. В результате, плавная кривая непрерывной функции заменяется ступенчатой ломаной линией. Чем меньше величина кванта, тем ближе ломаная к истинной кривой.

Дальнейшая задача аналого-цифрового преобразования - представить значение сигнала в каждом кванте в цифровой форме, например, двоичном коде. Однако, использование всех полученных отсчетов (линейное преобразование) требует дорогостоящих быстродействующих АЦП.

Чтобы уменьшить объем перерабатываемой в АЦП информации - снизить ее избыточность - количество отсчетов (выборок) сокращают с помощью специальных методов. В настоящее время как базовый метод кодирования (А/Ц преобразования) НЧ сигналов считают квантование с равномерным и неравномерным шагом и импульсно-кодovou модуляцию (ИКМ). Кроме этого, широко применяется дифференциальная импульсно-коддовая модуляция (ДИКМ) и ее модификации: дельта-модуляция (ДМ) и сигма-дельта-модуляция (СДМ). Кратко рассмотрим наиболее используемые из них.

1.2.1 Импульсно-коддовая модуляция

Кодер импульсно-коддовой модуляции (рисунок 1.3) идентичен устройству аналого-цифрового преобразования с равномерным шагом [7] и состоит из дискретизатора и квантователя. Это наиболее простой метод кодирования.

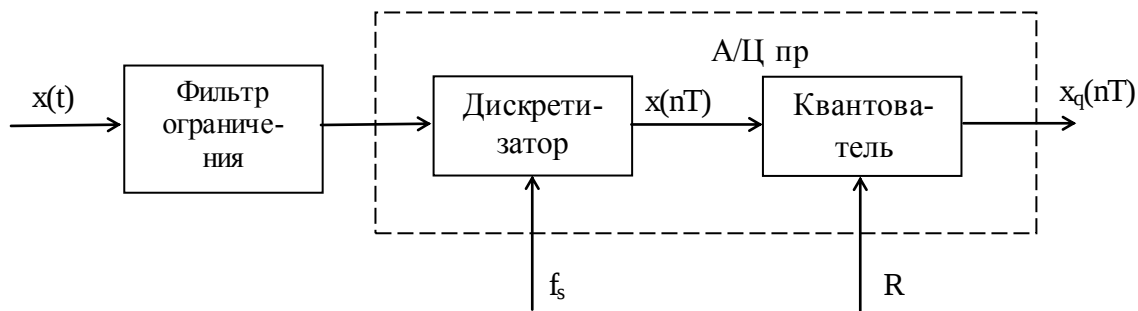


Рисунок 1.3 - Импульсно-кодовый модулятор.

Основные достоинства метода ИКМ:

- а) можно кодировать любой аналоговый сигнал при условии, что частота дискретизации удовлетворяет условию теоремы Котельникова;
- б) характеризуется малой задержкой, менее одного периода выборки;
- в) кодеры и декодеры ИКМ наиболее просты в реализации.

Основной недостаток ИКМ кодирования - невысокая эффективность с точки зрения сжатия сигнала.

Кодированный сигнал $x_q(nT)$ является квантованным сигналом. Скорость передачи (записи) кодированного сигнала I определяют как:

$$I = f_s R \text{ бит/с,} \quad (1.2)$$

где:

f_s - частота дискретизации;

R - разрядность квантователя.

Из приведенной зависимости следует, что возможности снижения скорости передачи информации при ИКМ ограничены. Действительно, входящее в (1.2) значение частоты дискретизации f_s определяется теоремой Котельникова и не может быть уменьшено. Разрядность квантователя R следует из принятого числа уровней квантования и его уменьшение неминуемо приводит к ухудшению качества восстановленного сигнала.

Декодер ИКМ, показанный на рисунке 1.4, представляет собой цифро-аналоговое устройство, состоящее из схемы выборки и хранения, преобразующей кодовые слова в квантованные значения отсчетов, и следующего за ней фильтра нижних частот.

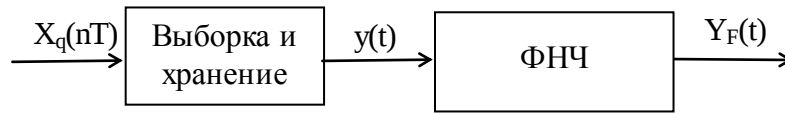


Рисунок 1.4 - Декодер импульсно-кодовой модуляции.

Для нормальной работы модулятора требуется резкое ограничение полосы частот входного аналогового сигнала в пределах от 0,3 до 3,2 кГц. Ограничение снизу необходимо для устранения помех с частотой сети 50/60 Гц, а ослабление верхних частот - для исключения наложения спектра тактовой частоты на полезный сигнал. Для этого в схему кодера обычно вводится полосовой фильтр, а в схему декодера - ФНЧ (см. рисунки 1.3 и 1.4).

1.2.2 Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция

Обычно между двумя соседними выборками сигнала существует взаимозависимость (корреляция) [9], которая возрастает с ростом частоты дискретизации. Это справедливо для всех сигналов за исключением белого шума, отсчеты которого некоррелированы. Наличие корреляции указывает на наличие избыточности в сигнале. Учитывая этот факт, можно сжать сигнал более эффективно по сравнению с обычной ИКМ. Самый распространенный метод такого кодирования – это дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ) [8].

При ДИКМ по каналу передают (или записывают) не сам кодированный отсчет (как в ИКМ), а разность между текущим отсчетом и оценкой этого отсчета, полученной из анализа предыдущих отсчетов. Идея состоит в том, чтобы не посылать ту часть информации о новом отсчете, которую можно найти с использованием известных значений предыдущих отсчетов. При ДИКМ кодированию подвергают разность:

$$d(n) = x(n) - \hat{x}(n). \quad (1.3)$$

Входящие в выражение (1.3) уменьшаемое и вычитаемое представляют собой, соответственно, значение n-го отсчета и его оценку, полученную на основе данных о предыдущих отсчетах. Вычисление оценки проводят с использованием процедуры линейного предсказания [9] на основании восстановленных значений p предшествующих отсчетов.

Число предшествующих отсчетов p , формирующих предсказанное значение текущего отсчета принято называть порядком предсказания. Алгоритм предсказания должен быть известен и при декодировании, что обеспечит возможность восстановления сигнала. Следует заметить, что для применения предсказателя необходим буфер, где записаны значения p предыдущих отсчетов.

Как и в ИКМ декодере, восстановленный сигнал передают на схему выборки и хранения, за которой следует сглаживающий фильтр нижних частот. Ошибка восстановления в системе ДИКМ представляет собой разность между исходным сигналом $x(n)$ на входе кодера и восстановленным сигналом $y(n)$ на выходе декодера.

Динамический диапазон значений разностного сигнала $d(n)$ меньше динамического диапазона значений исходного сигнала $x(n)$. Поэтому число разрядов квантователя при кодировании разностного сигнала может быть выбрано меньшим, нежели при непосредственном кодировании отсчетов.

В частности, при ДИКМ кодировании НЧ сигнала частотой 2,5-3 кГц удовлетворительное качество достигается уже при четырехразрядном квантовании ($R=4$), в то время как при ИКМ необходимо применять восьмиразрядное квантование ($R=8$) [9]. Соответственно, скорость цифрового потока на выходе ДИКМ кодера в два раз ниже: $I = 25$ кбит/с.

Частным случаем ДИКМ при использовании одноразрядного квантователя ($R=1$) является дельта-модуляция ДМ. Ее широко применяют благодаря предельной простоте. Процесс кодирования-декодирования тождественен рассмотренному выше процессу для ДИКМ.

Поскольку при ДМ используют одноразрядный квантователь, то для получения удовлетворительного качества необходима большая корреляция между отсчетами, что достигается увеличением частоты дискретизации по сравнению с ИКМ и ДИКМ.

При передаче (записи) НЧ сигналов примерно одинаковое качество достигают при параметрах различных видов кодирования, приведенных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Сравнительная таблица характеристик различных ИКМ

Вид кодирования	Частота выборки, кГц	Разрядность квантователя	Скорость, кбит/сек
ИКМ	8	8	64
ДИКМ	8	4	32
ДМ	32	1	32

Из таблицы видно, что ДМ не обладает каким-либо преимуществом в скорости перед ДИКМ. Однако построение ДМ кодера и декодера существенно проще, чем и объясняется широкое распространение ДМ.

Поведенный обзор показал, что, не смотря на двукратное сокращение требуемой скорости передачи данных или объема требуемой памяти для ДМ, наиболее перспективным способом кодирования исследуемого сигнала в нашем случае является ИКМ. Выбор обусловлен более простым алгоритмом работы ИКМ устройства, требующим значительно меньшего объема памяти программ. Это является определяющим фактором в случае применения микроконтроллеров низкобюджетных серий, объем встроенной памяти которых весьма мал. С другой стороны, стремительное удешевление внешней памяти данных позволяет компенсировать увеличение требуемого объема памяти для записи исследуемого сигнала.

1.3 Специализированные синтезаторы НЧ сигналов

Стремительное развитие информатики и достижения последних лет в области технологии производства БИС вызвали повышенный интерес исследовательских центров и фирм-изготовителей к проблемам, связанным с цифровой обработкой аудиосигналов. Как показал Интернет-обзор, проведенный по поисковым системам Rambler, Yandex, Google и др., на мировом рынке существует огромное количество устройств для синтеза речевых и музыкальных композиций. Все эти сигналы являются низкочастотными, поэтому принципы из синтеза (воспроизведения) могут быть использованы при решении поставленной задачи.

Устройства синтеза отличаются принципом действия, схемным построением, функциональными возможностями, ценой и пр. Наиболее функционально полную линейку НЧ синтезаторов предлагают фирмы Holtek Semiconductor Inc и OKI Silicon Solution Company. Так фирма Holtek выпускает серию микросхем

HT81xxx для записи и воспроизведения аудиосигналов с длительностью записи до 384 секунд.

Компания Winbond Electronics является производителем микросхем, используемых на материнских платах PC и в различной периферии. Это микросхемы памяти, ISA-PCI мосты (bridge) и т.п. Помимо них Winbond Electronics выпускает линейку приборов с общим названием «ChipCorder». Это функционально завершённые устройства для записи/воспроизведения низкочастотных сигналов (речи, музыки и т.д.).

В состав микросхем включены как аналоговые, так и цифровые элементы. Как было показано выше, сигнал при преобразовании из аналогового вида в цифровой проходит две основные стадии обработки - дискретизацию и квантование. Технология «ложного дифференцирования», даёт возможность записывать сигнал во внутреннюю память микросхемы сразу после дискретизации, *пропуская* процесс квантования. Сигнал хранится в микросхеме не совсем в цифровом (т.к. отсутствует квантователь), но и не в исходном аналоговом виде.

Длительность звукового фрагмента может варьироваться от 10 секунд (микросхемы серии ISD11xx) до 16 минут (микросхемы серии ISD4004, ISD MicroTAD-16M) и более.

На рисунке 1.5 представлена типовая структура микросхем ChipCorder. Схема включает:

- а) микрофонный усилитель с системой АРУ;
- б) сглаживающий фильтр;
- в) выходной усилитель звуковой частоты;
- г) многоуровневый массив памяти с входным АЦП и выходным ЦАП.

Для всех микросхем ChipCorder характерны следующие особенности:

- а) устройства с этими микросхемами имеют минимальное число навесных компонентов;
- б) частота дискретизации аудиосигналов 4-8 кГц;
- в) нет необходимости в источнике резервного электропитания, поскольку используется энергонезависимая память;

- г) число циклов перезаписи - 100000;
- д) время сохранения сообщения - 100 лет;
- е) возможность адресного выбора ранее записанных сигналов;
- ж) однополярное питание +5 В.

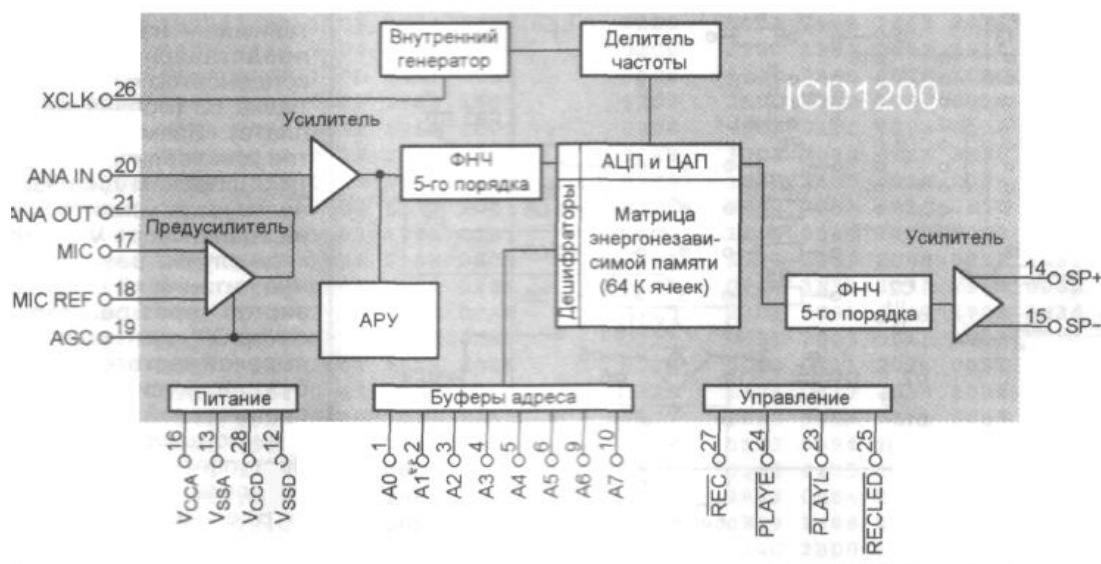


Рисунок 1.5 - Типовая структура микросхем ChipCorder.

На основании обзора микросхем синтеза НЧ сигналов можно сделать следующие выводы:

а) использование ИС ChipCorder является перспективным направлением создания малогабаритных и многофункциональных устройств записи \ воспроизведения НЧ сигналов с относительно большим временем записи (до 30 минут) без использования внешней памяти;

б) микросхемы ChipCorder не имеют цифровых выходов, что не позволяет встраивать их в системы сбора данных и измерительные системы, использующие цифровую обработку сигналов.

Последний факт является основным недостатком микросхем ChipCorder, не позволяющий использовать их для работы в канале мониторинга экологических параметров, однако для записи голосовых предупреждений их использование позволит существенно сократить количество внешних элементов и исключить необходимость разработки программного обеспечения для голосового канала, тем самым значительно снизить стоимость конечного устройства.

Для решения основной задачи – записи (регистрации) экологических пара-

метров - будем использовать цифровое кодирование с импульсно-кодовой модуляцией. Так, требования к каналу аналого-цифрового преобразования невысоки (10 разрядов), то для построения регистратора будем используем недорогие и широко распространенные микроконтроллеры со встроенным АЦП.

1.4 Анализ требований к системе управления модуля мониторинга

В настоящее время рынок микроэлектронных средств вычислительной техники имеет два четко выраженных сегмента. В одном из них находятся такие высокопроизводительные процессоры как Pentium компании Intel или семейство процессоров 680х0 компании Motorola, которые используются в персональных компьютерах, рабочих станциях, а также реализуются в архитектуре компьютеров со сложным набором команд CISC (Complex Instruction Set Computer). Другой сегмент призван удовлетворить большую потребность в дешевых управляющих микроконтроллерах (МК), для которых компактность и набор встроенной периферии важнее их вычислительной мощности.

С учетом практически неограниченного объема рынка сбыта микроконтроллеров, нет ничего удивительного в том, что многие фирмы-производители предлагают на рынке свои собственные устройства. Пальму первенства в настоящее время прочно удерживают восьмиразрядные RISC-контроллеры (Reduced Instruction Set Computer - компьютер с сокращенным набором команд), к которым, к примеру, относится семейство PIC компании Microchip, а также семейство AVR компании Atmel [11-13].

Анализ предложений ведущих дистрибьюторов радиоэлектронных компонентов в РФ, таких как «Телесистемы» (<http://www/telesys.ru>), «Чип и Дип» (<http://www/chipdip.ru>) в настоящее время микроконтроллеры AVR являются одними из самых популярных в России. Этот факт косвенно подтверждаются структурой предложений сети on-line торговли по адресу e-Find.ru (более 220 online магазинов).

1.4.1 Структура и функциональные возможности МК ATmega

Благодаря комбинации прогрессивной архитектуры RISC и программируемой флэш-памяти EPROM фирма Atmel установила новые масштабы в со-

отношении цены, функциональности и производительности. В настоящее время в рамках единой базовой архитектуры микроконтроллеры AVR подразделяются на несколько основных семейств:

- а) Tiny AVR;
- б) Mega AVR;
- в) Mega AVR для специальных предложений.

Первое семейство микроконтроллеров предназначено для низкобюджетных разработок, где стоимость конечного устройства является решающим фактором. Эти МК реализованы в корпусах с малым количеством выводов, имеют малые объемы flash-памяти программ и ОЗУ (от 1 до 8 кбайт), ограниченный набор встроенной периферии. Область применения этих МК - интеллектуальные датчики, различная бытовая техника, игрушки и другие подобные решения.

Семейство микроконтроллеров Mega имеет весьма развитую периферию, наибольшие среди всех AVR объемы памяти программ и данных. Они предназначены для использования в мобильных телефонах, контроллерах различного периферийного оборудования, в сложной измерительной и офисной технике и т.д. Микроконтроллеры поддерживают несколько режимов пониженного энергопотребления, имеют блок прерываний, сторожевой таймер и допускают программирование непосредственно в готовом устройстве.

Самые простые МК этого семейства типа ATmega48 стоят 40-50 рублей, а самые сложные типа ATmega 2561 – 350-450 рублей, в зависимости от типа корпуса, диапазона питающих напряжений и рабочих температур и максимальной тактовой частоты.

Учитывая, что кроме записи и хранения данных по контролируемым экопараметрам, управляющий МК разрабатываемого модуля мониторинга должен обеспечить интерфейсы для обмена данными с персональным компьютером по интерфейсу USB удаленный доступ по радиоканалу, внешней энергонезависимой памяти данных и графическим ЖКИ, в качестве основы разрабатываемого устройства выберем МК семейства ATmega. Достаточная вычислительная мощность этих МК (до 16 MIPS) позволит реализовать все необходимые алгоритмы.

Микроконтроллеры ATmega имеют достаточный набор периферийных устройств: встроенный АЦП, модули универсальных приемопередатчиков USART для организации интерфейса обмена данными, а также часы реального времени RTC, а также достаточное количество универсальных цифровых линий ввода\вывода.

Низкое энергопотребление и возможность программирования непосредственно в системе (ISP) через стандартные интерфейсы SPI, JTAG и однопроводный debugWire (не во всех моделях) подтверждают правильность выбранного решения [12].

1.4.2 Выбор управляющего микроконтроллера

Как уже указывалось, микроконтроллеры AVR семейства Mega - 8-битными микроконтроллерами, имеющими RISC-архитектуру. Содержат электрически стираемую память программ (Flash) и данных (EEPROM), а также разнообразные периферийные устройства.

Любая модель имеет хотя бы один 8- и 16-битному таймер/счетчик, интерфейсный модуль USART и SPI, аналоговый компаратор, сторожевой таймер и порты ввода/вывода.

Ядро микроконтроллеров AVR семейства ATmega выполнено по усовершенствованной RISC архитектуре (enhanced RISC) (рисунок 1.6).

