

Министерство образования и науки Российской Федерации  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН  
Рецензент

\_\_\_\_\_ Кучербаев А.А.

“\_15\_” \_\_\_\_\_ января\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой ИКТ

\_\_\_\_\_ С.Н. Даровских

“\_15\_” \_\_\_\_\_ января\_\_\_\_\_ 2019 г.

**Цифровой модуль приемника прямого преобразования  
дальномерного радиомаяка  
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОМУ КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПРОЕКТУ (ВКП)  
ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ**

Консультанты:

По экономике

\_\_\_\_\_ Р.Ш. Закиров

“\_29\_” \_\_\_\_\_ декабря\_\_\_\_\_ 2018 г.

Руководитель работы:

\_\_\_\_\_ Смирнов И.В.

“\_15\_” \_\_\_\_\_ января\_\_\_\_\_ 2019 г.

По охране труда

\_\_\_\_\_ И.С. Окраинская

“\_11\_” \_\_\_\_\_ января\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы:

студентка группы КЭ-637

\_\_\_\_\_ Е.С. Тюрина

“\_29\_” \_\_\_\_\_ декабря\_\_\_\_\_ 2018 г.

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ В.Д. Спицына

“\_15\_” \_\_\_\_\_ января\_\_\_\_\_ 2019 г.

## АННОТАЦИЯ

Тюрина Е. С. Цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка. – Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭиКН, 2019. Пояснительная записка к дипломному проекту выполнена на 81 листе, содержит 37 иллюстраций и 8 таблиц. Список литературы содержит 16 наименования.

Цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка.

Цель работы – разработка модуля с реализацией всех функций, заявленных в техническом задании.

В процессе выполнения проекта проведён обзор методов проектирования подобных систем. В ходе выполнения проекта были разработаны принципиальные и структурные схемы модуля, проведен расчёт и выбор всех элементов и оборудования, написана программа для ПЛИС.

Проект был реализован с помощью программных продуктов: Quartus II 9.11; Matlab 15; ModelSim 6.1; Microsoft Word.

Подобного типа проект может быть использован для создания цифровых блоков, в основе которых лежит ПЛИС.

					ЮУрГУ-Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Тюрина Е.С.			Цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Смирнов И.В.				Д	3	81
Н. Контр.		Спицина ВД.				ЮУрГУ Кафедра ИКТ		
Утв.		Даровских С.Н.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Анализ технического задания .....	9
1.1 Содержание работы .....	9
1.2 Основные понятия.....	9
1.2 Обзор аналогичных технологий и решений.....	14
2 Разработка принципиальной схемы .....	16
2.1 Приёмники DME .....	16
2.2 Приёмник прямого преобразования.....	17
2.3 Выбор ПЛИС .....	20
2.4 Выбор АЦП.....	24
3 Разработка программного обеспечения .....	28
3.1 Структура программных модулей ПЛИС.....	28
3.2 Модуль ФНЧ.....	29
3.2.1 КИХ или БИХ.....	29
3.2.2 Выбор способа синтеза фильтра .....	31
3.2.3 Подбор весовой функции.....	32
3.2.4 Выбор архитектуры .....	33
3.2.5 Подбор разрядности коэффициентов.....	34
3.2.6 Синтез.....	35
3.2.7 Тестирование .....	38
3.3 PLL.....	41
3.4 Модули SERDES .....	43
3.4.1 Блоки памяти FIFO.....	44
3.5 Модули арифметической части .....	50
3.5.1 Модуль извлечения квадратного корня .....	50
3.6 Модуль увеличения частоты.....	51
3.7 Сопряжение с модулем обнаружения .....	52

3.8 Ресурсы ПЛИС .....	53
4 Безопасность жизнедеятельности.....	53
4.1 Рекомендации по выбору помещения.....	55
4.1.1 Требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ....	55
4.1.2 Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ .....	55
4.1.3 Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ .....	57
4.1.4 Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ .....	59
4.1.5 Общие требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ .....	60
4.1.6 Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей .....	61
4.2 Описание рабочего места .....	63
5 Организационно-экономический раздел .....	66
5.1 Технико-экономическое обоснование .....	66
5.2 Расчёт временных параметров сетевого графика .....	69
5.3 Расчет параметров работ сетевого графика.....	71
5.4 Расчёт стоимостных параметров сетевого графика .....	73
5.5 Расчет затрат на разработку, внедрение и применение проекта.....	76
5.6 Расчет величины экономического эффекта и срока окупаемости проекта.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	80

## ВВЕДЕНИЕ

Челябинский радиозавод «Полет» был создан в 1952 году. И вот уже более шестидесяти лет является одним из ведущих отечественных предприятий отрасли. Занимается разработкой и серийным производством наземного радиолокационного и радионавигационного оборудования для обеспечения полетов в гражданской авиации и военно-воздушных силах. Вся продукция, в том числе, аэродромные радиолокаторы, радионавигационные маяки и посадочные системы отвечают требованиям строгих российских и международных стандартов. Изделия завода поставляются на четыре континента и установлены в тридцати странах. С 2014 года предприятие входит в состав «Объединенной приборостроительной корпорации» Госкорпорации «Ростех».

ЧРЗ «Полет» был создан как базовое предприятие для производства наземного радиотехнического оборудования в интересах гражданской авиации и Министерства обороны. Маркерные и азимутально-дальномерные маяки, радиопеленгаторы, средства инструментальной посадки аэродромные обзорные локаторы впервые в стране были освоены именно «Полетом».

Днем рождения завода официально считается 31 декабря 1952 года. Именно в этот день официально было выпущено первое изделие года — дата выпуска первого изделия «Сирень», маркерного радиомаяка МРМ-48, предназначенного для отметки фиксированных точек на местности при заходе на посадку и снижении самолета.

Шестьдесят лет назад на предприятии начался выпуск радиотехнической системы ближней навигации РСБН — первой в Советском Союзе системы, обеспечивающей высокую точность определения местоположения объектов на земле и на борту. В последующие годы выпускались модернизированные

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

варианты данной системы, а также изделия и функциональные блоки комплексов беспилотного управления самолетов.

В 1960 году Челябинский радиозавод «Полет» начал производить курсоглиссадные системы посадки и выпустил первый обзорный радиолокатор, который стал базовым для последующего ряда изделий, востребованных гражданской и государственной авиацией.

В 1967 году предприятие освоило выпуск радиомаяка ближней навигации РСБН-4Н. География применения этого изделия не ограничивалась территорией СССР: поставки осуществлялись в страны на различных континентах.

Благодаря большому научно-техническому и производственному потенциалу завода все задачи, поставленные современной авиацией, решаются на высоком уровне. Качество и надежность продукции, уровень разработок предприятия признаны и российскими заказчиками, и широко отмечены за рубежом. Изделиями АО «ЧРЗ «Полет» оснащаются аэродромы самых разных уголков России и зарубежных стран, в том числе в наиболее сложных с климатической точки зрения условиях эксплуатации. На предприятии серийно изготавливаются основные средства радиотехнического обеспечения полетов в районе аэродромов: обзорные радиолокаторы, системы ближней навигации, радиомаячные системы посадки, а также поддерживаются в эксплуатации ранее выпущенные изделия.

Техника нового поколения АО «ЧРЗ «Полет» позволяет значительно повысить надежность управления воздушным движением и снизить эксплуатационные расходы аэродромных служб радиотехнического обеспечения полетов.

В 2013 году сертифицированы радиомаяк азимутальный формата VOR РМА-2010, радиомаяк дальномерный навигационный формата DME РМД-

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

2010, радиомаяк дальномерный посадочный формата DME РМД-П-2010. Разработанные на базе самых передовых и перспективных технических решений, технологий, материалов, эти маяки отличаются от аналогичных изделий российского и зарубежного производства повышенной надежностью и улучшенными точностными характеристиками. Более 20 радиомаяков РМД-П-2010 уже эксплуатируется на аэродромах России. Серийно выпускаются и продолжают совершенствоваться навигационные и посадочные радиомаячные системы нового поколения РСБН-4НМ и ПРМГ-76УМ [1].

В проекте разрабатывается модуль для дальномерного радиомаяка ближней навигации и необходимое программное обеспечение.

					<i>ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

## 1 Анализ технического задания

### 1.1 Содержание работы

В результате выполнения дипломного проекта разработан цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка. Необходимо разработать принципиальную схему устройства, написать программное обеспечение (далее ПО) для ПЛИС. Разработка ПО ведется в средах Quartus II v9.1sp2, ModelSim 6.1 для разработки программы для ПЛИС и Altium Designer для принципиальной схемы.

Разрабатываемое устройство решает задачи обработки сигналов. В ходе работы оно должно взаимодействовать с аналоговым модулем приема, а также с модулем передатчика. Особое внимание необходимо параметрам фильтрации сигналов, минимизировать всевозможные временные задержки с помощью оптимизации.

### 1.2 Основные понятия

Дальномерные радионавигационные устройства и системы повсеместно используются для посадки летательных аппаратов и самолетовождения. Их задача – измерение расстояние от воздушного средства до радионавигационных точек.

Радионавигационные дальномеры (РНД) по принципу измерения делятся на системы без ответчика и с ответчиком. В дальномерх без ответчика измеряется время распространения сигнала излучаемого наземной станцией до воздушного судна, на борту которого установлено приёмное устройство. Обобщённая структурная схема РНД без ответчика представлена на рисунке 1.1. В составе таких систем (передатчика наземной станции и бортового приёмника) имеются высокостабильные эталонные генераторы,

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

синхронизированные между собой сигналом, который излучает наземная станция[2].