В таблице А.1 приложения А приведены основные параметры и состав встроенных периферийных модулей микроконтроллеров семейства ATmega. Из таблицы следует, что наиболее подходящим, с учетом требований технического задания, является микроконтроллер ATmega128. В качестве отличительных особенностей МК ATmega128, с точки зрения решаемой задачи, можно отметить следующие:

а) прогрессивная RISC архитектура, 130 высокопроизводительных команд, большинство из которых выполняется за один такт, производительность 16 MIPS (при тактовой частоте 16 МГц);

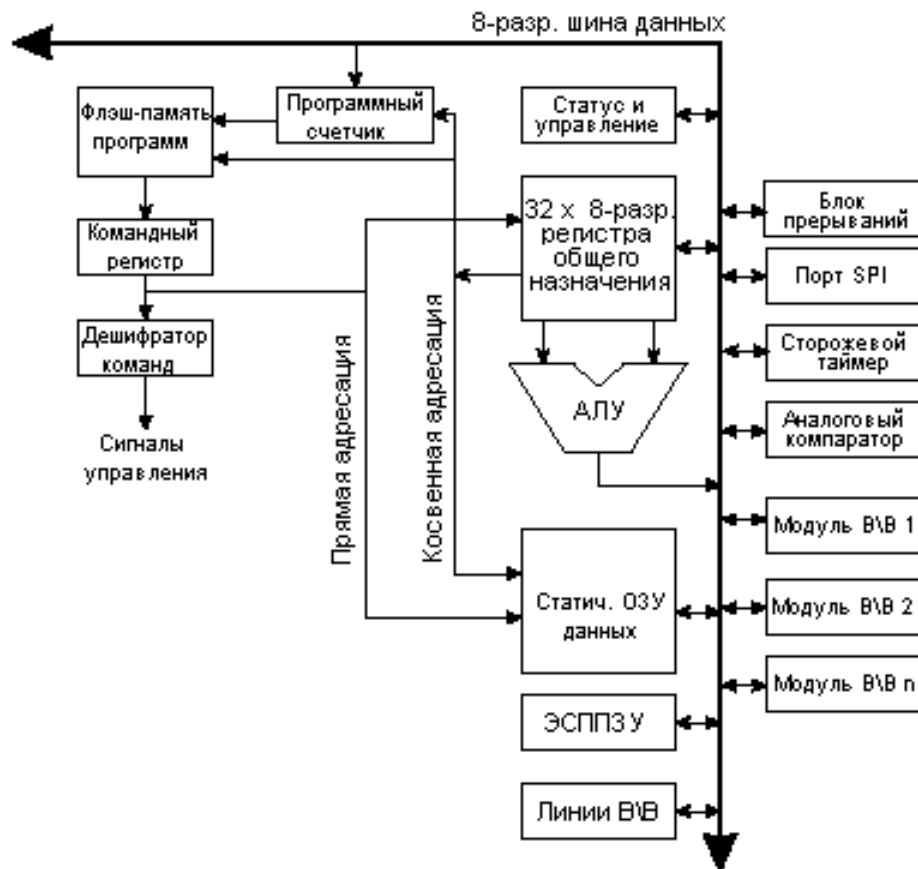


Рисунок 1.6 – Архитектура ядра микроконтроллеров ATmega.

б) энергонезависимая память программ и данных (16 кб внутрисистемно программируемой Flash памяти, 512 байт EEPROM, 1 кб встроенной SRAM);

в) встроенная периферия содержит 8-канальный 10 разрядный АЦП, часы реального времени RTC, программируемый сторожевой таймер, модули интерфейсов TWI, USART, SPI и аналоговый компаратор;

г) интерфейс JTAG (совместимый с IEEE 1149.1) с возможностью сканирования периферии и программирования Flash, EEPROM памяти, перемычек и битов блокировки;

д) сброс по подаче питания и программируемый детектор кратковременного снижения напряжения питания, внутренние и внешние источники прерываний, шесть режимов пониженного потребления и схема снижения шумов АЦП;

е) 32 программируемые линии ввода/вывода;

ж) напряжения питания от 2,7 до 5,5 В;

з) рабочая частота до 16 МГц.

Подсистема ввода/вывода микроконтроллеров AVR семейства ATmega

имеет следующие особенности (рисунок 1.7).

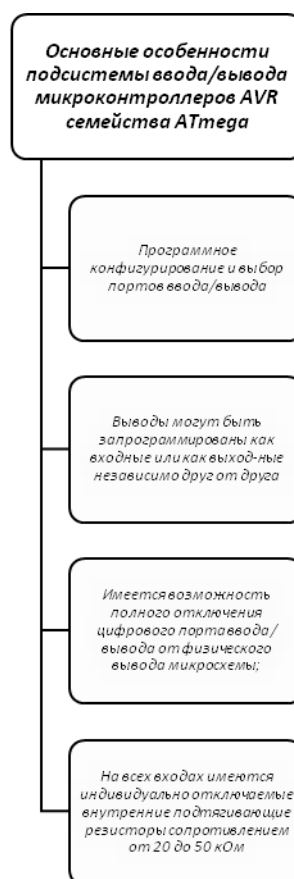


Рисунок 1.7 – Основные особенности подсистемы ввода/вывода микроконтроллеров AVR семейства ATmega.

Указные параметры МК ATmega128 позволяют реализовать все функции модуля мониторинга, предусмотренные техническим заданием.

1.5 Анализ применимости беспроводных технологий передачи данных

Беспроводные сети передачи данных – это системы, позволяющие организовать передачу информации без применения кабельной проводки. В качестве среды передачи в этих сетях выступают радиоволны диапазона 2400, 3500 или 5000 МГц. Беспроводной доступ дает возможность развертывания сети там, где прокладка традиционной кабельной системы невозможна или нежелательна по различным соображениям. Сюда же можно отнести и объединение различных локальных сетей и отдельных компьютеров между собой в малонаселенных или географически труднодоступных областях. Там применение иных решений (проводного соединения или оптоволокну) экономически неоправданно или невозможно по причине ограничения на максимальную длину кабеля.

Беспроводную сеть передачи данных можно создавать с нуля, а можно расширять, используя существующие сети, за счет интеграции в них собственных беспроводных сегментов. Такие беспроводные сети позволяют объединить в единую информационную систему разрозненные локальные сети, удаленные компьютеры и другие цифровые устройства, обеспечивая доступ пользователей этих сетей к единым информационным ресурсам.

Из анализа известных беспроводных технологий передачи данных (ZigBee, Bluetooth, HiperLAN2, GSM\CDMA, GPRS/3G, LMDS и др.), проведенных в работах [15-17], показал, что в настоящее время оптимальным решением для создания сети экологического мониторинга с удаленным доступом на значительной площади является использование технологий Wi-Fi (IEEE 802.11) и WiMax (IEEE 802.16) [16,17].

Wi-Fi является технологией, в основном предназначенной для организации небольших беспроводных сетей внутри помещений и построения беспроводных мостов. Технология WiMax разрабатывалась как городская вычислительная сеть (MAN) и предназначена для организации широкополосной связи вне помещений в составе крупномасштабных сетей. Проведем сравнительный анализ технологий с точки зрения организации системы экологического мониторинга на относительно большой территории (города или крупного предприятия).

1.5.1 Сети на основе технологии Wi-Fi

В последние годы виден значительный рост спроса на мобильные устройства, построенные на основе беспроводных технологий. Наиболее быстро развивающимся сегментом этих технологий является технология Wi-Fi (Беспроводная Локальная Сеть).

В таблице 1.2 приведены сравнительные характеристики стандартов беспроводной передачи данных семейства IEEE 802.11.

Таблица 1.2 - Сравнительные характеристики стандартов IEEE 802.11

Стандарт	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Дата сертификации стандарта	1997	1999	1999	2003

Стандарт	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Доступная полоса пропускания	83.5 МГц	300 МГц	83.5 МГц	83.5 МГц
Частота операций	2.4 – 2.4835 ГГц	5.15 – 5.35 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц	2.4 – 2.4835 ГГц
Типы модуляции	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM
Скорость передачи данных по каналу	2, 1 Мб/с	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Мб/с	11, 5.5, 2, 1 Мб/с	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Мб/с
Совместимость	802.11	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi со скоростью 11 Мб/с и ниже

У стандарта 802.11a существует два основных преимущества перед стандартом 802.11b, так в нем используются частота 5 ГГц и модуляция OFDM: существенно увеличенная скорость передачи данных по каналам связи и увеличенное количество не накладывающихся каналов.

Диапазон 5 ГГц (UNII) состоит из трех поддиапазонов: UNII1 (5,15 – 5,25 ГГц), UNII2 (5,25 – 5,35 ГГц) и UNII3 (5,725 – 5,825 ГГц). При одновременном применении двух поддиапазонов UNII1 и UNII2 можно получить до восьми непересекающихся каналов в отличие от всего лишь трех в диапазоне 2,4 ГГц. Также у этого стандарта гораздо больше доступная полоса пропускания. То есть, применение стандарта 802.11a позволяет одновременно поддерживать большее число неконфликтных беспроводных соединений.

Стандарты 802.11a и 802.11b работают в различных диапазонах, поэтому и продукты, разработанные под эти стандарты не совместимы.

В Европе и России диапазон 5 ГГц применяется исключительно в военных целях, соответственно в любых иных целях он запрещен к использованию.

Стандарт 802.11g обеспечивает более высокие скорости передачи данных, при одновременной поддержке совместимости с продуктами стандарта 802.11b. Стандарт применяет модуляцию DSSS на скоростях до 11 Мб/с и модуляцию OFDM на скоростях выше 11 Мб/с. То есть, оборудование стандартов 802.11b и 802.11g совместимо на скоростях, не превышающих 11 Мбит/с. Если в диапазоне 2,4 ГГц необходима скорость выше, нежели 11 Мбит/с, то нужно использовать оборудование стандарта 802.11g.

Стандарт 802.11n утвержден организацией IEEE в сентябре 2009 года и использует совершенно новые технологии, повышающие скорость передачи данных в диапазонах 2,4 - 2,5 или 5,0 ГГц. Стандарт повышает скорость передачи данных практически вчетверо по сравнению с устройствами стандартов 802.11g (максимальная скорость которых равна 54 Мб/с). Теоретически обеспечивается скорость передачи данных до 480 Мб/с (по некоторым данным, до 600 Мб/с).

В ряде случаев при значительной территориальной распределенности сегментов беспроводной сети возникает проблема их объединения в одну общую сеть. В этом случае используются беспроводные Wi-Fi мосты, обеспечивающие в условиях прямой видимости и отсутствии помех, максимальный диапазон бесперебойной работы 5-10 км. Для организации Wi-Fi моста используются направленные антенны, антенные усилители и настроенные в режиме моста Wi-Fi роутеры.

1.5.2 Сети на основе технологии WiMax

Телекоммуникационная технология WiMax (IEEE 802.16) относится к числу самых передовых технологий и создана для удовлетворения спроса на широкополосные подключения таких устройств, как смартфоны, нетбуки, ноутбуки, настольные компьютеры и т.п.

Сети WiMax имеют возможность работы в двух вариантах доступа: фиксированном и мобильном. Мобильный доступ дает возможность пользователю получать выход в сеть из любого места в пределах зоны покрытия или даже в движении.

Технология WiMax, в отличие от Wi-Fi, эффективно обеспечивает реализацию таких услуг как передача данных, VoIP (передача голосовых потоков через Интернет – Voice over IP), потоковое видео с отличным QoS (качеством обслуживания - quality of service). При этом при входе в сеть нет необходимости подключения проводов, так как в зоне покрытия компьютер или мобильное устройство со встроенным чипом или модемом самостоятельно определит сеть.

Мобильный WiMax призван улучшить беспроводную связь практически любых типов устройств. Широкополосный доступ открывает для пользователей

такие новые виды устройств, как MID (мобильные Интернет устройства - Mobile Internet Devices), UMPC (Ультра мобильные компьютеры – Ultra Mobile Personal Computers), нетбуки. Как правило, подсистемы WiMax упакованы в самостоятельные модули, упрощая интеграцию этой технологии беспроводной связи в действующее оборудование.

Как и в случае любого радиосигнала, дальность действия WiMax зависит от целого ряда параметров - наличие препятствий, помех и тому подобных вещей. Вообще же максимальная дальность действия WiMax в идеальном случае составляет около 48 километров. В городских же условиях радиосигнал WiMax распространяется в среднем на 6-8 километров. Естественно, в городских условиях возможна работа и на больших расстояниях - до 16 километров, однако в этом случае скорость работы WiMax будет не очень высокой.

Кроме того, нужно помнить, что стандарт WiMax подразумевает работу на разных частотах - от 2,5 ГГц (к примеру сеть Yota в России), 3.5 ГГц (сеть Sprint в США) и 5,8 ГГц в некоторых случаях. Так вот - чем ниже частота работы устройства, тем лучше дальность действия передающей базовой станции и лучше качество работы вообще [18].

1.5.3 Сравнение сетей на основе технологий Wi-Fi и WiMax

Рассмотрим основные различия между этими технологиями (рисунок 1.8).

На рисунке 1.9 даны основные области применения технологий Wi-Fi и WiMax, а на рисунке 1.10 – их масштабируемость и пропускная способность.

Из проведенного сравнительного анализа беспроводных технологий Wi-Fi и WiMax можно сделать следующие выводы:

а) с точки зрения обеспечения требуемой скорости передачи данных обе технологии равнозначны, т.к. для разрабатываемого модуля мониторинга, да и всей сети, скорость передачи данных является избыточной;

б) технология Wi-Fi ориентирована на обеспечение беспроводного доступа пользователей внутри небольших помещений (до 100 м), а технология WiMax обеспечивает дальность 10 км и более;



Рисунок 1.8 – Основные различия технологий Wi-Fi и WiMax.

в) технология Wi-Fi имеет достаточное развитие для организации беспроводных сетей, в то время как для реализации полнофункциональных сетей WiMax потребуется еще некоторое время;

г) технология WiMax обеспечивает организацию более сложных и функционально насыщенных сетей на большие расстояния без использования дополнительного оборудования.

Исходя из вышесказанного, за основу реализуемого канала удаленного доступа выберем оборудование технологии WiMax, как более перспективное с точки зрения организации географически разнесенной на большие расстояния сети экологического мониторинга.

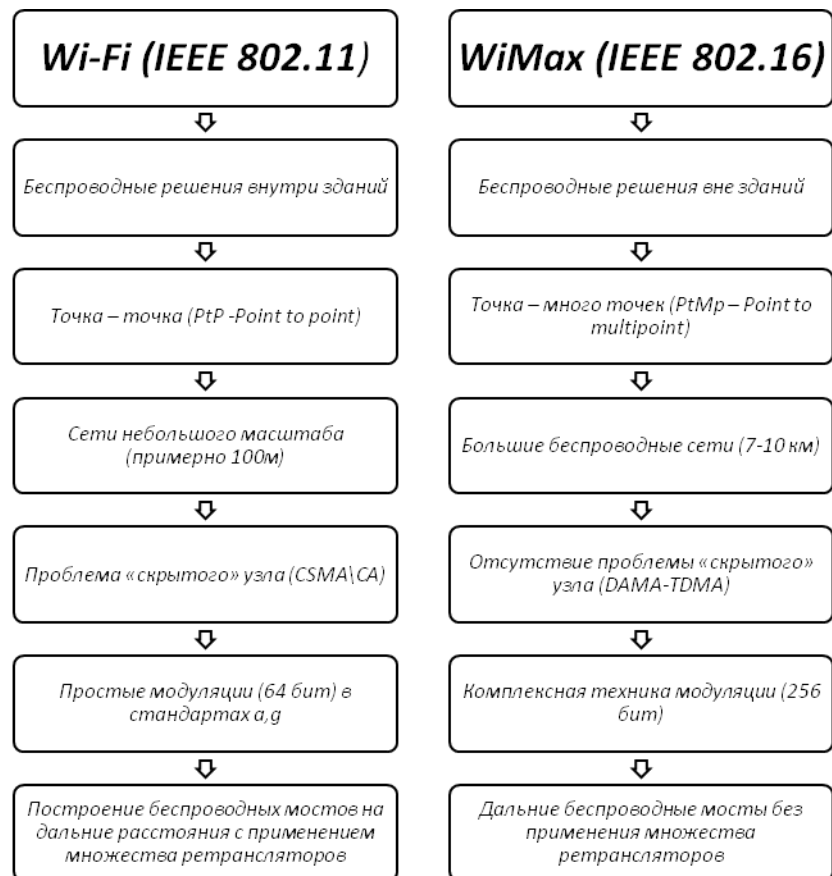


Рисунок 1.9 - Основные области применения технологий Wi-Fi и WiMax.

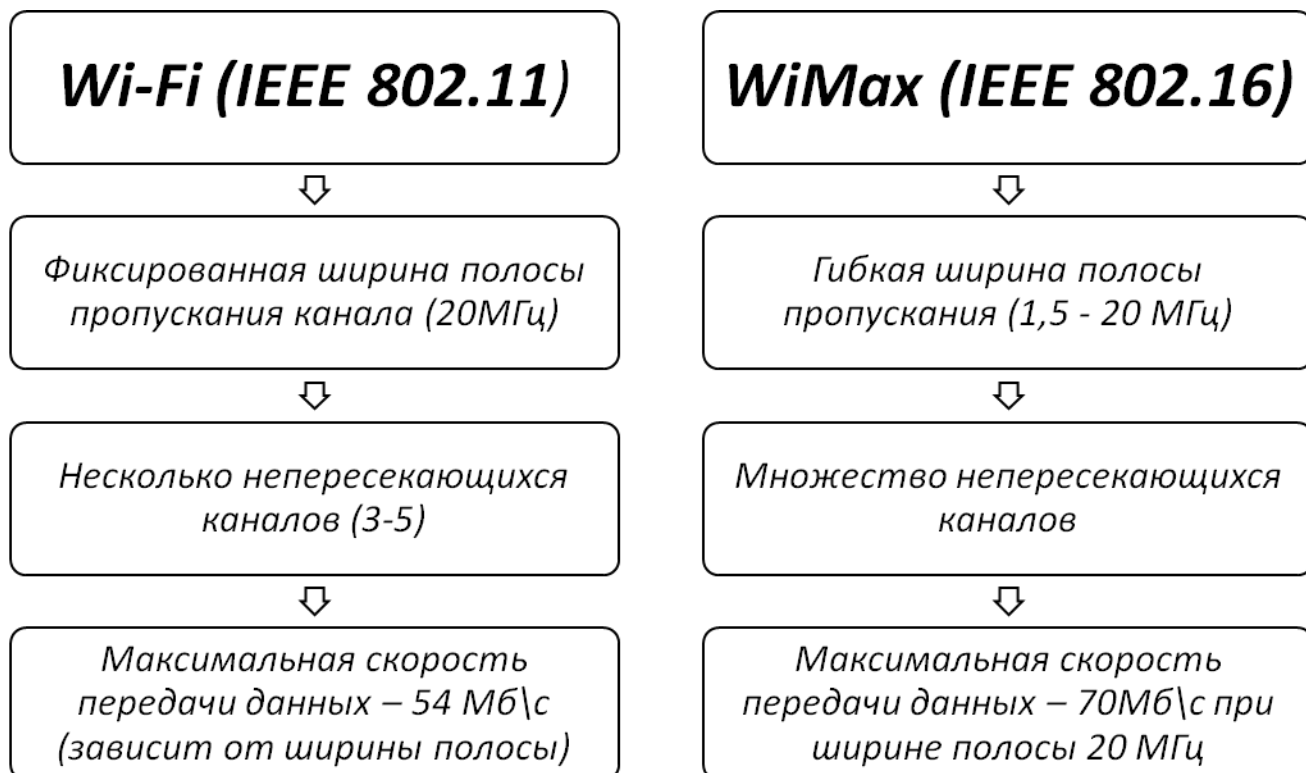


Рисунок 1.10 - Масштабируемость и пропускная способность технологий Wi-Fi и WiMax.

2 Расчетная часть. Проектирование портативного модуля мониторинга

Прежде чем приступить к разработке структурной схемы модуля мониторинга следует проанализировать структуру микроконтроллера ATmega128 (встроенные аппаратные модули и порты ввода/вывода) с целью оценки необходимой внешней периферии для реализации требуемых функций управления и обмена данными. Это является обязательным, т.к. это в большой мере определяют схемотехнические, программные и конструктивные особенности разрабатываемого устройства. Структурная схема МК ATmega128 приведена на рисунке 2.1.

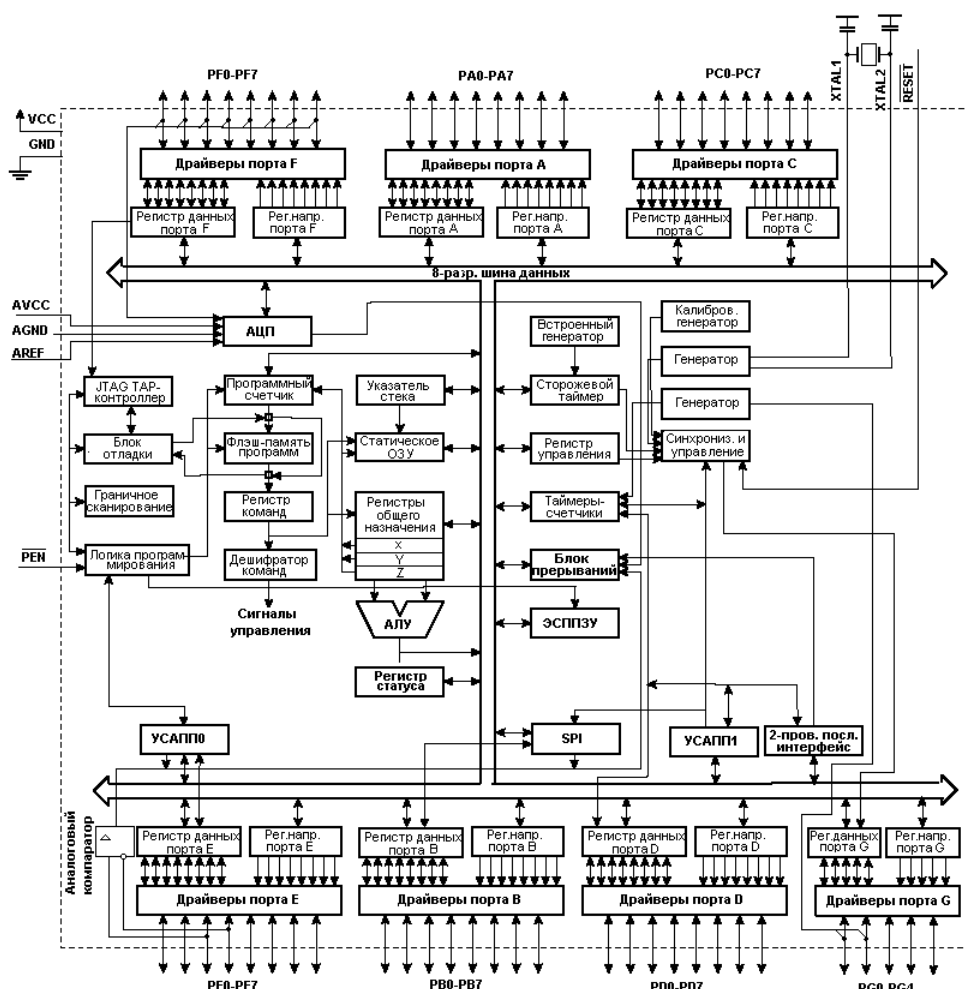


Рисунок 2.1- Структурная схема МК ATmega128.