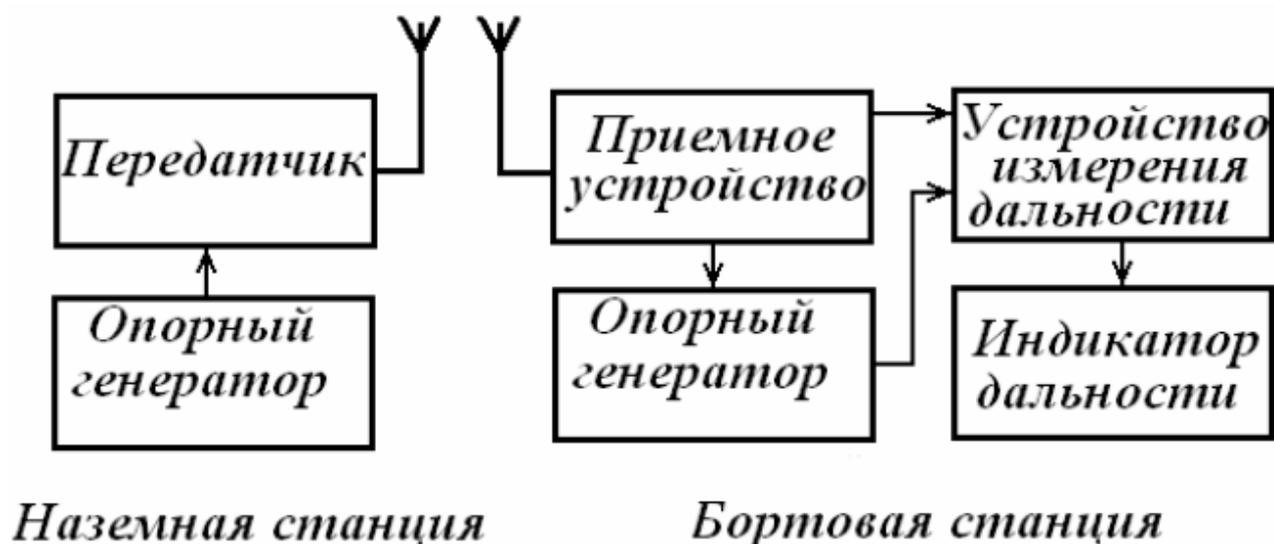


Рисунок 1.1 — Схема РНД без ответчика

Недостатками подобной системы заключаются в строгих требованиях к генератору — относительная нестабильность частоты должна лежать в пределах  $10^{-10} \dots 10^{-9}$ . Такая точность может быть достигнута лишь в атомных или молекулярных генераторах.

Потенциал использования систем без ответчика лежит в военной отрасли, так как бортовое оборудование не работает на излучение, благодаря этому достигается скрытность.

Дальномерные радиосистемы с ответчиком состоят из двух каналов связи: запроса и ответа. Главное отличие состоит в том, что стабильный опорный генератор входит в состав только бортовой станции, которая называется запросчиком.

Станция, которая излучает ответную пару импульсов, называется ответчиком. Обобщенная структурная схема РНД с ответчиком изображена на рисунке 1.2.