2.1 Анализ аппаратных модулей микроконтроллера ATmega128

2.1.1 Модуль аналого-цифрового преобразователя

Модуль мониторинга должен проводить измерения аналоговых сигналов в диапазоне от 20 мВ до 2 В с разрешением не хуже 10 бит. В выбранном в качестве

управляющего микроконтроллере ATmega128 встроенный модуль 10-битного АЦП последовательного приближения имеет следующие основные параметры:

- а) абсолютная погрешность ± 2 LSB (младший значащий бит);
- б) интегральная нелинейность $\pm 0,5$ LSB;
- в) быстродействие до 15 тысяч выборок в секунду.

На входе модуля АЦП есть 8-канальный аналоговый мультиплексор, предоставляющий в распоряжение пользователя 8 каналов Port A с несимметричными входами (рисунок 2.2).

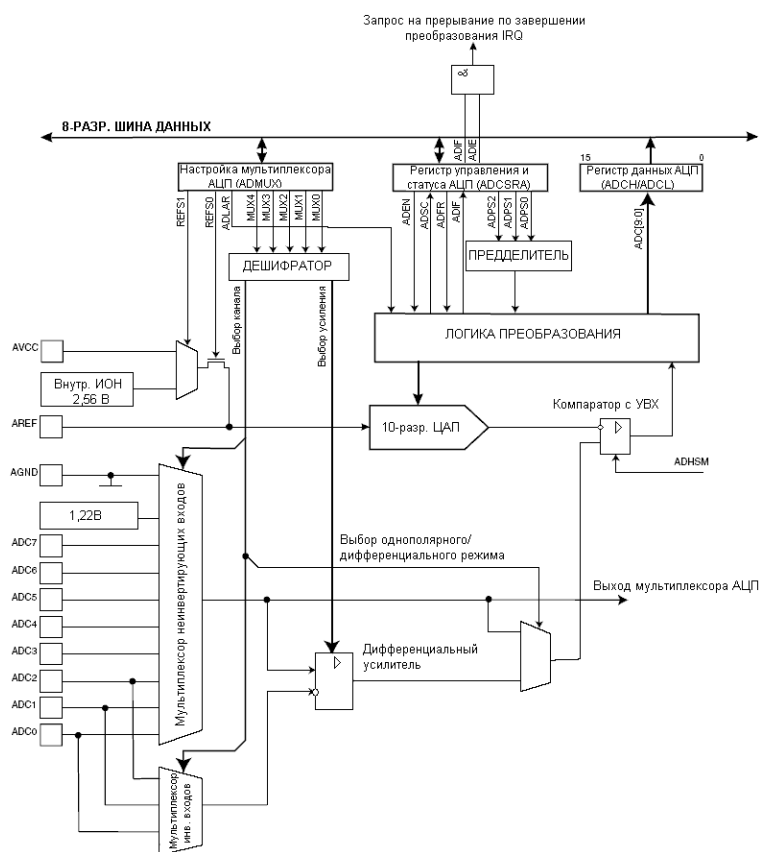


Рисунок 2.2 - Обобщенная структурная схема модуля АЦП.

Входы АЦП можно объединять попарно, с целью формирования различного числа каналов с дифференциальным входом.

АЦП ATmega128, как и любому другому АЦП, необходимо опорное напряжение V_{ref} для сравнения со входным V_{in} (если измеряемое напряжение равно опорному, то получаем максимальный код в двоичном виде). Опорное напряжение подается на вывод AD_{Ref} или можно использовать внутренний генератор с фиксированным напряжением 2,65 В.

Модуль АЦП может работать в двух режимах (рисунок 2.3).

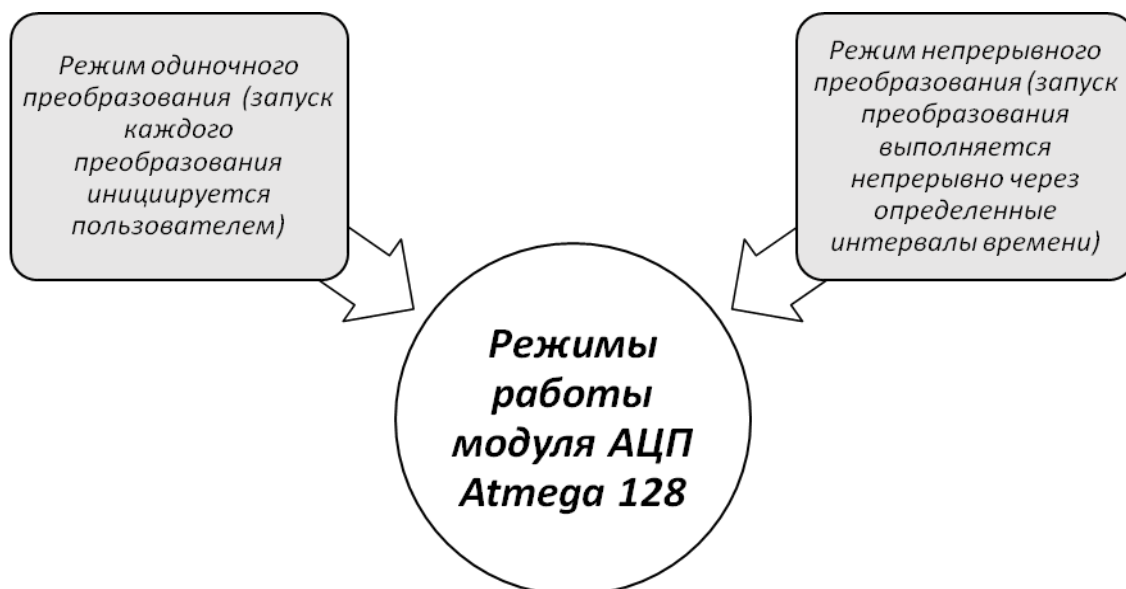


Рисунок 2.3 - Режимы работы модуля АЦП Atmega 128.

Регистры, используемые микроконтроллером ATmega128, следующие:

- а) регистр управления и состояния ADCSRA;
- б) регистр управления мультиплексором ADMUX;
- в) регистр специальных функций SFIOR.

Назначение битов модуля АЦП ATmega128 представлены на рисунке 2.4.

ADEN	•Включает модуль АЦП
ADSC	•Запускает цикл преобразования
ADIF	•Флаг прерывания АЦП
ADIE	•Если в этом бите установлена единица, и прерывания разрешены глобально, то при окончании преобразования будет выполнен переход по вектору прерывания от АЦП
ADPS2..0	•Задают коэффициенты делителя частоты от 2 до 128

Рисунок 2.4 - Назначение битов модуля АЦП ATmega128.

После завершения преобразования (при установке в 1 флага ADIF регистра ADCSR) его результат сохраняется в регистре данных АЦП. Поскольку АЦП 10-битный, этот регистр физически размещен в двух регистрах ввода/вывода ADCH:ADCL, доступных только для чтения. Эти регистры расположены по адресам \$05:\$04 (\$25:\$24). При включении микроконтроллера в регистре данных АЦП содержится значение \$0000.

Для выполнения преобразования модулю АЦП нужна тактовая частота. Чем выше эта частота, тем быстрее будет происходить преобразование. Для получения максимально точного результата, модуль АЦП должен тактироваться частотой в пределах от 50 до 200 кГц. В модуль АЦП включен делитель частоты, для получения нужной тактовой частоты для преобразования из частоты процессора.

2.1.2 Модуль последовательного интерфейса TWI

Для ввода данных с цифровых датчиков, контролируемых экопараметров в разработанном модуле мониторинга используется встроенный в ATmega128 модуль TWI. Его отличительные особенности представлены на рисунке 2.5.

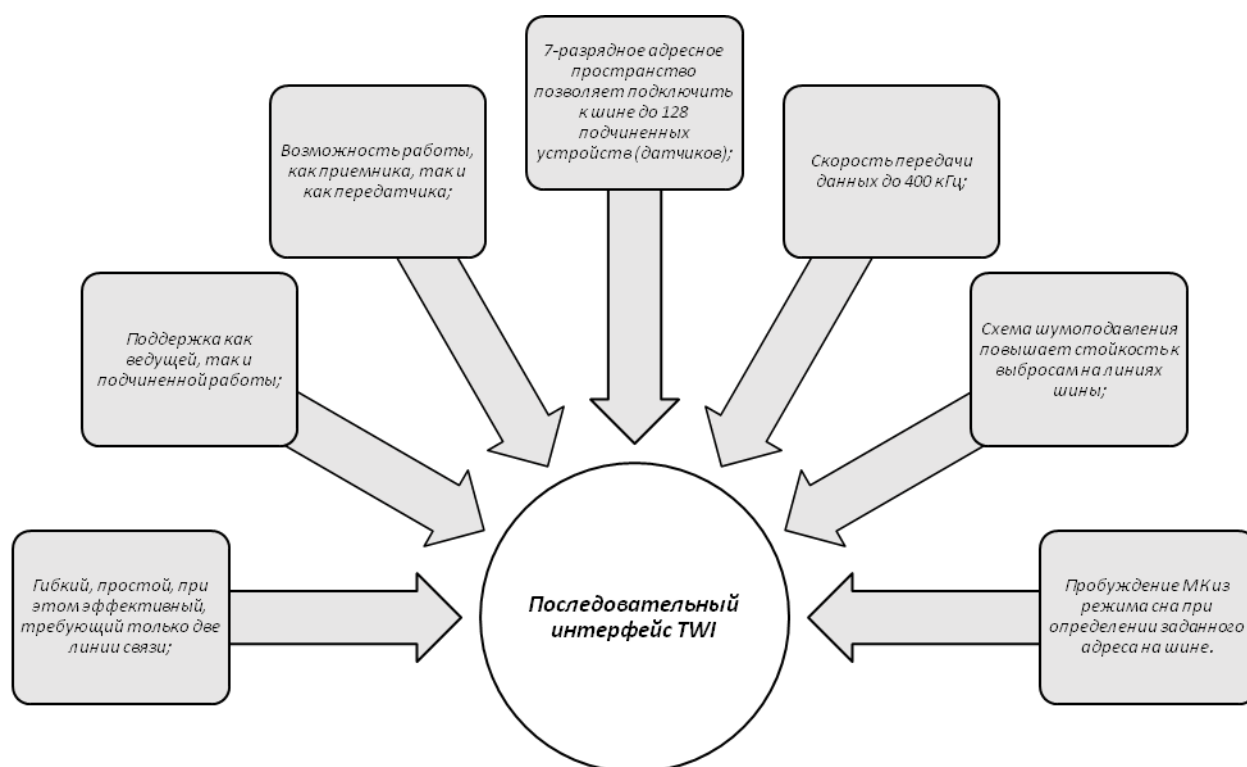


Рисунок 2.5 - Отличительные особенности последовательного интерфейса TWI.

Двухпроводной последовательный интерфейс TWI идеально подходит для типичных применений МК. Протокол TWI позволяет проектировщику внешне связать до 128 различных устройств через одну двухпроводную двунаправленную шину, где одна линия - линия синхронизации SCL и одна - линия данных SDA. В качестве внешних аппаратных компонентов, которые требуются для реализации шины, необходимы только подтягивающий к плюсу питания резистор на каждой линии шины (рисунок 2.6).

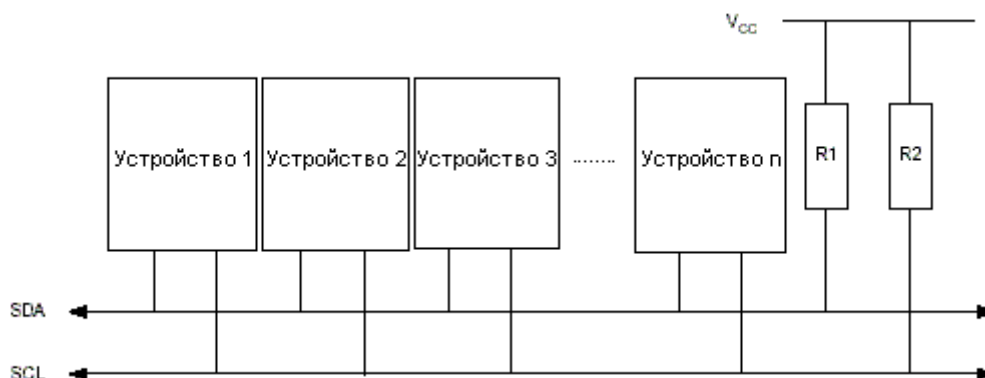


Рисунок 2.6 - Внешние подключения к шине TWI.

Все устройства, которые подключены к шине, имеют свой индивидуальный адрес, а механизм определения содержимого шины поддерживается протоколом TWI.

Модуль TWI состоит из нескольких подмодулей (рисунок 2.7). Все регистры, выделенные жирной линией, доступны через шину данных МК.

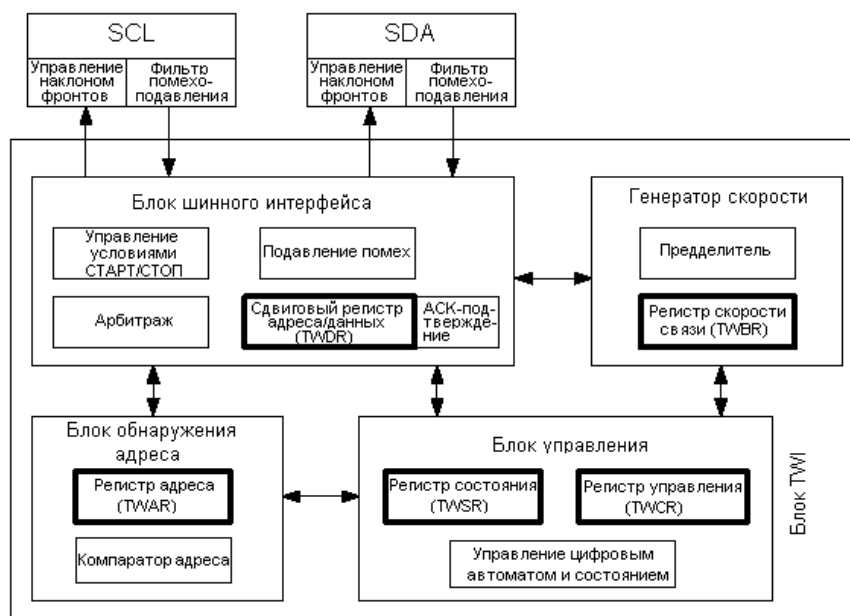


Рисунок 2.7 - Функциональная схема модуля TWI.

Модуль TWI может работать в одном из четырех режимов работы. Они называются: ведущий передатчик (MT), ведущий приемник (MR), подчиненный передатчик (ST) и подчиненный приемник (SR). Некоторые из этих режимов могут использоваться в рамках одного и того же приложения. Например, TWI может использовать режим MT для записи данных в двухпроводное последовательное ЭСППЗУ, а режим MR для считывания данных из ЭСППЗУ. Если в системе имеются другие ведущие (мастера), один из которых передает данные, то у остальных используется режим SR. Какой из режимов должен использоваться определяется программно.

2.1.3 Модуль последовательного интерфейса SPI

Последовательный периферийный интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface), присутствует во всех микроконтроллерах семейства Mega, имеет два назначения. Во-первых, с его помощью может осуществляться обмен данными между МК и разными периферийными устройствами. Через этот интерфейс также может быть произведен обмен данными между несколькими микроконтроллерами AVR. Также, через интерфейс SPI осуществляется программирование микроконтроллера (так называемый режим последовательного программирования).

Модуль SPI МК ATmega168 использует четыре вывода микроконтроллера. Как и в большинстве прочих периферийных устройств, эти выводы являются линиями портов ввода/вывода общего назначения:

- а) выход (Master)/вход (Slave) тактового сигнала SCK (PB5);
- б) вход (Master)/выход (Slave) данных MISO (PB4);
- в) выход (Master)/вход (Slave) данных MOSI (PB5);
- г) выбор ведомого устройства SS (PB2).

Для управления модулем SPI предназначен регистр управления SPCR, расположенный по адресу \$0D (\$2D). Формат этого регистра приведен на рисунке 2.8, а краткое описание функций битов регистра приведено на рисунке 2.9.

SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0
------	-----	------	------	------	------	------	------

Рисунок 2.8 - Формат регистра SPCR управления модулем SPI.

<i>SPIE</i>	• Разрешение прерывания от SPI
<i>SPE</i>	• Включение/выключение SPI
<i>DORD</i>	• Порядок передачи данных
<i>MSTR</i>	• Выбор режима работы (Master/Slave)
<i>CPOL</i>	• Полярность тактового сигнала
<i>CPHA</i>	• Фаза тактового сигнала
<i>SPR1:SPR0</i>	• Скорость передачи

Рисунок 2.9 - Биты регистра SPCR.

Контроль состояния модуля, а также дополнительное управление скоростью обмена осуществляются с помощью регистра состояния SPSR, расположенного по адресу \$0E (\$2E).

В разработанном устройстве модуль SPI используется для записи данных (значений исследуемого сигнала) в дополнительную внешнюю flash-память. Вполне очевидно, что эта flash-память также должна иметь модуль последовательного интерфейса SPI.

Для обмена данными между flash памятью и МК используются три линии: SCK (тактовый сигнал), MOSI (вход данных) и MISO (выход данных).

Временные диаграммы сигналов при программировании представлены на рисунке 2.10, а значения параметров сигналов приведены в таблице 14.11 [14].

Программирование осуществляется путем посылки 4-байтных команд на вывод MOSI микроконтроллера. Результат выполнения команд чтения снимается с вывода MISO микроконтроллера.

Передача команд и получение результатов их выполнения реализовываются от старшего бита к младшему. При этом «защелкивание» входных данных осу-

ществляется по нарастающему фронту сигнала SCK, а «защелкивание» выходных данных - по спадающему.

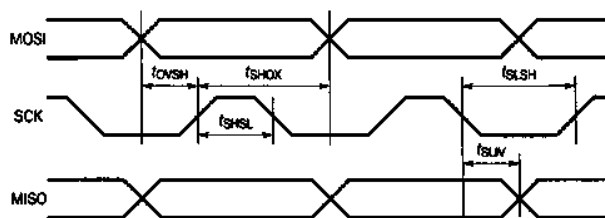


Рисунок 2.10 - Временные диаграммы сигналов при программировании.

Формат всех команд, используемых для программирования микроконтроллеров семейства в этом режиме, приведен в таблице 14.12 [14].

Для перевода МК в режим записи данных (программирование) во flash память необходимо выполнить несколько обязательных операций.

Подать на микроконтроллер напряжение питания, при этом на выводах SCK и RESET должно быть напряжение НИЗКОГО уровня. В некоторых случаях (если программатор не гарантирует установку сигнала SCK в 0 при подаче питания) после установки сигнала SCK в 0 необходимо подать на вывод RESET положительный импульс длительностью не менее двух периодов тактового сигнала МК.

Выждать не менее 20 мс.

Послать на вывод MOSI команду «Разрешение программирования». Для контроля прохождения команды при послышке 3-го байта возвращается значение 2-го байта (\$53). Если возвращаемое значение отлично от указанного, необходимо подать на вывод RESET положительный импульс и снова послать команду «Разрешение программирования». Причем независимо от возвращаемого значения необходимо передавать все 4 байта команды. Отсутствие возврата числа \$53 после нескольких попыток указывает на отсутствие связи между программатором и МК либо на неисправность микросхемы.

После завершения программирования на вывод RESET можно подать напряжение ВЫСОКОГО уровня для перевода МК в рабочий режим либо выключить его.

Программирование памяти программ МК семейства Mega осуществляется

постранично. Вначале содержимое страницы нужно побайтно занести в буфер по командам «Загрузка страницы FLASH-памяти». В каждой команде передаются младшие биты адреса изменяемой ячейки (положение ячейки внутри страницы) и записываемое значение. Содержимое каждой ячейки должно загружаться в следующей последовательности: сначала младший байт, потом старший.

Фактическое программирование страницы flash-памяти осуществляется после загрузки буфера страницы по команде «Запись страницы flash-памяти». В команде передаются старшие биты адреса ячеек (номер страницы).

2.1.4 Модуль универсального приемо-передатчика USART

Согласно техническому заданию, управляющий МК должен также обеспечить запись\считывание данных с внешней flash памяти и выдачу адреса предупреждающего аудиосообщения на синтезатор речи ISD. Эту функцию в управляющем МК выполняет модуль USART0, программно настроенный на работу в режиме SPI.

В данном применении использование модуля является типовым и достаточно подробно рассмотрено выше. Поэтому подробно вопросы формирования формата кадра, обеспечение приема и передачи данных и контроля четности рассматривать не будем.

При организации интерфейса USART-SPI необходимо рассмотреть ряд вопросов, главными из которых являются задание скорости приема \ передачи. Согласно ТЗ скорость передачи данных не регламентирована, т.к. объем передаваемых данных весьма мал, а время их передачи не играет существенной роли. Поэтому для определения параметров модуля USART выберем скорость передачи равной 19,2 кб\с.

В асинхронном режиме, а также в синхронном режиме при работе в качестве ведущего, скорость приема и передачи данных задается контроллером скорости передачи, который работает как делитель системного тактового сигнала с программируемым коэффициентом деления. Коэффициент деления определяется содержимым регистра контроллера UBRR.

В блок приемника сформированный сигнал поступает напрямую, а в блок

передатчика - через дополнительный делитель, коэффициент деления которого (2, 8 или 16) зависит от режима работы модуля USART.

Регистр UBRR является 12-битным и физически размещается в двух регистрах ввода/вывода UBRRH:UBRRL, размещенных по адресам \$20(\$40):\$09(\$29).

При записи регистр определяется состоянием старшего бита записываемого значения URSEL. Если этот бит сброшен в 0, то изменяется содержимое регистра UBRRH, если же он установлен в 1, то изменяется содержимое регистра управления UCSRC.

Для выбора регистра при чтении используется временная последовательность. При первом обращении по указанным адресам возвращается значение регистра UBRRH. При повторном обращении по этим адресам в следующем такте возвращается значение регистра UCSRC, как показано в приведенных ниже примерах. Прерывания при выполнении этой последовательности команд должны быть запрещены.

При работе в асинхронном режиме скорость обмена определяется не только содержимым регистра UBRR, но и состоянием бита U2X регистра UCSRA. Если этот бит установлен в 1, коэффициент деления предделителя уменьшается в два раза, а скорость обмена соответственно удваивается. При работе в синхронном режиме этот бит должен быть сброшен.

Скорость обмена в асинхронном режиме определяется следующим образом:

асинхронный режим обычный ($U2X = 0$)

$$BAUD = \frac{f_{CK}}{16(UBRR + 1)}, \quad (2.1)$$

асинхронный режим ускоренный ($U2X = 1$)

$$BAUD = \frac{f_{CK}}{8(UBRR + 1)}, \quad (2.2)$$

где:

BAUD - скорость передачи, бит/с;

f_{CK} - тактовая частота микроконтроллера;

UBRR - содержимое регистра контроллера скорости передачи (0...4095).

Значения регистра UBRR, дающие большую чем 0,5% ошибку установки скорости, также можно использовать, однако при этом снижается помехозащищенность линии передачи.

В схеме разработанного модуля мониторинга используется кварцевый резонатор 8,000 МГц. Для обеспечения скорости передачи 19,2 кб\с, согласно приведенной формуле для асинхронного режима, потребуется записать в регистр UBRR значение 25. В этом случае скорость передачи составит:

$$BAUD = \frac{8000}{16(25 + 1)} = 19,231 \text{ кбит} \setminus \text{с.} \quad (2.3)$$

Ошибка в задании скорости передачи составит:

$$\delta = \frac{19,231 - 19,2}{19,2} 100\% = 0,2\% . \quad (2.4)$$

Полученная погрешность достаточно мала, поэтому никаких проблем с заданием скорости передачи не будет. Единственная проблема согласования преобразования интерфейса SPI в USB решается известным способом – использование специальной микросхемы приемопередатчика (трансивера) интерфейса SPI - USB.

2.2 Разработка функциональной схемы модуля мониторинга

Функциональная схема разработанного модуля экологического мониторинга с удаленным доступом приведена на рисунке 2.11.

Основой разработанного модуля экологического мониторинга является недорогой управляющим flash- микроконтроллер ATmega128, встроенные модули которого выполняет практически все его основные функции.

При проведении экологического мониторинга контролируемые экопараметры (давление, температура, влажность, скорость воздуха и т.д.) с помощью соответствующих аналоговых датчиков преобразуются в сигналы напряжения постоянного тока и поступают на вход МК.

Выбор аналоговых датчиков обусловлен их весьма низкой ценой и отсутствием необходимости организации интерфейса передачи данных. Желательно только чтобы датчики имели стандартный выходной сигнал, т.к. это упрощает

работу АЦП. В противном случае необходимо использовать соответствующие схемы входных нормализаторов или программным путем установить нужный коэффициент усиления канала измерения, что может привести к снижению точности преобразования (пункт 2.1.1).

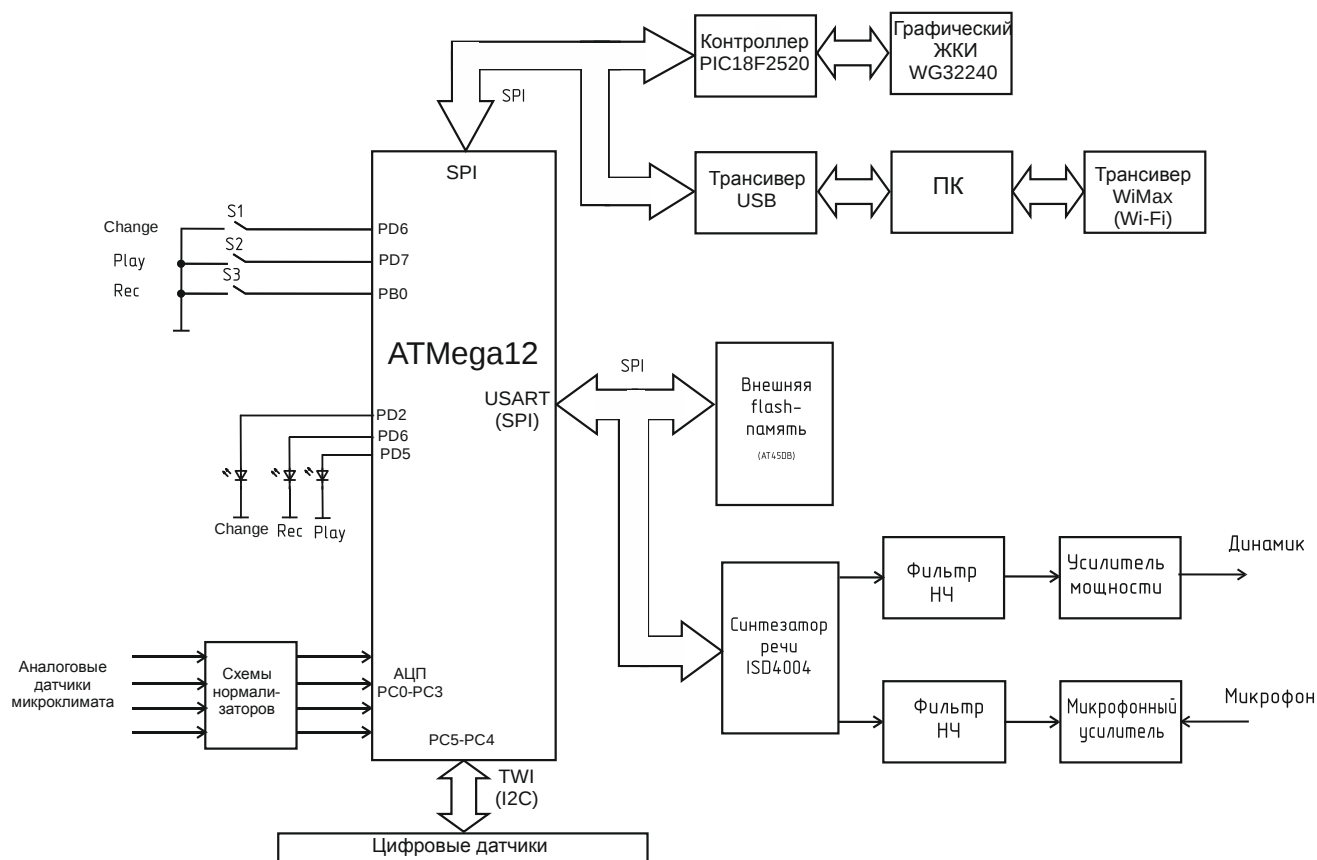


Рисунок 2.11 - Функциональная схема модуля мониторинга.

Модуль мониторинга контролирует четыре экопараметра, однако, учитывая высокое быстродействие АЦП (15000 измерений в секунду), число каналов при заданной точности можно увеличить до 8 (число мультиплексированных входов АЦП).

В модуле мониторинга предусмотрено использование и цифровых датчиков, контролируемых экопараметров (до 128 штук), ввод данных с которых осуществляется по последовательному интерфейсу TWI (полный аналог известной шины I²C).

Полученные данные вместе с показаниями часов реального времени RTC управляющего МК должны записываться во внешнюю flash-память емкостью 8 Мбит по последовательному интерфейсу SPI.

Проведенный анализ микросхем flash-памяти с SPI интерфейсом показал, что микросхемы объемом 64 Мбит стоят не на много дороже и являются полностью pin-совместимыми с памятью 8 Мбит. Поэтому в разработанном модуле мониторинга применена микросхема flash –памяти AT45DB642D фирмы Atmel с объемом памяти 69 Мбит, что позволило более чем в 8 раз увеличить объем записи контролируемых экопараметров. Даже при частоте записи показаний 8 датчиков 1 раз в минуту с фиксацией индивидуального времени измерений (288 бит) памяти хватит на 164 дня или более чем на 5 месяцев.

После окончания записи контролируемых экопараметров в автономном режиме, модуль мониторинга отображает данные на графическом ЖК дисплее высокого разрешения (320x240). Состав, порядок и вид выводимой информации определяется программой пользователя.

В случае работы в режиме удаленного доступа данные с внешней flash памяти передаются по USB интерфейсу на ноутбук (ПК), к которому подключен модуль беспроводной передачи Wi-Fi или WiMax.

В случае превышения предельно допустимых концентраций контролируемых экопараметров, канал звукового сопровождения выдает соответствующее голосовое предупреждение. Синтезатор речи, реализованный на основе специализированной микросхемы ISD4004, обеспечивает запись, а затем воспроизведение адресуемых аудиофрагментов общей длительностью до 16 минут. Управление микросхемой также осуществляется по интерфейсу SPI.

Запись на аудиофрагментов осуществляется с помощью микрофона и микрофонного усилителя, а воспроизведение осуществляется через малогабаритный динамик с помощью усилителя мощности. Требуемая полоса частот записываемых и воспроизводимых сигналов формируется соответствующими фильтрами низких частот.

Управление режимами работы модуля мониторинга осуществляется кнопками Change (Выбор датчика), Rec (Запись аудиофрагмента) и Play (Контроль записи). Режимы так же контролируются визуально с помощью трех светодиодов «Выбор», «Запись» и «Воспроизведение».

Микроконтроллеры семейства ATmega допускают внутрисистемное программирование, что реализовано в разрабатываемом модуле с помощью собственного интерфейса программирования JTAG. Этот интерфейс кроме простой «прошивки» памяти МК может осуществлять отладку в реальном времени программы МК, установленного непосредственно в работающее изделие.

2.3 Выбор элементной базы модуля мониторинга

Выбор управляющего МК модуля мониторинга был проведен ранее, поэтому рассмотрим оставшиеся важные узлы разработанного устройства.

2.3.1 Трансивер беспроводного доступа

Поскольку потребители хотят все более широкий спектр возможностей для мобильных устройств, то и процесс производства мобильных устройств становится все более сложным. Конкурентоспособные устройства должны поддерживать ряд беспроводных протоколов, таких как Bluetooth для связи между телефонами, Wi-Fi для подключения к сети на дому или к хотспотам, а также широкополосные технологии, такие как 3G или WiMax.

Таким образом, для внедрения модуля WiMax в мобильные устройства имеются следующие требования: модуль должен быть небольших размеров (примерно 20x20 мм), иметь низкое энергопотребление, поддерживать несколько частотных диапазонов, легко интегрироваться в новую продукцию, иметь надлежащие форм-факторы и иметь высокую пропускную способность. Кроме того, этот модуль не должен влиять на работу других беспроводных модулей устройства.

Как показано ниже (рисунок 2.12), мобильный WiMax модуль должен включать основной контроллер физического уровня (PHY), медиаконтрольный чип (MAC), радиочастотные устройства (RF) и усилители мощности (PAs).

Использование унифицированных модулей WiMax упрощает разработку портативных устройств и позволяет сосредоточиться на разработке конечного изделия.

Чтобы свести к минимуму потребление энергии, мобильные WiMax устройства имеют два энергосберегающих режима: спящий и холостой (sleep,

idle). Энергосбережение достигается за счет того, что часть модуля отключается

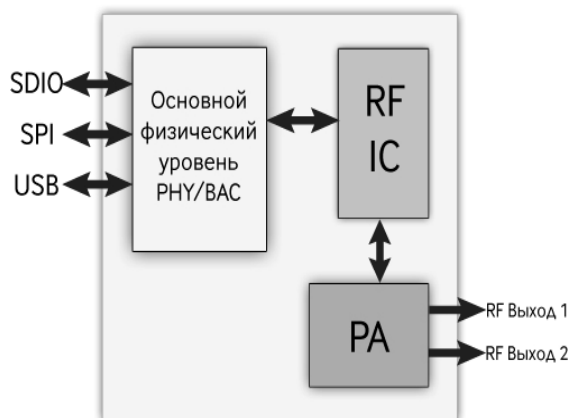


Рисунок 2.12 – Структура мобильного WiMax модуля.

в тот момент, когда устройство не принимает и не отдает данные. В спящем режиме, мобильное устройство отключается на заранее определенные сроки, которые выставляются в настройке базовой станции. Передача данных в таком случае происходит, когда устройство обнаруживает другие базовые станции. В холостом режиме может быть сэкономлено еще больше энергии, чем в режиме сна, благодаря тому, что модуль устройства может быть полностью отключен и не включаться даже при обнаружении другой базовой станции.

Поскольку все эти методы являются взаимосвязанными, и зависят от сроков и требований по пропускной способности данных, то очень сложно делать общие выводы о конкретных потребляемых мощностях. Точный тест производительности происходит при выполнении конкретных задач в реальных условиях.

Для существующих 3G телефонов или смартфонов, время работы в режиме разговора, как правило, в среднем от 3 до 6 часов. Время работы в режиме доступа в Интернет в среднем от 5 до 6 часов. Для широкого применения, производители WiMax устройств должны предлагать аналогичные показатели с теми же видами аккумуляторов. Этих показателей несложно достичь за счет применения вышеописанных режимов.

Также, при работе с мобильным устройством WiMax, следует помнить, что, когда оно не используется, WiMax модуль необходимо отключать.

На данный момент мобильные устройства WiMax, в отличие от Wi-Fi устройств, работают на одном из трех диапазонов частот. В идеале, для «бес-

шовного» роуминга по всему миру, мобильное устройство должно поддерживать все три диапазона частот 2,3 - 2,4 ГГц, 2,5 - 2,7 ГГц и 3,4 - 3,6 ГГц

Продукция, предназначенная для одного из диапазона частот, будет стоить дешевле. Однако в мобильное устройство WiMax могут быть встроены все три чрезвычайно компактных радиомодуля. Такое устройство будет продаваться по разумной цене, для тех пользователей, которые хотят неограниченный роуминг.

Поскольку в современных портативных устройствах часто бывают совмещены несколько беспроводных модулей, производители устройств должны обеспечить совместимость работы этих технологий. Как ранее уже упоминалось, WiMax устройства, как правило, работают на частотах, которые не совпадают с 2,4-2,5 ГГц диапазоном частот Bluetooth и Wi-Fi связи. Так как сигнал WiMax более мощный и все три технологии работают в близких частотных полосах, то появляется вероятность возникновения помех. Однако к настоящему времени разработаны достаточно эффективные методы обеспечения электромагнитной совместимости этих технологий и они могут работать одновременно.

В качестве примера приведем варианты реализации канала беспроводного доступа разработанного модуля экологического мониторинга.

На рисунке 2.13 показан Wi-Fi USB адаптер SMC2862W-G, обеспечивающий скорость передачи данных 54, 22, 11, 5.5, 2 и 1 Мбит/с.



Рисунок 2.13 - Wi-Fi USB адаптер SMC2862W-G.

Адаптер SMC2862W-G обеспечивает подключение компьютера к беспроводной сети в диапазоне 2.4 ГГц. Разработанный для использования, как в офисе, так и дома, новый адаптер обеспечивает скорость, диапазон покрытия и безопасность, которые удовлетворяют требованиям самых взыскательных пользовате-

лей. Поддерживая стандарт IEEE 802.11g, новый адаптер в 5 раз быстрее, чем наиболее распространенные в настоящее время устройства стандарта 802.11b, при полной с ними совместимости. Набор микросхем с поддержкой технологии PRISM Nitro™ обеспечивает высокую скорость передачи данных, достаточную даже для передачи потокового видео, мультимедиа и другого требовательного к полосе пропускания трафика. SMC2862W-G разработан в соответствии со стандартом USB2.0 и обратно совместим с USB1.1.

Адаптер поставляется с утилитой установки EZ Installation Wizard, которая обеспечивает быструю и простую установку адаптера.

Беспроводные модули компания Intel для ноутбуков Echo Peak и Shirley Peak поддерживают стандарт IEEE 802.11n. Беспроводный модуль Echo Peak, стоимостью около 40\$ поддерживает как WiMax, так и 802.11n. Модуль Shirley Peak, поддерживающий исключительно 802.11n, будет продаться цене порядка 20\$.

Наиболее простой и удобный способ выхода в сеть Mobile WiMax обеспечивает USB-модем Samsung SWC-U200. Размером с обычную флешку, он обеспечивает скорость передачи данных до 10 Мб/с в любой точке зоны покрытия и даже в движении.

Подключается в USB-разъем любого компьютера, ноутбука и совместимого роутера (D-Link DIR-320 и Asus WL-500gP V2). Идущая в комплекте программа Yota Access автоматически установит соединение с интернетом и покажет параметры подключения - уровень сигнала, скорость соединения и прочее.

Технические характеристики USB-модема Samsung SWC-U200: интерфейс подключения USB2.0, стандарт IEEE 802.16e Wave 2, диапазон частот 2.5-2.7 ГГц, мощность сигнала на выходе 0,2 Вт, потребляемая мощность 2,5 Вт, вес 25 г.

Удобная защелка позволяет скрыть коннектор USB и защитить его от случайного повреждения. Внешний вид модема показан на рисунке 2.14.

2.3.2 Трансивер интерфейса SPI\USB

Функция USB-связи реализуется при помощи специальных ИС, которые

условно можно разделить на две группы: основную и вспомогательную. К основной группе относятся микросхемы USB-трансиверов и USB-контроллеров/трансиверов, к вспомогательной группе - различного рода коммутаторы, необходимые для мультиплексирования сигналов USB-шины с аудио/видеосигналами и управления подачей питания к шине USB (напряжение VBUS).



Рисунок 2.14 - Внешний вид модема USB-модема Samsung SWC-U200.

Необходимость применения USB-трансиверов возникает, когда разрабатываемое устройство выполняется на основе низковольтной СБИС со встроенным модулем USB-контроллера. Используемый в разработанном модуле мониторинга управляющий МК ATMega128 не имеет встроенного USB контроллера, поэтому данный вариант реализации шины USB не подходит.