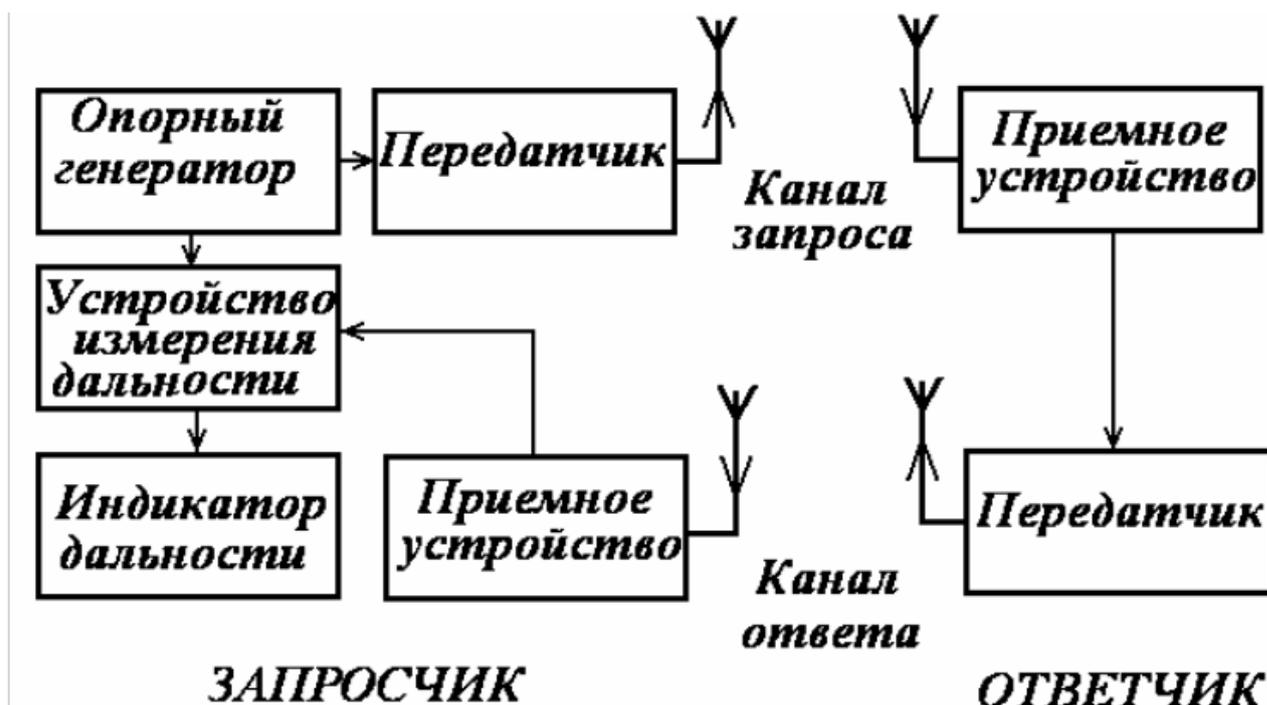


Рисунок 1.2 — Схема РНД с ответчиком

Таким образом, дальномерная радионавигационная система (ДРНС) включает в себя наземное оборудование (дальномерный радиомаяк) и бортовое оборудование (самолетный дальномер).

В международной практике такие системы называют DME (Distance Measuring Equipment – оборудование измерения дальности). Эти системы рекомендованы ИКАО, как одно из основных средств радионавигации.

Расстояние до маяка высчитывается из произведения времени на скорость света. Время, в свою очередь, находится из условия равенства времени прохождения сигнала от самолёта до радиомаяка и времени прохождения сигнала обратно, с известной постоянной задержкой 50 мкс.

Дальномер излучает не одиночные, а парные импульсы (интервал между импульсами в паре, например, 12 мкс) и радиомаяк «отвечает» только в том

случае, если получил именно такой импульс. Форма импульсов описывается в ИКАО (рисунок 1.3).

### Сигнал запроса дальности

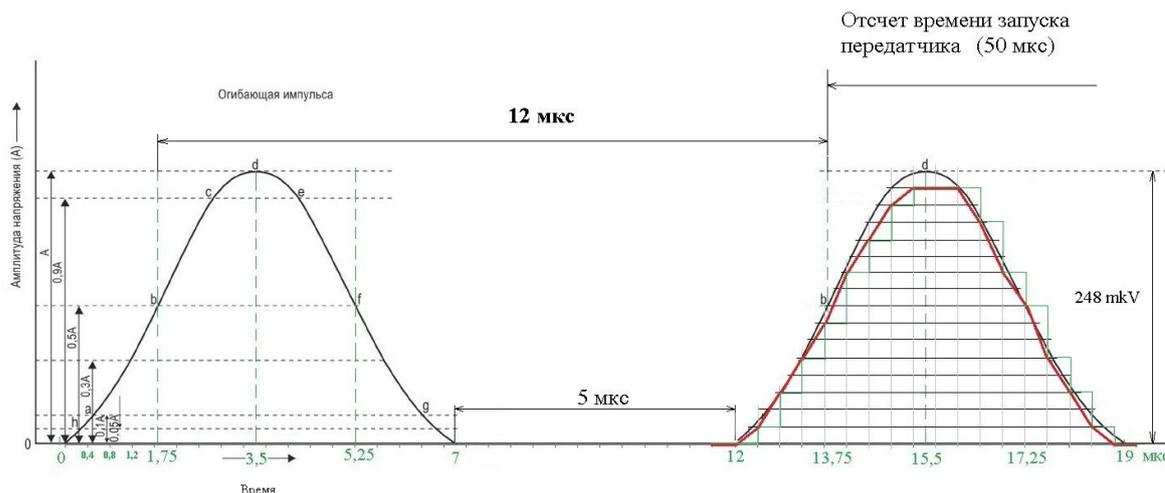


Рисунок 1.3 – Сигнал запроса дальности

Помимо этого, ответ радиомаяка происходит не на той же частоте, на которой он принял сигнал, а на отличающейся от нее на 63 МГц. Благодаря этому дальномер не примет по ошибке собственные отражённые от каких-либо объектов (рельефа местности, других летательных аппаратов, облаков) импульсы за ответный сигнал радиомаяка.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Радиомаяк РМД-2010 изображён на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Дальномерный радиомаяк