Для применений, где функцию USB-связи необходимо добавить к системному МК посредством параллельного или последовательного интерфейса, разработаны микросхемы USB-контроллеров со встроенным трансивером. Информация по таким трансиверам представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1- USB-контроллеры со встроенным трансивером

Наименование	Производитель	Описание	Область применения					Интерфейс управления
			FS	HS	HOST	DEVICE	OTG	
MAX3420E	Maxim	контроллер общего назначения	V			V		SPI
MAX3421E	Maxim	контроллер общего назначения	V		V	V		SPI
TUSB3210	TI	контроллер общего назначения	V			V		-

TUSB3410	П	контроллер пре- обр. интерфейсов USB-UART	V			V		RS232/IrDA
TUSB6015	П	контроллер обще- го назначения	V			V		NOR Flash

Продолжение таблицы 2.1

Наимено- вание	Произ- водителе- ль	Описание	Область применения					Интерфейс управления
			FS	HS	HOST	DEVICE	OTG	
TUSB6250	П	контроллер пре- обр. интерфейсов USB- ATA/ATAPI	V	V		V		ATA/ATAPI
TUSB6020	П	контроллер плат- формы DaVinci	V	V			V	VLINC 2.0
TUSB6010B	П	контроллер обще- го назначения		V	V		V	NOR Flash

Контроллеры Maxim полностью управляются через трех- или четырехпроводный интерфейс SPI. Благодаря этому, host- (только для MAX3421E) или device-функцию можно добавить даже 8-выводному микроконтроллеру, при этом, потерянные линии ввода-вывода будут с запасом компенсированы предусмотренными у трансиверов портами ввода/вывода общего назначения (4 входа и 4 выхода у MAX3420E, 8 входов и 8 выходов у MAX3421E). Кроме того, за счет низкой стоимости схемы гальванической развязки интерфейса SPI, на основе контроллера MAX3420/1E достигается очень выгодная по стоимости реализация оптоизолированного USB интерфейса.

Выберем в качестве USB контроллера микросхему MAX3420E. Полное описание, спецификации, EVM и сведения о применении можно посмотреть на сайте производителя Maxim Integrated Products.

MAX3420E – это 12 Мб/с периферийный USB контроллер с SPI интерфейсом. Он включает все цифровые и аналоговые модули, нужные для того, чтобы обеспечить периферийное USB и вести обмен данными на полной скорости в соответствии со стандартом USB 2.0.

MAX3420 содержит USB приемопередатчик с защитой от статического напряжения ЭСП ± 15 кВ, USB автомат последовательного интерфейса (SIE), буфер терминалов, подчиненный SPI интерфейс и 1,5 кОм подтягивающий резистор.

стор на линии D+. Встроенный USB приемопередатчик имеет программируемое USB подключение и отключение, в то время как SIE поддерживает USB протокол на низком уровне (NAK пока не готов, установка бита, формирование и проверка CRC и перезапуск шины).

Типовая схема подключения MAX3420E приведена на рисунке 2.15.

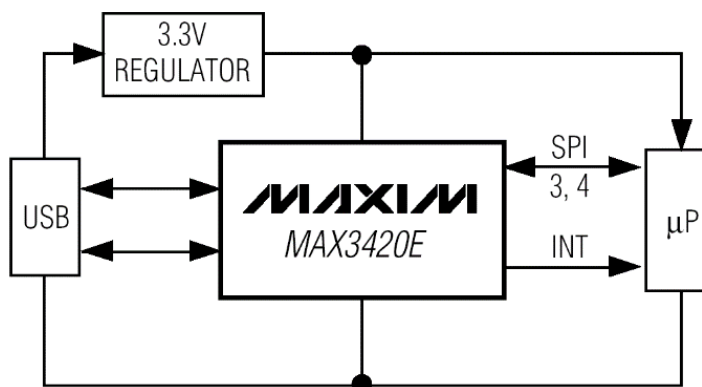


Рисунок 2.15 - Типовая схема подключения MAX3420E.

2.3.3 Внешняя flash-память данных

AT45DB642 - это микросхема flash-памяти с однополярным питанием напряжением 2,7 В и двумя интерфейсами обмена данными, пригодная для перепрограммирования внутри системы. Два интерфейса при одновременном использовании позволяют подсоединить к AT45DB642 через последовательный интерфейс к DSP, а через параллельный – микроконтроллер или наоборот.

Интегральное исполнение памяти AT45DB642 представлено на рисунке 2.16.

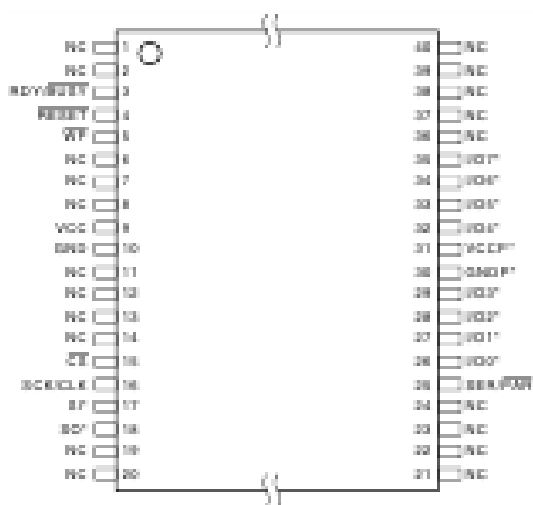


Рисунок 2.16 - Интегральное исполнение памяти AT45DB642.

Технические характеристики АТ45DB642 представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики АТ45DB642

Наименование параметра	Значение
Структура памяти	FLASH
Интерфейс	Параллельный, SPI

Продолжение таблицы 2.2

Наименование параметра	Значение
Объём памяти	64 Мбит
Организация памяти	8192x1056
Скорость	20МГц
Напряжение питания	2.7...3.6 В
Рабочая температура	-40...85 °С
Особенности	Dual interface

2.3.4 Графический ЖК индикатор высокого разрешения

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество разнообразных графических ЖКИ (ЖК дисплеев). Существуют модели, как со встроенным контроллером-знакогенератором, так и без него. В разработанном модуле мониторинга используется ЖКИ WG32240 с разрешением 320x240 производства фирмы WinStar со встроенным контроллером-знакогенератором SED1335 фирмы Epson.

Встроенный контроллер ЖКИ берёт на себя всю черновую работу по выводу изображения на экран, однако само изображение формируется управляющим МК модуля мониторинга. При этом для создания удобного и функционального пользовательского интерфейса приходится реализовывать довольно ресурсоёмкие алгоритмы рисования линий, окружностей, вывода точек, текста и т.п.

Специализированный контроллер GL-001 предназначен для разгрузки управляющего МК и по своим функциям подобен видеокarte персонального компьютера. Контроллер GL-001 управляется по последовательному интерфейсу SPI и позволяет рисовать линии, окружности, прямоугольники, дуги и выводить текст шрифтом двух размеров. Ядром GL-001 является микроконтроллер PIC18F2520 фирмы Microchip, алгоритмы которого используют целочисленную арифметику.

Контроллер GL-001 подключается к ЖКИ с помощью гибкого плоского шлейфа с шагом 1 мм, например Molex 21039-0363 через разъём LCD. Управля-

ющие сигналы контроллера выведены на отдельный разъём типа PLD-8.

Типовая схема подключения графического ЖКИ WG32240 с контроллером GL-001 приведена на рисунке 2.17.

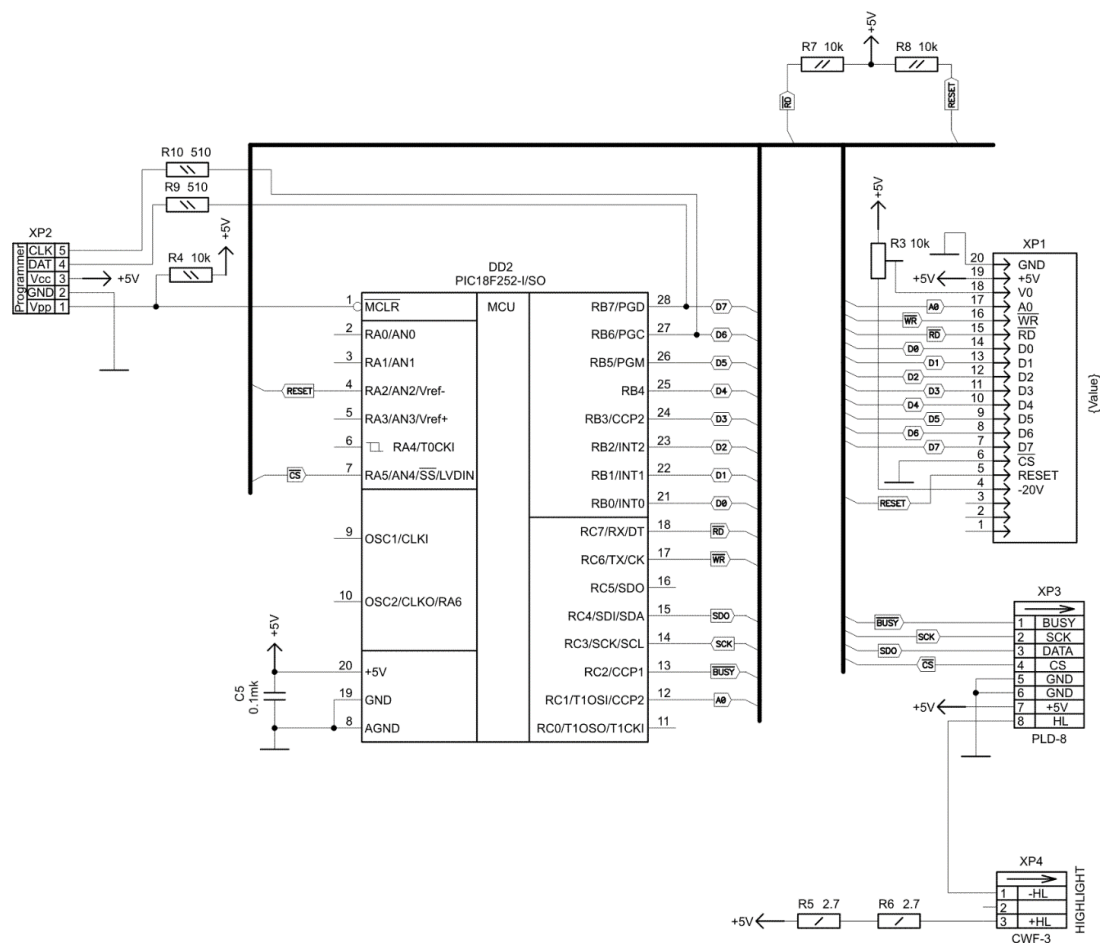


Рисунок 2.17 - Типовая схема подключения графического ЖКИ WG32240.

2.4 Разработка канала голосового сопровождения

Проведенный в пункте 1.3 обзор интегральных синтезаторов речи показал, что одним из наиболее приемлемых вариантов создания канала голосового сопровождения (модуля голосовых комментариев) автономного регистратора является использование микросхем ChipCorder фирмы Winbond Electronics.

Анализ технического задания показал, что требованиям по длительности воспроизводимых (записываемых) аудиофрагментов и интерфейсу управления соответствуют микросхемы серии ISD4004. Основные технические параметры синтезаторов ISD4004 приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Основные технические параметры синтезаторов ISD4004

Модель	Длительность, (мин.)	Частота выборки, (кГц)	Типичная полоса пропускания, (кГц)
--------	----------------------	------------------------	------------------------------------

ISD4004-08M	8.0	8.0	3.4
ISD4004-10M	10.0	6.4	2.7
ISD4004-12M	12.0	5.3	2.3
ISD4004-16M	16.0	4.0	1.7

Из данных, приведенных в таблице, следует, что по длительности воспроизведения аудиофрагментов и требуемой полосе пропускания в разработанном модуле мониторинга может быть использована микросхема ISD4004-08M.

Микросхема ISD4004-08M производит выборку с частотой дискретизации 8 кГц. Речевые выборки сохраняются непосредственно в энергонезависимой памяти на чипе без преобразования в цифровую форму и сжатия, характерных для других решений записи речи. Сообщение хранится до 100 лет без подачи электропитания. Кроме того, устройство может быть перезаписано свыше 100 000 раз. Прямая аналоговая память обеспечивает естественное звучание воспроизводимого голоса, музыки, тонов и звуковых эффектов. Максимальная длительность записи 8 минут при требуемых техническим заданием 5 минутах.

Структурная схема ISD4004-08M представлена на рисунке 2.18. В состав данного типа микросхем входят: генератор тактовых импульсов, микрофонный усилитель, схема АРУ, фильтр защиты от наложения спектров, многоуровневый Flash- массив хранения данных с высокой степенью плотности, устройство ослабления шумов в паузе и выходной усилитель ЗЧ.

Структурная схема микросхем синтезаторов речи ISD4040 Chip Order

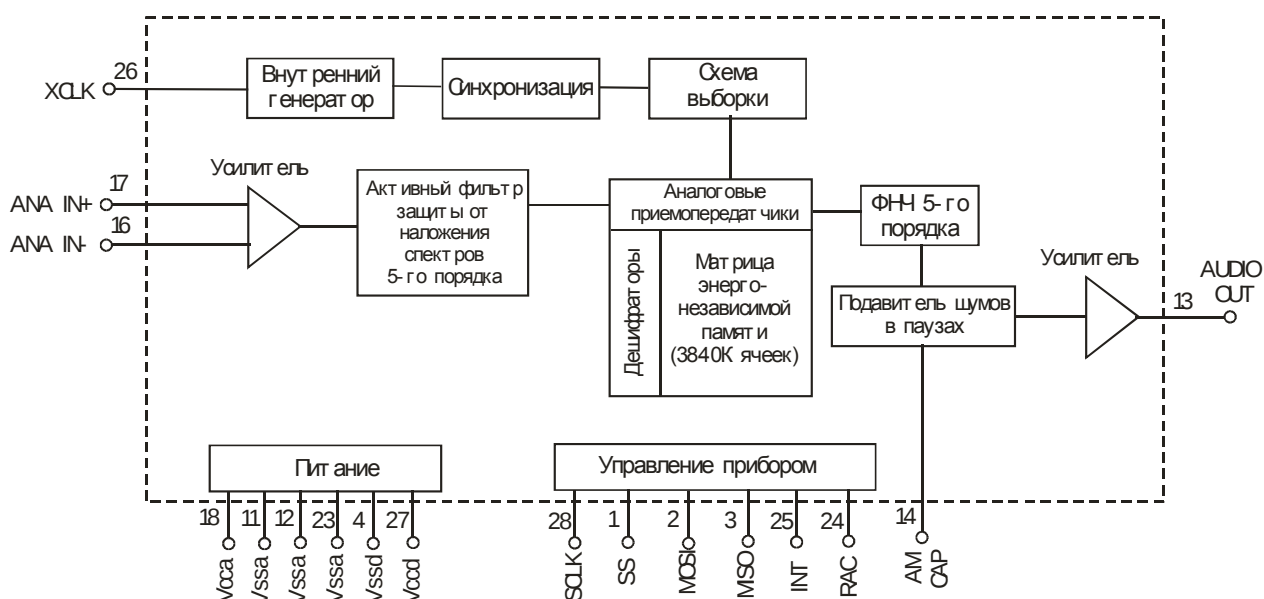


Рисунок 2.18 - Структурная схема синтезатора ISD4004-08M.

ИС серии ISD4004 применяются в микропроцессорных, или микроконтроллерных системах. Управление адресом и функциями производится с помощью последовательного интерфейса SPI или Microwire Serial Interface, что позволяет уменьшить число выводов ИС.

Записанные данные сохраняются в ячейках встроенной энергонезависимой памяти. Предварительная запись аудиофрагментов осуществляется с помощью узла записи, к которому через внешнюю схему согласования может быть подключен микрофон. В принципе, синтезатор может быть запрограммирован и с помощью специального программатора микросхем ISD.

Анализ структуры синтезатора ISD4004-08M показал, что данная микросхема обладает достаточно полным набором встроенных модулей, чтобы осуществлять процессы записи и воспроизведения предупреждающих фрагментов.

Для достижения требуемого уровня громкости используется усилитель мощности на микросхеме LM4860 фирмы National Semiconductor. Ее коэффициент усиления задается внешними резисторами на уровне 10 и при необходимости может быть изменен. Микросхема требует минимальное количество навесных элементов и оснащена защитой от перегрева кристалла. При напряжении питания 5 В она обеспечивает 1 Вт на 8 Ом нагрузке при уровне нелинейных искажений не более 1% в требуемом частотном диапазоне.

Напряжение питания микросхемы лежит в диапазоне от 2,7 до 5,5 В, что соответствует напряжению питания разработанного регистратора. Малый ток покоя микросхемы 0,4 мкА делает ее весьма привлекательной для аппаратуры с батарейным питанием.

Приведенные данные показывают, что усилитель LM4860 полностью соответствует требованиям технического задания.

2.5 Расчет надежности разработанного модуля мониторинга

Надежность – это свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или наработки [19]. Это комплексное свойство, включающее такие её показатели, как долговечность, ремонтпригодность и сохраняе-

мость. Показатели надежности имеют статистический характер и характеризуют партию изделий на основе выборки.

Различают аналитические методы расчета надежности при проектировании радиоаппаратуры и расчет надежности по статистическим данным, полученным в процессе эксплуатации или испытаний. Вполне очевидно, что в данном случае должен быть использован первый вариант.

Сущность расчета состоит в определении числовых значений основных показателей безотказности: $P(t)$ - вероятности безотказной работы за время t , $\lambda(t)$ - интенсивности отказов и T_0 - наработки на отказ. Расчет проводят по известным интенсивностям отказов элементов $\lambda_i(t)$, входящих в состав разработанного устройства.

При этом проводятся ориентировочные методы расчета при которых принимается, что устройство работает при $+20^\circ\text{C}$ и все его компоненты имеют коэффициент нагрузки $K_n=1$. Такие методы используются на этапе первоначального проектирования для оценки достижимого уровня надежности. Для более точных (полных) методов расчета необходимо иметь опытные образцы модуля для оценки реальных значений температуры и коэффициентов нагрузок K_n всех радиоэлементов.

В период нормальной эксплуатации радиоаппаратуры интенсивность отказов ее компонентов подчиняется экспоненциальному закону распределения [19]. Поэтому суммарную интенсивность отказов РЭА $\lambda_\Sigma(t)$ можно считать величиной постоянной во времени:

$$\lambda_\Sigma(t) = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i = \text{const} , \quad (2.5)$$

где:

$\lambda_i(t)$ - интенсивность отказов i -го элемента;

N_i – количество однотипных i -х элементов;

k - количество групп элементов.

В этом случае, вероятность безотказной работы устройства за время t будет определяться простым выражением

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}. \quad (2.6)$$

Для аналитического расчета надежности воспользуемся принципиальной электрической схемой разработанного модуля анализа, данными управляющих файлов разработанной печатной платы и справочными данными по интенсивности отказов отдельных радиокомпонентов схемы.

В таблице 2.4 приведены результаты расчета основных показателей надежности разработанного модуля мониторинга.

Таблица 2.4 - Данные расчета надежности модуля экологического мониторинга

Наименование элемента	Обозначение по схеме	Количество, N_i	Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/ч	$N_i \lambda_i \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Конденсаторы К10-17	С	21	0,1	2,1
Конденсаторы К50-16	С	4	0,8	3,2
ИС аналоговые	DA	4	0,03	0,12
ИС цифровые	DD	3	0,02	0,06
Резисторы МЛТ	R	11	0,4	4,4
Светодиод L-44	VD	3	0,2	0,6
Кнопки ML-2SDR	X	3	0,4	1,2
Разъемы IEDG, OWF	X	5	1,4	7,0
Резонатор кварцевый	ZQ	2	0,65	1,3
Паяные соединения	-	282	0,01	2,82

Итого

$$\lambda_{\Sigma} = 22,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/час}$$

Изделие используется в на открытом воздухе при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 80°C, при относительной влажности до 98%, атмосферном давлении от 630 до 800 мм рт. ст. Согласно [19] коэффициент воздействия (коэффициент снижения надежности) для указанных условий эксплуатации составляет $K_{вл} = 1,7$.

Наработка на отказ разработанного модуля составит:

$$T_0 = \frac{1}{K_{вл} \lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{1,7 \cdot 22,8 \cdot 10^{-6}} = 25800 \approx 25,8 \text{ тысячи часов}$$

или около 9 лет при ежедневной 8 часовой работе. Вероятность безотказной непрерывной работы за 1000 часов составит $P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} = e^{-0,0228} = 0,97$.

Проведенные расчеты показывают, что разработанный модуль мониторинга обладает высокой надежностью, удовлетворяющей требованиям технического

задания. Это позволяет практически исключить его сервисное обслуживание в течение всего 8 летнего срока службы.

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию портативного модуля экологического мониторинга

3.1 Реализация модуля мониторинга

Основные вопросы, связанные с организацией процесса аналого-цифрового преобразования и интерфейса SPI-USB, а также применения графического ЖКИ и трансивера удаленного доступа достаточно подробно рассмотрены в разделе 2 пояснительной записки. Процессы записи и воспроизведения контролируемых экопараметров во внешнюю flash-память являются, пожалуй, наиболее важными в разработанном устройстве. Поэтому остановимся более подробно на этих вопросах.

3.1.1 Предварительная настройка

Настройка портов выполняется в подпрограмме «setup» (установка).

Протокол SPI определяет одно устройство как «ведущее», а другие устройства, подключенные к «ведущему», как «ведомые». В данном применении микроконтроллер ATmega128 выступает в роли «ведущего», а DataFlash AT45DB642 в роли «ведомого».