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ

Лист

13

### Основные особенности ДРНС:

- рекомендован ИКАО, как одно из основных средств обеспечения полетов самолетов гражданской авиации;
- современная элементная база, передовые технические решения;
- технические параметры соответствуют нормам ICAO, а по точности определения дальности превосходят их;
- 100% резерв основной аппаратуры;
- программно-управляемое цифровое формирование модулированных сигналов;
- зона действия 0...360 градусов в горизонтальной плоскости, 0...40 градусов в вертикальной плоскости;
- зона действия по дальности (в условиях прямой видимости) 360 км (при высоте полёта 12000 м);
- диапазон частот 960...1215 МГц;
- условия эксплуатации минус 50...+50 градусов Цельсия, ветровые нагрузки до 50 м/с;
- количество одновременно обслуживаемых самолётов 252;
- среднее время наработки — 35000 часов;
- технический ресурс 15 лет.

### 1.3 Обзор аналогичных устройств

Рассмотрим, к примеру, радиомаяк «DME-2700», который выпускает AZIMUT, изображённый на рисунке 1.5.

#### Характеристики:

- технические параметры соответствуют нормам ICAO;
- зона действия 0...360 градусов в горизонтальной плоскости, 0...40 градусов в вертикальной плоскости;

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

- зона действия по дальности (в условиях прямой видимости) 340 км (при высоте полёта 12000 м);
- диапазон частот 962...1213 МГц;
- условия эксплуатации минус 40...+70 градусов Цельсия, ветровые нагрузки до 50 м/с;
- количество одновременно обслуживаемых самолётов 200;
- среднее время наработки — 10000 часов.



Рисунок 1.5 – Внешний вид DME-2700

## 2 Разработка принципиальной схемы

Функциональная схема устройства приведена в графическом материале. В схеме можно выделить следующие основные блоки:

- ПЛИС, выполняющая функции фильтрации и обработки;
- АЦП, выполняющий оцифровку сигнала.

### 2.1 Приёмники DME

В приемоответчиках DME в основном используются супергетеродинные приемники. Частота 63 МГц обычно выбирается как промежуточная для упрощения аппаратуры за счёт использования только одного синтезатора и как генератора, и как гетеродина приёмника. [3].

В вышеуказанных решениях избирательность по зеркальному каналу обеспечивается узкополосным преселектором (устройством для усиления сигнала приемника DME), поэтому преселектор выполняется перестраиваемым и должен настраиваться на конкретный частотный канал. Это и является основным недостатком подобных решений. Преселекторы сложны в настройке, и, помимо этого, уже на этапе изготовления радиомаяк настраивается на определённый частотный канал, т.е. «привязывается» к месту эксплуатации.

В некоторых решениях для обеспечения необходимой избирательности по зеркальному каналу используется полосовой фильтр. На этот полосовой фильтр накладываются противоречивые требования. С одной стороны, он должен быть достаточно широкополосным для пропуска видеосигнала без искажений, а также для обеспечения минимального изменения задержки при изменении частоты входного сигнала. С другой стороны, полоса пропускания должна обеспечивать избирательность по соседнему каналу (в соответствии с требованиями ИКАО (международная организация гражданской авиации)

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

разнос частот между каналами 1 МГц) и для подавления помех от других радиотехнических средств, которые могут быть на частотах, близких к рабочей частоте приемопередатчика, так как после прохождения через детектор отделить полезный сигнал от помех будет невозможно. Обычно полоса пропускания фильтра ПЧ составляет  $\pm 500$  кГц.

Используя в технических решениях такой узкополосный фильтр с бесконечной импульсной характеристикой, пропадает возможность обеспечения стабильности времени групповой задержки при изменении частоты входного сигнала, необходимой для обработки сигналов. Изменение группового времени задержки увеличивает ошибку измерения дальности. Это особенно важно в прецизионных радиомаяках, где требования по точности измерения очень жесткие.

## 2.2 Приёмник прямого преобразования

Первые приемники прямого преобразования появились на заре развития радиотехники, когда ещё не было радиоламп, связь проводилась на длинных и сверхдлинных волнах, передатчики были искровыми и дуговыми, а приёмники, даже профессиональные — детекторными.

Было замечено, что чувствительность детекторного приемника существенно возрастает, если на детектор подать колебания маломощного генератора, работающего на частоте, близкой к частоте принимаемого сигнала. При приеме телеграфного сигнала были слышны биения со звуковой частотой, равной разности частоты гетеродина и частоты сигнала.

На входе амплитудного детектора включается полосовой фильтр. Это обеспечивает избирательность детекторного приемника по частоте. Подобная задача также решается переносом энергии принимаемого сигнала в область низких частот. В этом случае избирательность по частоте можно будет

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

осуществить фильтром низкой частоты, сложность которого при тех же характеристиках подавления соседнего канала будет в два раза меньше.

В приёмниках прямого преобразования, в отличие от супергетеродинов, нет тракта ПЧ и детектора - имеется лишь преобразователь частоты, переносящий спектр принимаемого сигнала высокой частоты непосредственно в область звуковых частот (иначе говоря, фильтрация и основное усиление сигнала происходят на низких частотах). Благодаря этому приёмник прямого преобразования оказывается намного проще супергетеродинного как в изготовлении, так и в использовании. Высокие чувствительность и селективность, свойственные супергетеродинам, легко получаются при использовании современных малошумящих транзисторов (уровень создаваемых ими шумов, приведённый ко входу усилителя НЧ, может составлять 0,1...0,2 мкВ) и достаточно простых, но эффективных фильтров нижних частот (ФНЧ).

Однако обычный приёмник прямого преобразования не может демодулировать АМ и ЧМ сигналы. Дело в том, что его смеситель не детектирует принятых колебаний, а преобразует их частоту.

Задача приёма АМ сигналов состоит в том, чтобы выделить огибающую и подавить колебания несущей. Такое возможно в приёмнике с двумя, так называемыми, квадратурными каналами, сигналы в которых сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ . В этом случае после двухполупериодного детектирования квадратурных сигналов получатся одинаковые пульсирующие (также с удвоенной частотой) напряжения, но сами пульсации окажутся противофазными (при удвоении частоты фазовый сдвиг также удваивается), и от них можно избавиться простым суммированием продетектированных сигналов.

В схеме приёмника прямого преобразования на рисунке 2.1 подавление частот соседнего канала осуществляется фильтрами низкой частоты, которые

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

расположены сразу после частотных преобразователей (умножителей). После подавления помех осуществляется основное усиление принимаемого сигнала.

Окончательное демодулирование принятого сигнала производится схемой цифровой обработки сигналов, которая может быть выполнена либо на сигнальном процессоре (СП), либо на программируемой логической схеме (ПЛИС).

Для построения фильтра нижней частоты с той же крутизной ската частотной характеристики требуется в два раза меньше элементов по сравнению с полосовым фильтром, поэтому, с математической точки зрения, эта схема является идеальной при построении радиоприемников.

Схема прямого преобразования позволяет легко строить многодиапазонные приемники. Для перехода с одного диапазона на другой достаточно сменить частоту гетеродина.

На данный момент такая схема используется в реализациях GSM, GPRS и 3G приемников.

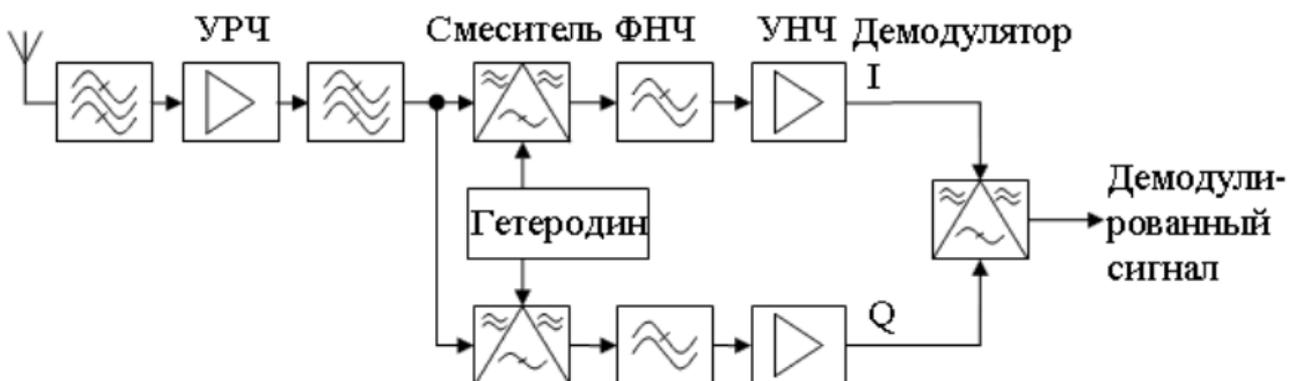


Рисунок 2.1 — Схема приёмника прямого преобразования

Таким образом была разработана схема на рисунке 2.2.