SPI интерфейс МК определён как альтернативная функция порта PortB. Для установок «ведущего», сигналы Serial Clock (SCK), Master Out/Slave In (MOSI), Chip Select (#CS), Write Protect (#WP) и Reset (#RST) являются выходами, тогда как Master In/Slave Out (MISO) и Ready/Busy (RDY/#BSY) являются входами. Линии управления светодиодами PD2, PD5 и PD6 также определяется как выход.

Состоянием по умолчанию PortB определяется: все выходы в высокоомном (Z) состоянии и ко всем ним подключены внутренние подтягивающие (нагрузочные) резисторы.

Модуль АЦП МК подключен к входам порта PortF. Поэтому PortF определён как вход в высокоимпедансном состоянии.

Выводы PD6, PD7 и PB0 служат в качестве входа для джамперов задания режима работы модуля.

3.1.2 Главный цикл программы

В главном цикле (рисунок 3.1) отслеживается состояние всех трёх джамперов (или кнопок). Если один из них замкнут, то вызывается соответствующая подпрограмма и загорается светодиод.

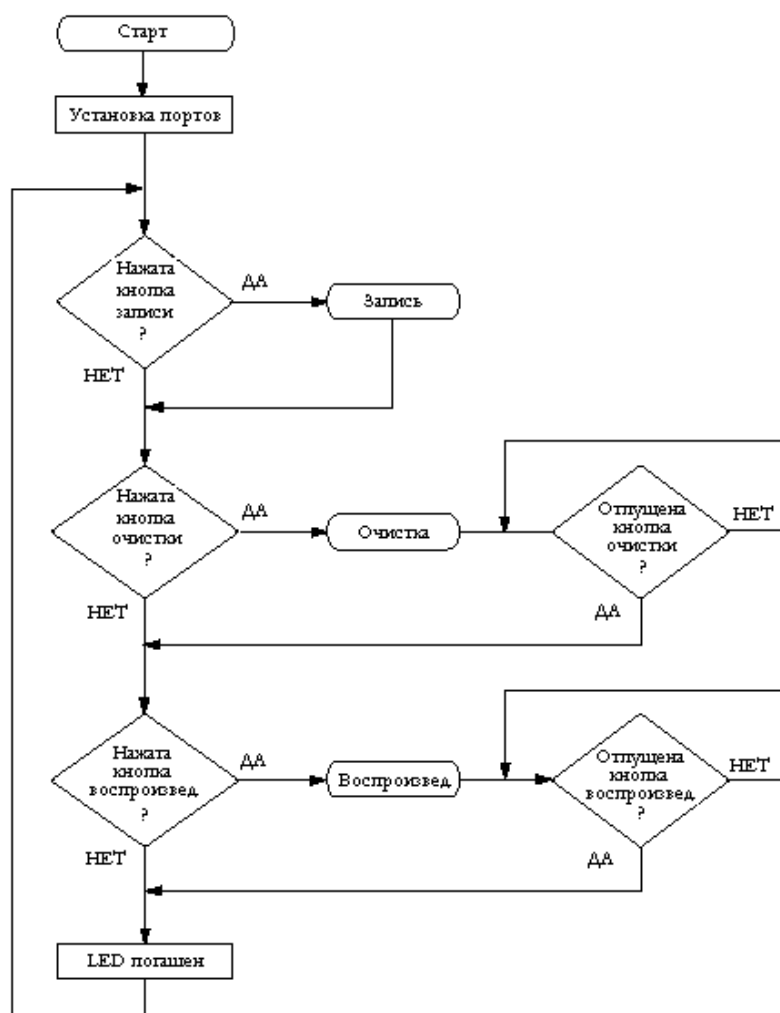


Рисунок 3.1 - Главный цикл программы работы с внешней flash-памятью.

3.1.3 Очистка внешней flash-памяти данных

Перед началом записи данных Data Flash память может быть предварительно очищена (рисунок 3.2).

При вызове подпрограммы «erase» (очистка), устанавливается флаг, который показывает, что в следующем цикле записи новые данные могут быть сохранены в начале DataFlash.

SPI должен быть установлен для доступа к DataFlash. Прерывания не используются. Порядок данных для DataFlash следующий: MIB является первым, а

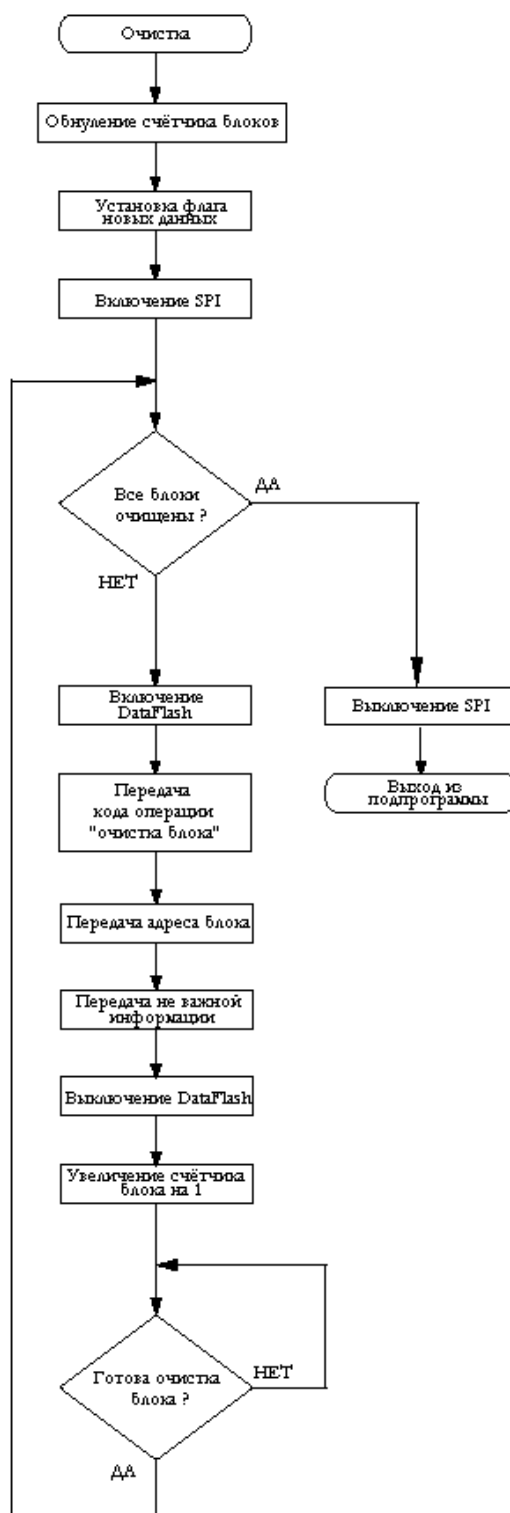


Рисунок 3.2 – Блок схема алгоритма очистки внешней flash-памяти данных.

DataFlash принимает либо сигнал SCK, находящийся в низком состоянии, когда #CS переключается из высокого в низкое состояние (SPI режим 0), либо сигнал SCK, находящийся в высоком состоянии, когда #CS переключается из

низкого в высокое состояние (SPI режим 3), во время положительной фазы тактовых импульсов. В разработанном устройстве используется SPI в режиме 3. Для того чтобы получить наибольшую скорость передачи данных, выбирается наименьшее деление тактовой частоты и шина SPI запускается на частоте 2 МГц (используется кварцевый резонатор 8 МГц).

Для выполнения очистки блока, линия #CS переводится в низкое состояние и в DataFlash, следом за двумя зарезервированными битами (нулями), загружается код операции 0x50, затем 9-разрядный адрес блока и 13 не имеющих значения бит. Эта последовательность передаётся побайтно «ведомому». После каждого байта, регистр состояния SPI (SPSR) проверяется до тех пор, пока флаг прерываний SPI не покажет, что передача завершена.

После записи всей последовательности, сразу после перевода линии #CS в высокое состояние, начинается очистка блока. Вывод Ready/Busy переводится памятью DataFlash в низкое состояние, до тех пор, пока блок не очиститься. Затем следующий блок будет очищен тем же самым способом, что и текущий. Очистка будет продолжаться, пока все 512 блоков не очистятся. Очищенные зоны читаются как 0xFF.

3.1.4 Аналого-цифровое преобразование

Подпрограмма записи состоит из установки АЦП и пустого цикла, который длится пока нажата кнопка Res «Запись».

Первое аналого-цифровое преобразование занимает больше времени, чем последующие преобразования (832 тактовых импульсов вместо 448). После преобразования, возникает прерывание АЦП, показывающее, что оно закончено, и результат может быть прочитан из регистра данных АЦП (рисунок 3.3).

Исследуемый аналоговый сигнал квантуется с частотой 15686 Гц. На этой же частоте работает и модуль ШИМ.

Для достижения частоты выборки 15686 Гц, выборка должна происходить каждые $255+255=510$ циклов ($15686 \text{ Гц} \cdot 510 = 8 \text{ МГц}$). Для получения одного результата АЦП, нужно каждые 510 циклов запускать АЦП в режиме одиночного преобразования с коэффициентом деления частоты 32. Одиночное преобразо-

вание занимает 14 циклов АЦП. Поэтому преобразование будет готово после $14 \cdot 32 = 448$ циклов.

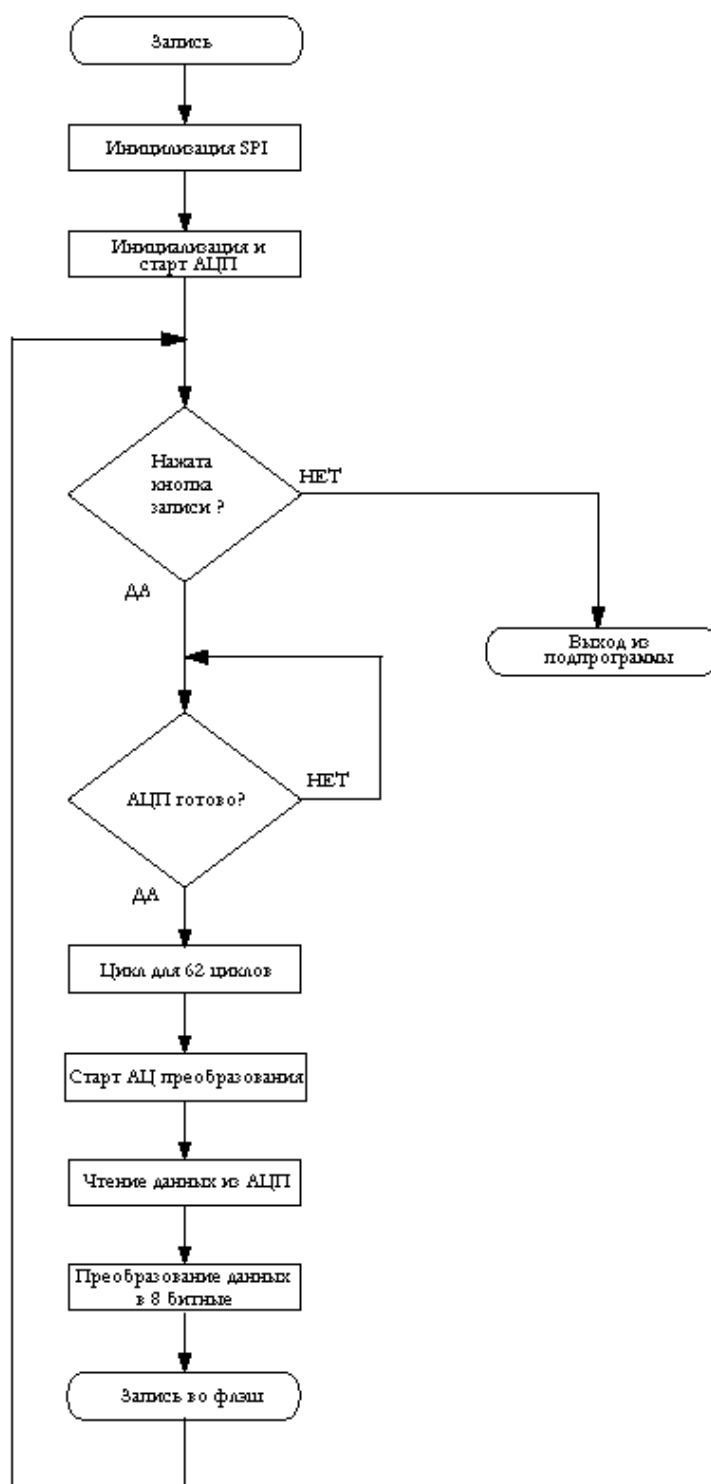


Рисунок 3.3 – Блок схема алгоритма аналого-цифрового преобразования.

Когда преобразование закончено, возникает прерывание. Процедура прерывания выполняет цикл для заполнения пустых 62 цикла (510–448), перед началом нового преобразования.

Результатом 10-разрядного преобразования является величина на входе

АЦП, которая появляется через 2 цикла после начала преобразования. Эти 10 бит перекрывают диапазон от AGND до AREF (в данном примере от 0 до 2,5В).

3.1.5 Запись данных во внешнюю память DataFlash

При записи данных в DataFlash они заносятся вначале в буфер, а когда буфер заполнен, то его содержимое переносится на одну страницу главной памяти.

В подпрограмме «write_to_flash» переменная «j» соответствует номеру байта в буфере, а переменная «k2 номеру страницы, в которую будет записываться содержимое буфера. Если флаг новых данных показывает, что DataFlash пуста, то оба счётчика устанавливаются в нуль.

Если память уже содержит некоторые данные, то переменные показывают следующее свободное место в памяти, и гарантируют, что новые данные добавятся к содержимому памяти. Для того чтобы защитить содержимое этих переменных при двух вызовах функций, они объявляются статическими переменными.

Для записи данных в буфер, линия #CS переводится в низкое состояние и в DataFlash загружается операционный код 0x84. Это следует за 14 не имеющими смысла битами и 10-битовым адресом положения внутри буфера. Затем вводятся 8-бит данных (рисунок 3.4).

Эта последовательность передаётся «ведомому» побайтно. После каждого байта проверяется регистр состояния SPI (SPSR), пока флаг прерывания SPI не покажет, что последовательная передача завершена. После записи всей последовательности линия #CS переводится в высокое состояние.

Если буфер заполнен и остались пустые страницы, то он копируется на следующую страницу DataFlash. Так как память была очищена раньше, то данные могут быть записаны без дополнительного стирания.

Если память заполнена, то цикл выполняется, пока нажата кнопка «Запись». Любые данные, записанные в то время, когда память уже заполнена, будут потеряны.

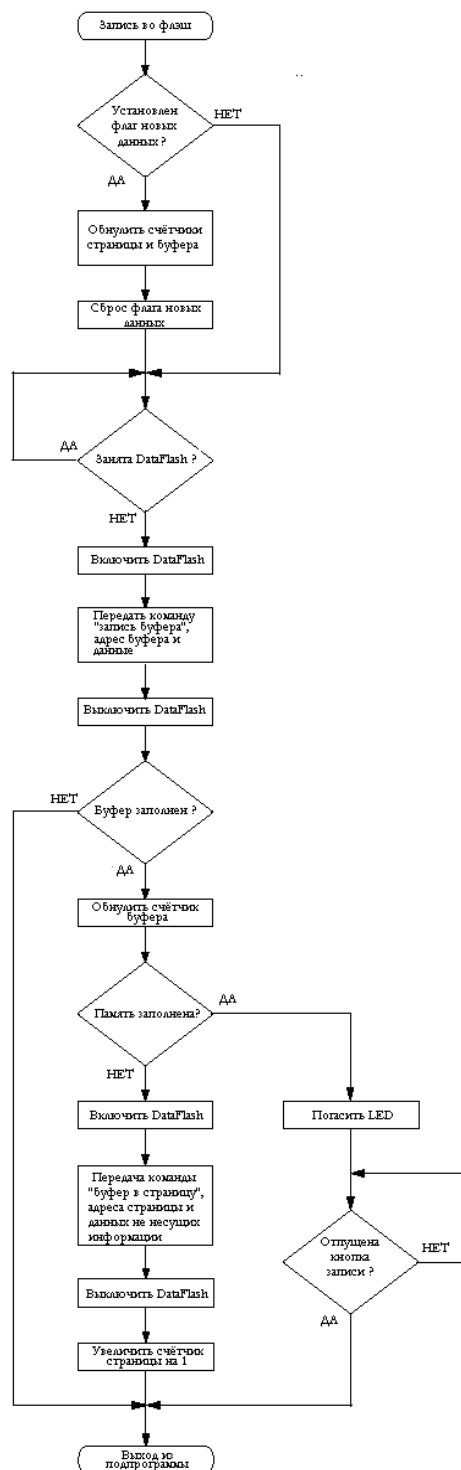


Рисунок 3.4 – Блок схема алгоритма работы записи данных во внешнюю память.

3.1.5 Воспроизведение данных из внешней памяти DataFlash

В процедуре «Воспроизведение» содержимое DataFlash считывается и восстанавливается модулем ШИМ на частоте 15686 Гц. Для достижения большей скорости данные не читаются напрямую из основной памяти, а передаются в один из двух буферов и затем читаются из него. В это время копируется следующая страница памяти в другой буфер. Для восстановления записанного сигнала

используется 16-разрядный Таймер1 с выходом ШИМ на OC1B (регистры управления TCCRA и TCCRB). Для запуска ШИМ с максимальной частотой, делитель тактовой частоты ШИМ устанавливается в 1 (рисунок 3.5).

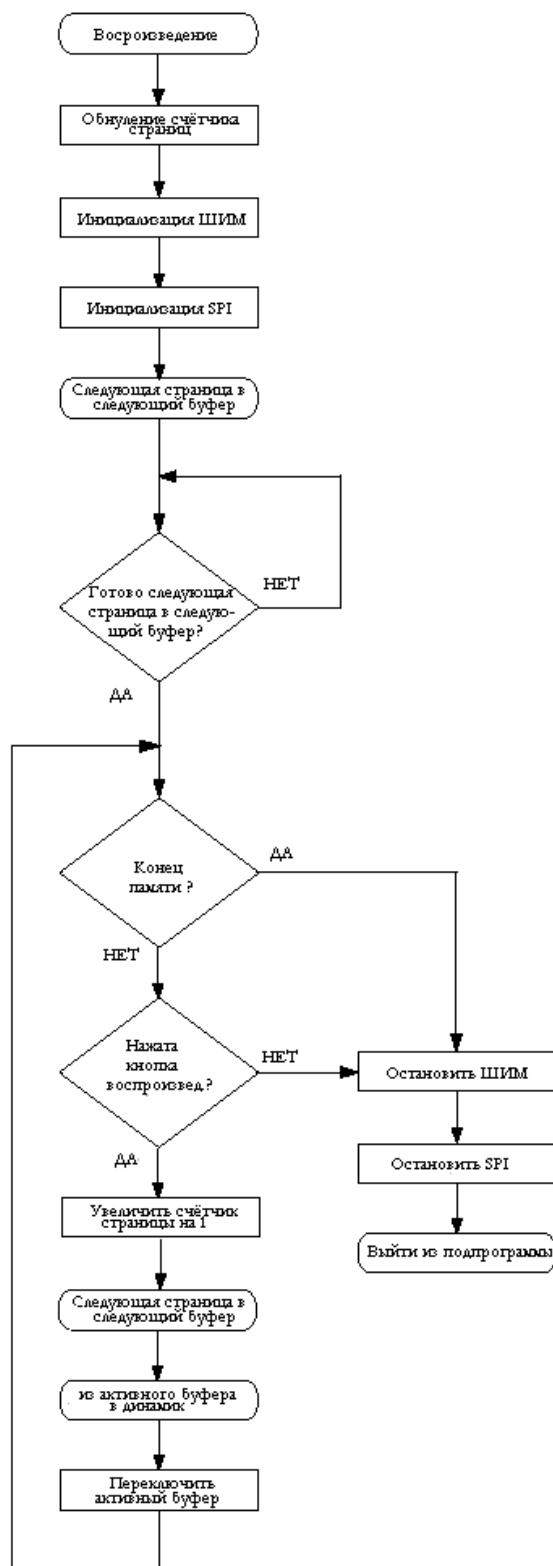


Рисунок 3.5 – Режим считывания данных с внешней памяти DataFlash.
По завершении установки, первая страница копируется в буфер 1, перево-

дом линии #CS в низкое состояние и посредством передачи соответствующих команд в DataFlash. Передача страницы в буфер начинается, когда линия #CS переводится снова в высокое состояние.

Когда состояние на выводе Ready/Busy изменяется памятью DataFlash на высокое, то это значит, что буфер 1 хранит действительные данные. Затем начинается передача следующей страницы в буфер 2. Так как оба буфера независимы друг от друга, то данные могут всегда читаться из буфера 1, пока DataFlash остаётся занятой копированием данных из второй страницы в буфер 2.