## Функциональная схема Приемника Прямого Преобразования

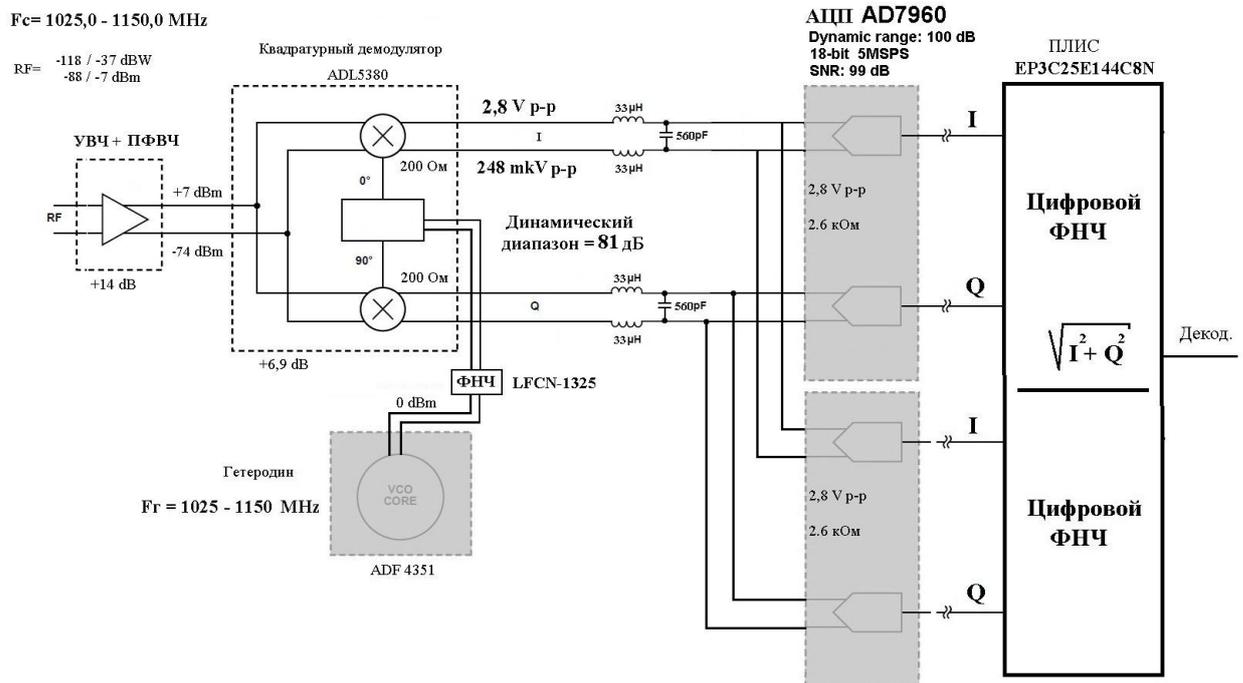


Рисунок 2.2 — Функциональная схема

### 2.3 Выбор ПЛИС

Программируемая логическая интегральная схема — электронный компонент (интегральная микросхема), используемый для создания конфигурируемых цифровых электронных схем. ПЛИС удобны тем, что их логика работы задаётся программированием (или проектированием), а не определяется изготовителем (в отличие от некоторых цифровых микросхем). Программирование происходит в специальной отладочной среде (Quartus II, Vivado и т.д), которую, как правило, рекомендует изготовитель ПЛИС (разрабатывает и поддерживает), используются специальные языки описания: Verilog, VHDL, AHDL и др. Есть возможность задавать структуру устройства посредством принципиальной электрической схемы.

Широкие возможности современных семейств включают встроенную функциональность высокого уровня. Благодаря наличию этих функции в

кристалле кремния можно уменьшить площадь кристалла, к тому же при такой схеме эти функции будут работать быстрее, чем при их реализации на основе примитивов.

В устройстве используется ПЛИС EP3C25E144C8 фирмы Altera (рисунок 2.3), которая относится к типу FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) — программируемая пользователем вентильная матрица. Модификация ПЛИС зависит от типа памяти – встроенное ПЗУ позволяет только несколько раз переписывать энергонезависимую память, флеш-память можно записывать сколько угодно раз, но при каждом новом включении ПЛИС, микросхема будет заново «перепрошиваться», также существуют такие ПЛИС, запись программы в которые может быть единственной, так как после прошивки структура таких микросхем полностью изменяется навсегда. Все ПЛИС состоят из конфигурируемых логических блоков. Они могут быть реализованы, как переключатели, логических операций Булевой алгебры: AND, NAND, OR, NOR и XOR. Или как функции на их основе. Примерами таких функций являются мультиплексоры, блоки цифровой обработки сигналов, встроенные процессоры, быстрая логика ввода-вывода, встроенная память и т.д.

В большинстве современных микропроцессоров функции логических блоков фиксированы и не могут модифицироваться. Принципиальное отличие ППВМ состоит в том, что и функции блоков, и конфигурация соединений между ними могут меняться с помощью специальных сигналов, посылаемых схеме.

Учитывая тип разрабатываемого приёмника, необходимо использовать очень качественный ФНЧ. Все КИХ-фильтры высокого порядка требуют достаточно много логических вентилях, ресурсов ПЛИС. Кроме того, нужно учитывать быстрдействие работы микросхемы, минимизацию возможных

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

задержек сигналов, которые могут негативно сказываться на погрешности определения дальности ЛА.