Для чтения байта из буфера, в DataFlash записывается некая фиктивная величина. Операция записи «ведущего» в SPI «ведомого» приводит к тому, что содержимое его регистра данных SPI (SPDR) изменяется. После записи фиктивного байта в DataFlash, регистр SPDR микроконтроллера AVR содержит выходные данные из DataFlash.

Когда значения ШИМ счётчика равно «0», Таймер1 вызывает прерывание переполнения. Это прерывание используется для синхронизации выходных данных из DataFlash частотой ШИМ.

После того как считывается последнее значение из буфера, активный буфер переключится. Если воспроизведена вся память, то все прерывания отключены и Таймер/Счётчик 1 остановлен.

3.2 Подключение и организация работы синтезатора речи

Как было показано в пункте 1.3, синтезаторы ISD4004 для управления и адресации используют четырёхпроводный (SCLK, MOSI, MISO, SS) последовательный периферийный интерфейс SPI. В системе с микроконтроллером микросхема работает как периферийное подчиненное устройство при этом доступ для записи / чтения ко всем внутренним регистрам происходит через интерфейс SPI. Сигнал прерывания (INT) и внутренний регистр состояния используются только для чтения и установления связи.

3.2.1 Подключение аналоговых цепей синтезатора

Для минимизации шумов аналоговые и цифровые цепи в синтезаторе подключены к разделенным шинам питания, соответственно к V_{cca} и V_{ccd} . Выводы питания расположены максимально близко от источника питания.

Выводы общих проводов («земель») аналоговой (V_{ssa}), и цифровой (V_{ssd}) частей ISD4004-08M также выполнены отдельно. Вывод аналоговой «земли» V_{ssa} связан с «землей» источника питания линией с весьма низким полным сопротивлением, а цифровая «земля» V_{ssd} связана с «землей» источника питания отдельной шиной с низким импедансом. Шины, соединяющие аналоговый и цифровой входы с «землей» источника питания выполнены достаточно широкими чтобы гарантировать минимальное падение напряжения на них. При этом разность полного сопротивления у этих шин не должна превышать 3 Ом.

Аналоговый входной сигнал для записи может подаваться либо в асимметричном, либо в дифференциальном режимах (рисунок 3.6).

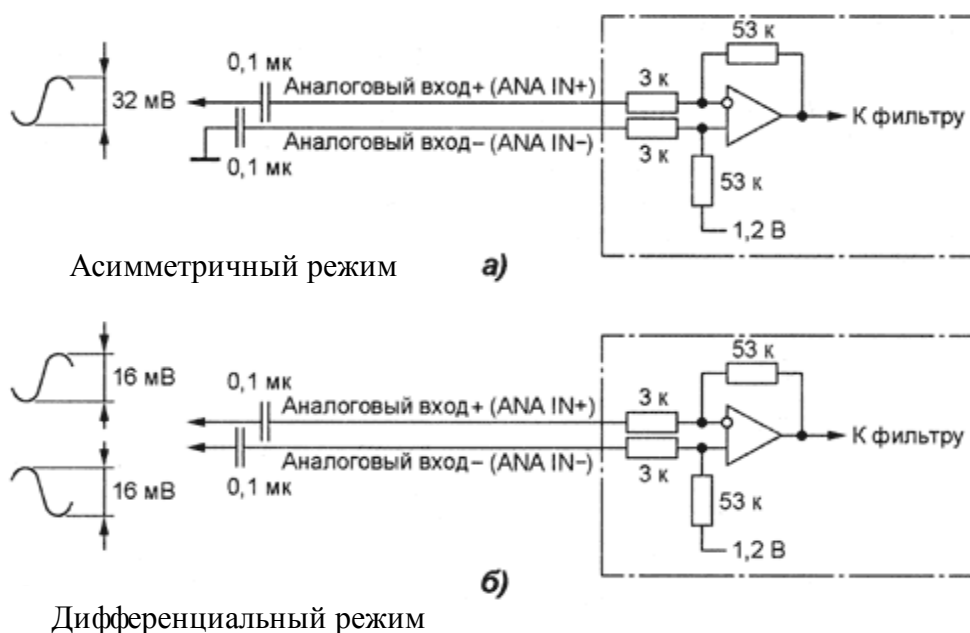


Рисунок 3.6 – Варианты подключения записываемого сигнала к ISD4004-08M.

В первом случае сигнал подводят к аналоговому входу ANA IN+, а вход ANA IN- через разделительный конденсатор соединяют с шиной общего провода V_{ssa} . Для качественного воспроизведения входной сигнал в асимметричном режиме не должен превышать 32 мВ (двойная амплитуда), что соответствует 570

мВ двойной амплитуде. Разделительный конденсатор на входе ANA IN+ вместе с полным входным сопротивлением этого входа, равным 3 кОм, определяет полосу пропускания по низшим частотам.

В дифференциальном режиме используют оба входа ANA IN- и ANA IN+. Для получения оптимального качества двойная амплитуда сигнала на каждом из входов так же не должна превышать 16 мВ. Полное сопротивление по входу ANA IN- составляет 56 кОм. В асимметричном режиме вход ANA IN- подключается через разделительный конденсатор к «земляной» шине V_{ssa} .

В разработанном регистраторе микрофон находится в непосредственной близости от входа записи синтезатора. В этом случае влияние внешних наводок легко может быть сведено к минимуму, поэтому в схеме применен более простой асимметричный способ подключения микрофона.

С вывода 13 пользователь может снимать звуковой сигнал, записанный в память ISD4004-16M. Нагрузка должна быть не менее 5 кОм полного сопротивления. Рекомендуется, чтобы этот выход был связан с нагрузкой по переменному току. В рабочем режиме, при поданном на устройство питании, потенциал вывода AUD OUT всегда составляет 1,2 В.

При записи выход AUD OUT через резистор приблизительно 850 кОм соединяется к внутреннему источнику 1,2 В относительно аналоговой «земли». Нагрузка при таком режиме может быть подключена, но при этом не должно снижаться напряжение постоянного уровня на выходе устройства.

3.2.2 Управление режимами работы синтезатора

Вывод SS (Save Select) служит для выбора ведомого устройства. При подаче на этот вывод сигнала с низким уровнем, ISD4004-08M выбирается ведущим для дальнейшей совместной работы.

MOSI - последовательный вход в устройство, по которому происходит передача данных из главного микроконтроллера. Данные в MOSI - строке устанавливаются за полпериода до подъема фронта синхроимпульса, также поступающего в устройство ISD4004-16M.

Вывод MISO представляет собой последовательный выход из устройства.

Если устройство не выбрано ($SS = 1$), то выход находится в высокоимпедансном состоянии.

Вывод SCLK служит для приема синхроимпульсов от микроконтроллера, которые необходимы для синхронизации передачи данных в / из устройства через шины MOSI и MISO. Данные записываются в ISD4004-16M при подъеме фронта синхроимпульса, а при спаде фронта происходит сдвиг информации к следующему биту.

Сигнал на выводе INT (Прерывание) понижается и остается на низком уровне (логический 0), если происходит переполнение (OVF) или маркер обнаружил «Конец сообщения» (EOM). Этот вывод является открытым выходом стока. Каждая операция, которая заканчивается переполнением или имеет «Конец сообщения», генерирует прерывание, включая команду вызова циклов сообщения. В следующий раз прерывание будет очищено тогда, когда инициализирован новый цикл SPI. Состояние прерывания может читаться командой RINT.

Флаг переполнения (OVF) указывает, что аналоговая память в течение операции записи или воспроизведения достигла конца. Флаг «Конец сообщения» устанавливается только в режиме воспроизведения, когда обнаруживается сигнал EOM. Имеется 8 опций позиции флажка «Конец сообщения» в одной строке (т.е. в ней может быть записано 8 разных сообщений).

Выход RAC (Синхронизация адресной строки) также выполнен с открытым стоком, на который подается при записи сигнал периодом в 400 мсек, когда происходит выборка сигнала с частотой 4 кГц. За указанный период происходит запись только в одну строку памяти. Всего в ISD4004-16M имеется 2400 строк памяти. Соответственно, запись происходит в течение 350 мс, когда сигнал RAC имеет высокий уровень. Когда запись достигает конца строки, сигнал RAC принимает низкий уровень на время, равное 50 мс. Циклограмма записи одной строки представлена на рисунке 3.7.

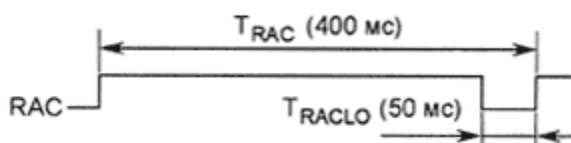


Рисунок 3.7 - Циклограмма записи одной строки.

В режиме «Вызов сообщения» (смотри ниже) высокий уровень на выводе RAS удерживается 218, 76 мс, а низкий уровень - 31,26 мс. Типовые значения синхросигналов RAS можно посмотреть в таблице параметров по переменному току фирменной документации.

Когда команда записи инициализирована впервые, на выводе RAS остается высокий уровень в течение дополнительного периода T_{raclo} . Это требуется для того, чтобы загрузить выборку и фиксации внутренних схем устройства. Вывод RAS может использоваться для управления техникой сообщения.

Вход внешних синхроимпульсов имеет внутреннее согласующее устройство. Устройства ISD4004-16M сконфигурированы на заводе для внутренней выборки входного сигнала на центральной частоте синхронизации с допуском +1% от указанной в спецификации. Частота в пределах допуска поддерживается при любом значении в пределах расширенной промышленной температуры, а также в диапазоне рабочих напряжений. При работе в индустриальном диапазоне температур рекомендуется регулируемое электропитание.

Если требуется высокая точность, то для выборки с частотой 4 кГц необходимо подавать в устройство через вывод XCLK синхроимпульсы с частотой 512 кГц. Эта рекомендуемая тактовая частота должна быть стабильной для нормальной работы сглаживающих фильтров на фиксированной частоте. Таким образом, проблема эффекта наложения возникнет в случае, если типовая норма параметров синхросигнала отличается от рекомендуемой. Рабочий цикл (скважность) синхроимпульсов на входе не критичен, поскольку синхроимпульсы сразу же делятся внутри на 2. Если вход XCLK не используется, то 26 вывод должен быть соединен с общим проводом.

Для нормальной работы системы шумопонижения вывод AM CAP соединяют с общим проводом через конденсатор емкостью 1 мкФ. Этот конденсатор становится элементом внутреннего пикового датчика, который чувствует амплитуду (пик) сигнала. Пиковый уровень сравнивается с установленным порогом, чтобы определить начало включения системы шумопонижения. При больших

сигналах автошумоподавление установлено на уровне 0 дБ. Конденсатор также влияет на скорость, с которой шумопонижение изменяется по времени атаки в зависимости от амплитуды сигнала. При соединении вывода АМ САР с шиной V_{сс} шумопонижение выключается.

3.3 Программно-аппаратные средства поддержки ATmega

Подготовка программы для AVR-микроконтроллера выполняется на персональном компьютере и состоит из следующих этапов (рисунок 3.8).

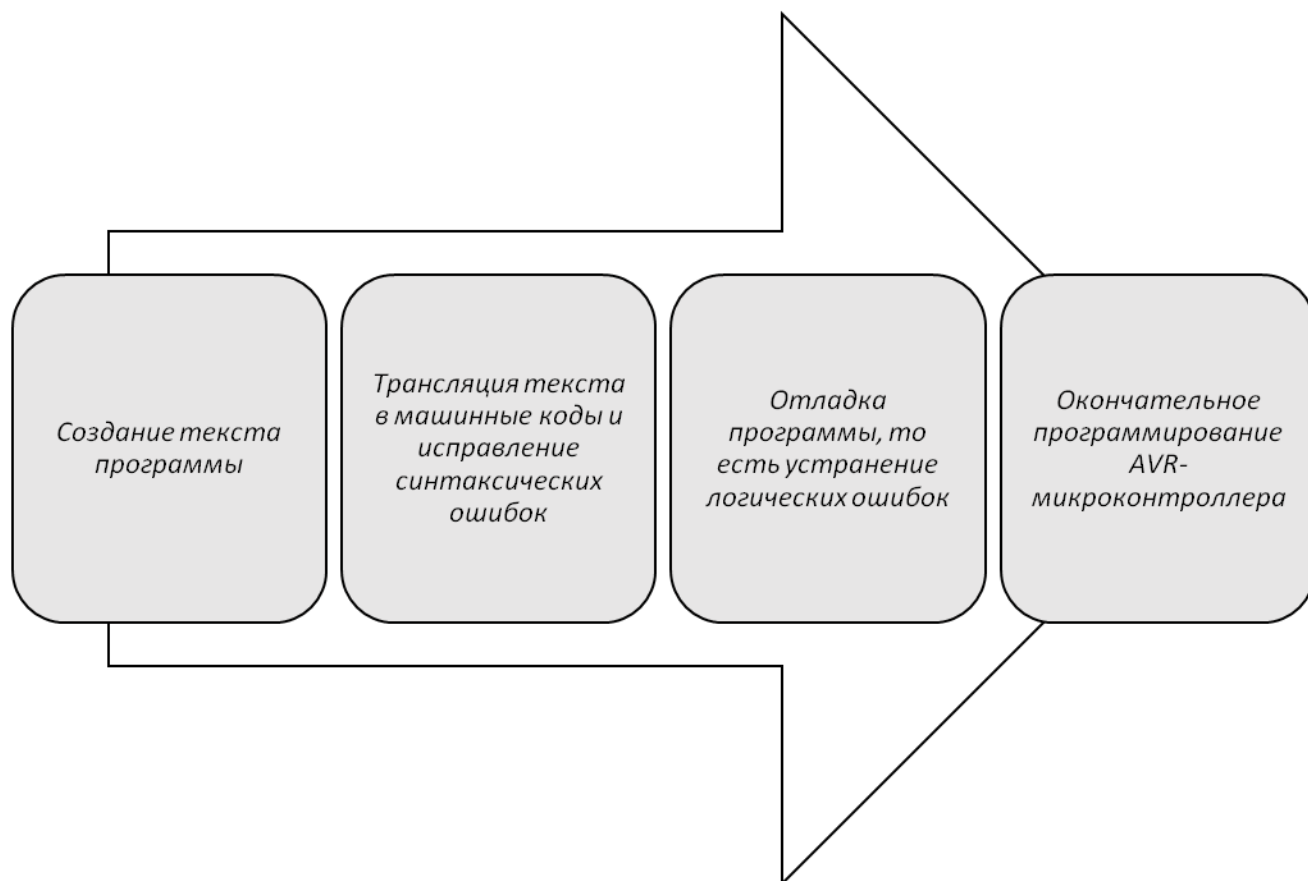


Рисунок 3.8 – Этапы подготовки программы для AVR-микроконтроллера.

Каждый из этапов требует использования специальных программных и аппаратных средств. Базовые программные средства для программирования AVR на ассемблере распространяются фирмой ATMEL бесплатно. Аппаратные средства поддержки программирования AVR, а также более развитые средства для программирования AVR на языке C фирмы IAR Systems имеют коммерческое исполнение. В таблице 3.1 перечислены наиболее доступные из них на сегодняшний день.

Таблица 3.1 - Программно-аппаратные средства поддержки AVR

Этапы подготовки программы для AVR		Аппаратные средства	Программные средства	
			MS-DOS	WINDOWS
1 Создание текста программы		-	любой тестовый редактор DOS, создающий ASCII-файл	WAVRASM (www.atmel.com) или EWA90 (www.iar.com)
2 Трансляция		-	AVRASM (www.atmel.com)	
3 Отладка программы	На компьютере	3.1	-	AVRSTUDIO (www.atmel.com) или EWA90 (www.iar.com)
	В микропроцессорной системе (МП)	3.2 STK100, STK200 или STK300 с кабелем к LPT		ATMEL_AVR_ISP (www.atmel.com)
		3.3 -Ваша МП система с SPI -Кабель к LPT порту	AVREAL(www.chat.ru , www.ln.com.ua)	
		3.4 -Ваша МП система с SPI -Программатор FLASHER	FLASHER (поставляется с программатором)	FLASHER (поставляется с программатором)
		3.5 -Ваша МП система -Внутрисхемный эмулятор фирмы Атмел (ICEPRO- для Classic AVR), ICE200- для Tiny и Classic AVR), (MEGAICE для mega AVR)	-	AVRSTUDIO (распространяется бесплатно) EWA90 (www.iar.com)
4 Окончательное программирование AVR	4.1 Последовательное программирование	аналогично 3.2, 3.3, 3.4	аналогично 3.2, 3.3, 3.4	аналогично 3.2, 3.3, 3.4
	4.2 Параллельное программирование	4.2.1 Программатор FLASHER	FLASHER (поставляется с программатором)	FLASHER (поставляется с программатором)
		4.2.1 Программатор STEPX	STERH (поставляется с программатором)	STERH (поставляется с программатором)

Для работы в среде Windows компания Atmel предлагает программу WAVRASM, он дает возможность создавать текст программы и транслировать его внутри единой оболочки и обеспечивает дополнительный сервис с быстрым поиском синтаксических ошибок в тексте программы.

Для программирования AVR МК на языке C фирмой IAR Systems предлагается пакет Embedded Workbench EWA90 (www.iar.com). Этот пакет объединяет в себя IAR C компилятор, IAR ассемблер, компоновщик, библиотекарь и IAR C_SPY симулятор.

При использовании пакета EWA90 этапы создания текста программы, трансляции, компоновки и симуляции программы выполняются в одной интегрированной оболочке. У разработчика появляется возможность сочетать в одной программе и преимущества языка высокого уровня C для основной части программы, и компактность ассемблера для подпрограмм, критичных ко времени исполнения.

Отладка программы AVR-микроконтроллеров может выполняться двумя основными способами: на персональном компьютере с помощью программы-симулятора или в реальной микропроцессорной системе. Два эти способа взаимно дополняют друг друга.

Программы-симуляторы Atmel AVRSTUDIO или IAR C_SPY отображают на экране компьютера программу и состояние внутренних регистров AVR. Таким образом, можно наблюдать изменения переменных, которые происходят внутри микроконтроллера когда выполняются те или иные команды программы. Использование симуляторов эффективно при отладке подпрограмм, которые выполняют численную обработку внутренних данных.

Отладку подпрограмм, связанных с какими-либо внешними элементами, удобно выполнять непосредственно в рабочей системе. Для отладки программы в рабочей системе, кроме программных средств, требуются также и аппаратные. Наиболее быстрый, не требующий пайки способ построения микропроцессорной системы на основе AVR - это приобретение какого-либо комплекта AVR STARTER KIT фирмы ATMEL. В настоящее время существует три разновидности таких комплектов: STK100 для TinyAVR, STK200 для Classic AVR и STK300 для MegaAVR.

Наборы STK100, STK200 и STK300 содержат небольшую печатную плату DEVELOPMENT BOARD, кабель для последовательного программирования

AVR через LPT-порт компьютера, дискеты с программным обеспечением (ATMEL_AVR_ISP), CD-ROM с полной документацией на все типы AVR и многочисленными примерами прикладных программ для AVR. Содержимое дискет и CD-ROM диска можно также найти на www.atmel.com

Для последовательного программирования собственной микропроцессорной системы по SPI-интерфейсу можно воспользоваться программой ATMEL_AVR_ISP, если имеется кабель к LPT порту из наборов STK200 или STK300.

В противном случае можно воспользоваться программой AVREAL, которую разработал (www.chat.ru/~avreal, www.ln.com.ua/~real/avreal) Александр Редчук. Программа AVREAL работает под DOS и, кроме обычных функций просмотра, стирания и записи энергонезависимой памяти, обеспечивает возможность дописывать FLASH-память AVR без очередного стирания кристалла, а также вести подсчет количества циклов перезаписи энергонезависимой памяти.

Кроме того, функцией программирования по последовательному SPI-интерфейсу обладает параллельный программатор FLASHER.

Способ отладки микропроцессорной системы при помощи SPI-интерфейса отличается своей дешевизной, но, однако, имеет и недостатки. Во-первых, каждый раз при внесении изменений в программу приходится перепрограммировать FLASH-память микроконтроллера, количество циклов перезаписи которой ограничено хоть и достаточно большим (1000), но все же конечным числом. Во-вторых, описанный способ не дает возможности пошаговой отладки программы.

В связи с этим, фирмой ATMEL разработаны более мощные, но и более дорогие внутрисхемные эмуляторы ICE200, ICEPRO и megaICE.

Завершающим этапом программирования AVR-микроконтроллера является занесение в память уже отлаженной программы. Оно может быть выполнено так же, как и при отладке программы, то есть через SPI-интерфейс. Однако необходимо помнить, что последовательное программирование младших моделей AVR не позволяет изменять FUSE-биты микроконтроллера.

Если в микропроцессорной системе не предусмотрен SPI-интерфейс а так-

же при серийном производстве для повышения скорости программирования большого числа микроконтроллеров удобно использовать программаторы, которые выполняют параллельное программирование. Следует отметить, что параллельные программаторы обычно являются универсальными устройствами и позволяют, кроме AVR, работать и с другими типами микроконтроллеров, с постоянными запоминающими устройствами и микросхемами программируемой логики.

4 Оценка экономической эффективности внедрения модуля мониторинга

В настоящее время весьма устойчивая тенденция, направленная на защиту окружающей среды, коснулась и средств контроля за состоянием этих экоресурсов. На рынке имеется обширный перечень средств мониторинга параметров окружающей среды, способных работать как в автоматическом режиме, так и с участием человека.

Большинство используемых в РФ устройств экологического мониторинга имеют иностранное происхождение, поэтому существуют большие проблемы, связанные с их сервисным обслуживанием (текущий ремонт, поверка и аттестация), а вопросы модернизации оборудования с целью его оптимизации к конкретно решаемой задаче требуют разрешения и вызова специалистов фирмы производителя. Отечественные устройства, обладая относительно высокими техническими характеристиками и функциональными возможностями, традиционно ориентированы на индивидуальное использование и не поддерживают режим удаленного доступа по радиоканалу.

Использование оборудования отечественной разработки и технологий удаленного доступа в системах мониторинга позволяют существенно сократить эксплуатационные затраты на экологический мониторинг и оптимизировать его стоимостные показатели.

4.1 Выбор и обоснование базового варианта

Оценка показателей экономической эффективности разработанного модуля мониторинга базируется на сравнении его с базовым вариантом, адекватность которому является важнейшим фактором для определения количественных значений показателей эффективности. Следовательно, вопрос правильного выбора базового варианта имеет существенное значение для объективной оценки новых технических решений.

При выборе базы для сравнения необходимо руководствоваться двумя основными правилами:

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

б) должно быть выбрано современное и наиболее эффективное устройство.

Только в этом случае, если показатели разработанного устройства выше, производство будет целесообразным.

На основании аналитического обзора, проведенного в первом разделе проекта и поиска по сети Интернет, можно сделать вывод, что наиболее подходящим в качестве базового объекта является метеометр «МЭС-200А», выпускаемый НИКИ МЛТ-Поволжье (г. Пенза).

Метеометр «МЭС-200» предназначен для контроля параметров воздушной среды на открытом воздухе, в промышленных и гражданских зданиях, в тоннелях метрополитенов, системах контроля вентиляции и пр. Метеометр рекомендуется для аттестации рабочих мест и укомплектования лабораторий по охране труда и служб Госсанэпиднадзора.

Метеометр позволяет передавать на результаты измерений параметров воздушного потока по стандартным каналам связи RS-232 и RS-485 (в составе проводных систем контроля).

Из сравнения разработанного модуля экологического мониторинга и метеометра «МЭС-200», можно отметить, что по сравнению с базовым объектом разработанное устройство обладает следующими преимуществами:

а) имеет большую функциональную гибкость, т.к. может работать как с цифровыми, так и с аналоговыми датчиками;

б) способен контролировать большее число экопараметров (до 136);

в) поддерживает режим удаленного доступа по технологии WiMax (WiFi);

г) - имеет функцию голосового предупреждения о превышении ПДК;

д) поддерживает режим внутрисхемного программирования ISP;

е) имеет более высокую надежность и технологичность благодаря использованию специализированных микросхем высокой степени интеграции.

Схемотехника и конструкция разработанного модуля мониторинга содер-

жит современные радиокомпоненты и серийно выпускаемые модули, что обеспечивает преемственность технологии производства практически с любыми видами радиоаппаратуры на интегральных микросхемах.

4.2 Расчет экономической эффективности

Для создания геоинформационной системы оценки экологической обстановки города Тольятти, по расчетам фирмы-разработчика «Спектрон», потребуется не менее 18 стационарных и мобильных станций контроля параметров воздушной среды. В качестве основного измерительного модуля на этих станциях предполагается использовать метеометр «МЭС-200». Поэтому, расчет экономической эффективности будем вести исходя из предположения отказа от закупок метеометра «МЭС-200» и использования более эффективного разработанного модуля мониторинга.

Для расчета затрат на производство необходимо выбрать завод - изготовитель, условия и технологическая оснащенность которого позволяют организовать выпуск разработанного устройства. На основании затрат на производство в выбранном цехе завода-изготовителя рассчитаем себестоимость и оптовую цену изделия.

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

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

Как предполагается, выпуск модуля мониторинга будет организован на производственных площадях фирмы «Мета» г. Жигулевска (на территории бывшего Жигулевского радиозавода). Структура производства соответствует мелко-серийному производству.

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

4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета себестоимости изделия

Наименование	Значение
1 Зарплата дополнительная $Z_{\text{доп}}$	10% от $Z_{\text{осн}}$
2 ТЗР _м по статье «Материалы»	7,1% (М)
3 ТЗР _п по статье «Полуфабрикаты»	5,3% (П)
4 Уровень расходов по содержанию и эксплуатации оборудования $Y_{\text{с.о.}}$	10,8% от $Z_{\text{осн}}$
5 Процент отчислений в социальные нужды $Y_{\text{с}}$	26% от $(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$
6 Уровень общезаводских расходов $Y_{\text{О.З.}}$	73% от $Z_{\text{осн}}$
7 Уровень цеховых расходов $Y_{\text{ЦЕХ}}$	14% от $Z_{\text{осн}}$
8 Внепроизводственные расходы	6% от $C_{\text{пр}}$
9 Рентабельность	25% от $C_{\text{п}}$

4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные»

Количество паек, общий расход материалов взяты из приведенных ниже документов по технологии изготовления и сборки модуля мониторинга. Стоимость материалов соответствует предложениям мелкооптовых продаж он-лайн магазинов, размещенных по адресу www.efind.ru.

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

Таблица 4.2 - Расчет затрат по статье «Материалы»

Наименование материалов	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Кол-во паек, шт.	Норма на 1 пайку, кг	Цена за 1 кг (л), руб.	Вес, кг	Стоимость, руб.
Припой ПОС-61	21193-76	282	0,00007	370,0	0,020	7,304
Флюс ФСК	70033.200	282	0,00003	680,0	0,008	5,753
Спирт изопр.	5977-72	282	0,00001	154,2	0,003	0,435
Лак УР-231	6-10-1547	-	-	1070,0	0,01	10,700
Клей ВК-9 (ЭД-20)	4ГО.029	-	-	3930,0	0,0025	9,83
Стеклотекстолит СФ-2 (100x160)	10316-78	1	-	104,2	-	104,2

Итого:

138,18

Указанные расходы материалов для пайки являются усредненными как для ручных способов, так и для групповых (окувание в расплавленный припой, пайка «волной» и др.).

Затраты по ТЗР_м по статье «Материалы основные» составят:

$$\text{ТЗР}_m = 138,18 \cdot 0,071 = 9,81 \text{ руб.}$$

Итоговые затраты по данной статье составят:

Расход материалов определяется из «Типовых норм расхода материалов на электромонтажные работы».

Порядок технологических операций при изготовлении спроектированного модуля мониторинга приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Данные по технологическим операциям

Вид работ	Разряд работ	Кол-во элем.	Время операции на 1 элемент	Общее время
Формовка выводов резисторов и конденсаторов	3	25	0,00416	0,104
Формовка выводов аналоговых интегральных микросхем	3	2	0,00615	0,012
Формовка выводов кварцевого резонатора	3	1	0,00416	0,004
Формовка выводов светодиодов	3	3	0,00416	0,013
Обрезка выводов	3	92	0,00345	0,031
Покрытие печатной платы 1,6 дм ² флюсом	2	1 дм ²	0,0161	0,016
Пайка печатной платы	3	282	0,00367	1,035
Формовка и пайка проводов	3	8	0,01	0,08
Настройка устройства	5	3	-	0,24

Итого

1,54 часа

Данные таблицы 4.4 показывают, что время сборки печатной платы разработанного модуля экологического мониторинга 4 и ее настройка потребуют 3 человек разной квалификации и займет в общей сложности около 1,5 часов. При использовании промышленных способов пайки, например, «волной», время изготовления печатной платы модуля существенно уменьшится.

Полученные расчетные данные по статье «Зарплата основная» сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Затраты по статье «Зарплата основная»

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Премияльные доплаты, %	Общая стоимость работ, руб.
Формовка выводов резисторов и конденсаторов	3	0,104	48,80	22	6,192
Формовка выводов ИС	3	0,012	48,80	22	0,714

Продолжение таблицы 4.5

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Премияльные доплаты, %	Общая стоимость работ, руб.
Формовка выводов резонатора	3	0,004	48,80	22	0,238
Формовка выводов светодиодов	3	0,013	48,80	22	0,774
Обрезка выводов	3	0,031	48,80	22	1,846
Покрывание печатной платы флюсом	2	0,016	34,76	20	0,667
Пайка печатной платы	3	1,035	48,80	22	61,620
Формовка и пайка проводов	3	0,08	48,80	22	4,763
Настройка печатной платы	5	0,24	68,67	28	21,095
Покрывание плат лаком УР-231	2	0,1	34,76	20	4,171

Итого: 102,08

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

$$З_{\text{доп}} = 102,08 \cdot 0,1 = 10,21 \text{ руб.}$$

4.2.4 Отчисления и накладные расходы

Отчисления на социальное страхование (единый социальный налог):

$$О_{\text{сс}} = (З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп}}) \cdot Y_{\text{сс}} / 100\% = (102,08 + 10,21) \cdot 26 / 100 = 21,20 \text{ руб.}$$

Накладные расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$Н_{\text{со}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{со}} = 102,08 \cdot 0,108 = 11,10 \text{ руб.}$$

Накладные общецеховые расходы:

$$Н_{\text{оц}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оц}} = 102,08 \cdot 0,14 = 14,39 \text{ руб.}$$

4.2.5 Себестоимость продукции

Цеховая себестоимость модуля мониторинга:

$$С_{\text{ц}} = М' + П' + З_{\text{осн.}} + З_{\text{доп.}} + О_{\text{сс}} + Н_{\text{со}} + Н_{\text{оц}} = 147,99 + 5832,97 + 102,08 + 10,21 + 21,20 + 11,10 + 14,39 = 6141,94 \text{ руб.}$$

Общезаводские расходы:

$$Н_{\text{оз}} = З_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оз}} = 102,8 \cdot 0,73 = 75,04 \text{ руб.}$$

Производственная себестоимость модуля:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + H_{\text{оз}} = 6141,94 + 75,04 = 6216,98 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы:

$$B_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \cdot Y_{\text{впр}} = 6216,98 \cdot 0,06 = 373,02 \text{ руб.}$$

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

$$C_{\text{п}} = C_2 = C_{\text{пр}} + B_{\text{пр}} = 6216,98 + 373,02 = 6590 \text{ руб.}$$

Для комплексной технико-экономической оценки нового изделия рассчитаем его проектную оптовую цену $\Pi_{\text{опт}}$. Она больше полной себестоимости на величину прибыли $\Pi_{\text{р}}$, которая определяется в зависимости от установленного уровня рентабельности P в процентах от $C_{\text{п}}$.

$$\Pi_{\text{опт}} = C_{\text{п}} + \Pi_{\text{р}} = C_{\text{п}}(1+P) = 6590 \cdot 1,25 = 8237,50 \approx 8238 \text{ руб.}$$

4.2.6 Расчет экономического эффекта

Как было указано выше, для создания геоинформационной системы оценки экологической обстановки города Тольятти потребуется закупка 18 метеометров «МЭС-200» стоимостью 29900 рублей каждый. Замена этого метеометра на разработанный модуль экологического мониторинга позволит получить экономический эффект. Используя полученные данные, определим эффективность использования разработанного модуля мониторинга.

Затраты, связанные с приобретением 18 метеометров «МЭС-200» составляют 538200 рублей.

Оптовая цена разработанного модуля мониторинга составляет 8238 рублей за штуку, что потребует 148176 рублей для закупки комплекта из 18 штук.

По сведениям разработчика ПО модуля мониторинга фирмы «Спектрон» затраты на его разработку составили 15800 рублей.

В этом случае экономический эффект составит

$$\mathcal{E} = 538200 - 148176 - 15800 = 374224 \text{ рубля.}$$

На основании проведенных расчетов составим сводную аналитическую таблицу (таблица 4.6) со сравнительными характеристиками технических и экономических показателей базового и разработанного устройств. Это позволит комплексно оценить качество предлагаемого устройства.

Таблица 4.6 - Основные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Количественное значение		Оценка
	базовый вариант	разработанный вариант	
Показатели технического уровня			
Реализуемые функции	определяются датчиками		0
Удаленный доступ	нет	да	+
Скорость передачи данных, Мб\с	нет	до 10	+
Количество подключаемых датчиков	1	4 аналоговых (до 128 цифровых)	+
Внутрисхемное програм- мирование ISP	нет	да	+
Голосовое сопровождение	нет	да	+
Отображение данных	да	да	0
Наработка на отказ, ч	20000	25000	+
Экономические показатели			
Трудоемкость изготовле- ния, час.	1,28	1,54	-
Себестоимость изготовле- ния, руб.	2780	6142	+
Оптовая цена, руб.	29900	8238+878 ПО	+

Приведенные в таблице 4.6 данные показывают, что разработанный модуль мониторинга по основным показателям превосходит базовый образец. Это значит, что применение разработанного устройства будет эффективным.

Ниже, на рисунке 4.1 приведена диаграмма, показывающая структуру затрат в полной себестоимости спроектированного портативного аппаратно - программного модуля экологического мониторинга с удаленным доступом.

Из приведенной диаграммы видно, что наибольшую долю затрат в производственной себестоимости разработанного модуля мониторинга составляют затраты на покупные изделия и полуфабрикаты.

Опираясь на результаты расчетов можно сделать вывод о целесообразности внедрения разработанного модуля мониторинга и рекомендовать его для замены менее эффективного метеометра «МЭС-200». При этом следует учитывать

будущий экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат при использовании удаленного радиодоступа к станциям экоконтроля по радиоканалу WiMax.

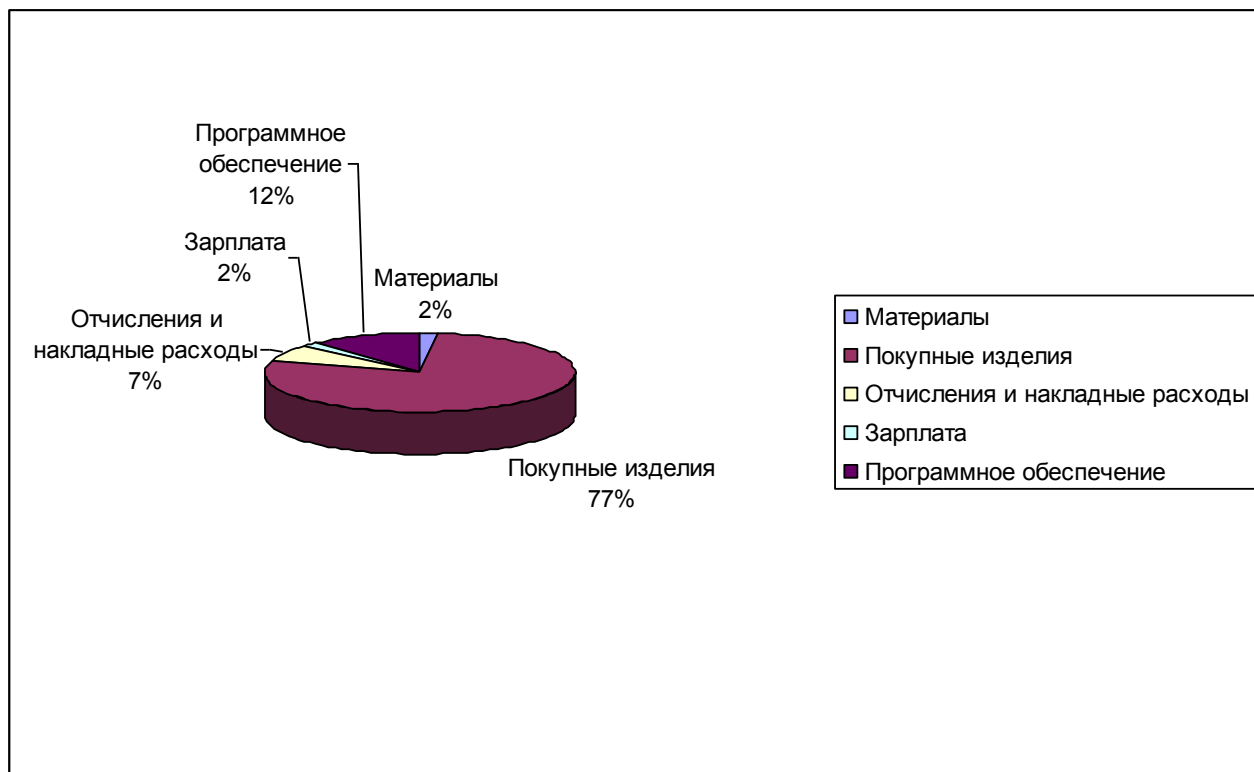


Рисунок 4.1 - Структура затрат в полной себестоимости устройства.

Заключение

Исследование предложений сегмента рынка оборудования для систем экологического мониторинга, а также анализ требований технического задания позволил определить перечень основных проблем, связанных с проектированием портативного аппаратно-программного модуля экологического мониторинга с удаленным доступом.

Учитывая длительный период автономной работы модуля мониторинга были рассмотрены основные методы цифрового кодирования и сжатия данных, получаемых с аналоговых и цифровых датчиков экопараметров. Для решения вопросов, связанных с обеспечением удаленного доступа, был дан анализ применимости беспроводных технологий передачи данных для организации системы экологического мониторинга с весьма удаленными сегментами сети.

Проведенный анализ показал, что использование управляющего микроконтроллера ATmega 128 компании Atmel в совокупности с внешней flash памятью данных, трансивером WiMax и синтезатором речи ISD40404 позволяет выполнить все требования технического задания.

Проведенный выбор элементной базы позволил определить основные элементы электрической схемы модуля мониторинга. С использованием САПР DipTrace были разработаны печатная плата, сборочный чертеж устройства и сгенерированы управляющие файлы для технологического оборудования.

Также были рассмотрены вопросы, связанные с записью и считыванием значений, контролируемых экопараметров во внешнюю flash-память данных, подключением и организацией работы синтезатора речи, предложены программно-аппаратные средства поддержки микроконтроллеров ATmega.

Проведенный расчет надежности показал, что разработанный модуль имеет наработку на отказ более 25 тысяч часов, что практически исключает его сервисное обслуживание в течение срока службы.

Оценка экономической эффективности внедрения модуля мониторинга подтвердила правильность выбранных технических решений и используемых технологий.

Список литературы

1. Экологический мониторинг//dic.academic.ru.
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 376 с.
3. Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология. 1974, 7. – С.3–8.
4. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидрогеология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
5. Информационно - аналитическая система "экологический мониторинг" //ecoanalyt.ru.
6. Государственный экологический мониторинг в Москве //www.mosecom.ru.
7. Прагер Э., Шимек Б., Дмитриев В.П. Цифровая техника в связи / Под ред. В.В.Маркова.- М.: Радио и связь,1981.- 280с.
8. Тавернье К. Схемы синтезаторов речи: Пер. с фр. – М.: ЖМК Пресс, 2001.- 176 с.
9. Назаров М.В., Прохоров Ю.Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов.- М.: Радио и связь, 1985.- 176с.
10. Гук М.Ю. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. – СПб.:Питер, 2008. – 1072 с.
11. Предко М. Справочник по PIC-микроконтроллерам: Пер. с англ. – V/^LVR Пресс, 2006.-.512 с.
12. Трамперт В. AVR-RISC микроконтроллеры: Пер. с нем. – К.: МК-Пресс, 2006.- 464с.
13. Семенов Б.Ю. Микроконтроллеры MSP430: первое знакомство. –М.: Солон - Пресс, 2006. – 128 с.
14. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. – М.: Изд. дом "Додэка – XXI", 2007.- 592 с.

15. Дмитриев В. Технологии беспроводной передачи данных// Компоненты и технологии, 2003. - №2.
16. Гудин М., Федоров М. Некоторые тенденции развития технологий Wi-Fi, WiMax, Ю действующих на частоте 2,4 ГГц//Беспроводные технологии, 2006. - №1.
17. Сравнение беспроводных технологий WiFi и WiMAX//www.getwifi.ru.
18. Какова дальность работы WiMax?\\www.wimaxinfo.ru.
19. Савельев М.В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
20. Маркин Н.С., Ершов В.С. Метрология. Введение в специальность. - М.: Изд-во стандартов, 1991.- 208с.
21. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры/ А.К.Быкадоров, Л.И.Кульбак, В.Ю.Лавриненко и др.; Под ред. В.Ю.Лавриненко.- М.: Высшая школа, 1978.- 320с.
22. Гончаров Н.Р. Охрана труда на предприятиях связи. -М.: Связь, 1971.- 392с.