Рисунок 2.3 — Внешний вид EP3C25E144C8

Основные характеристики ПЛИС EP3C25E144C8:

- семейство Cyclone III;
- количество логических элементов 24624;
- количество блоков логических массивов 1539;
- блоки памяти M9K;
- количество PLL 4;
- поддержка LVDS-портов;
- программируемая нагрузочная способность выходов;
- общий объем памяти 608256 бит;
- максимальная тактовая частота 427 МГц;
- количество входов/выходов 82;
- рабочее напряжение питания 1,15 В...3,465 В;
- максимальная рабочая температура +85 градусов.

ПЛИС тактируется от внешнего тактового генератора МХО37/14Р с частотой тактирования 90 МГц.

Термостатированные кварцевые генераторы серии МХО37/14Р построены на основе резонаторов с внутренним подогревом (резонаторов-термостатов), что приводит к значительному снижению размеров корпуса, потребляемой мощности и времени разогрева генератора при высокой стабильности их частоты и низком фазовом шуме. Более совершенная электронная схема этих генераторов, обеспечивает увеличенный диапазон рабочих частот (до 150 МГц) и более низкий уровень фазового шума при сохранении минимальной потребляемой мощности и малого времени разогрева.

Выбранный генератор mxo37 от magic xtal ltd представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 — Кварцевый генератор

Основные характеристики МХО37/14Р:

- частота тактирования 90 МГц;
- рабочие температуры минус 40 ... плюс 85 С;
- напряжение питания: +3,3 В;
- температурная стабильность  $\pm 2 \times 10^{-9}$ ;
- потребляемый ток 7 ... 25 мА;
- выходной сигнал: КМОП;
- уровень фазового шума минус 173 дБс/Гц на 100 кГц;
- потребляемая мощность 0.18 Вт при +25°С;

- диапазон рабочих частот 8...150 МГц;
- старение до  $\pm 1 \times 10^{-10}$ /сутки,  $\pm 1.5 \times 10^{-8}$ /год;
- размеры около 1.5 куб. см.
- джиттер 8 пс.

Тактовая частота ПЛИС выбрана исходя из синхронной работы с АЦП. Выбранный АЦП AD7960 является дифференциальным, его скорость 5 МГц, а разрешение -18 бит.

## 2.4 Выбор АЦП

При выборе аналого-цифрового преобразователя нужно четко понимать его основные характеристики и соотносить их с параметрами входного сигнала. Одним из главных параметров АЦП является частота дискретизации. Согласно теореме Котельникова, частота дискретизации должна быть не менее, чем в два раза больше максимальной частоты в спектре входного сигнала. Полоса частот вычисляется из времени нарастания импульса, она должна составлять не менее 7 МГц, также необходимо учесть, что для удобства обеспечения АЦП тактирующими импульсами, частота дискретизации должна быть равной или кратной частоте тактирования ПЛИС.

Все реальные сигналы имеют конечную длительность, а значит - бесконечно широкий спектр, который убывает с повышением частоты. Невозможно охватить такой бесконечный спектр, поэтому во время дискретизации происходит потеря информации (например, происходит искажение формы сигнала при дискретизации—восстановлении), как бы ни была высока частота дискретизации. При выбранной частоте дискретизации искажение можно уменьшить, если обеспечить подавление спектральных составляющих аналогового сигнала (до дискретизации), лежащих выше частоты Найквиста, для чего требуется фильтр очень высокого порядка, чтобы

избежать наложения «хвостов». Практическая реализация такого фильтра весьма сложна, так как амплитудно-частотные характеристики фильтров имеют не прямоугольную, а гладкую форму, и образуется некоторая переходная полоса частот между полосой пропускания и полосой подавления. Поэтому частоту дискретизации выберем с запасом — 10 МГц.

Еще одним требованием является высокое разрешение по битам, для корректного квантования сигнала. Вероятны различные уровни амплитуд принимаемых сигналов, минимальный из которых — 0,248 мкВ. При 18 битах минимальный уровень сигнала будет соответствовать целому числу семь, то есть занимать четыре младших бита цифрового 18-битного слова. Это гарантирует нам корректное распознавание огибающей импульса.

Сравнительно высокая частота и разрешение делают AD7960 лучшим среди подобных АЦП. Однако, частота дискретизации AD7960 — 5 МГц недостаточна, ведь нам необходимо 10. Конечно, можно подобрать АЦП подходящий по этим двум параметрам, но это нерационально, так как: он будет значительно дороже (порядка десятков раз), а его характеристики будут избыточны для нашего проекта.

Было решено использовать два АЦП с отставанием по фазе в полпериода, это как раз обеспечит повышение частоты в два раза.

Основные технические характеристики AD7960 (рисунок 2.5):

- скорость 5 МГц;
- разрешение 18 бит;
- динамический диапазон 100 дБ;
- отношение сигнал-шум 99 дБ;
- дифференциальный выход;
- архитектура последовательного приближения.

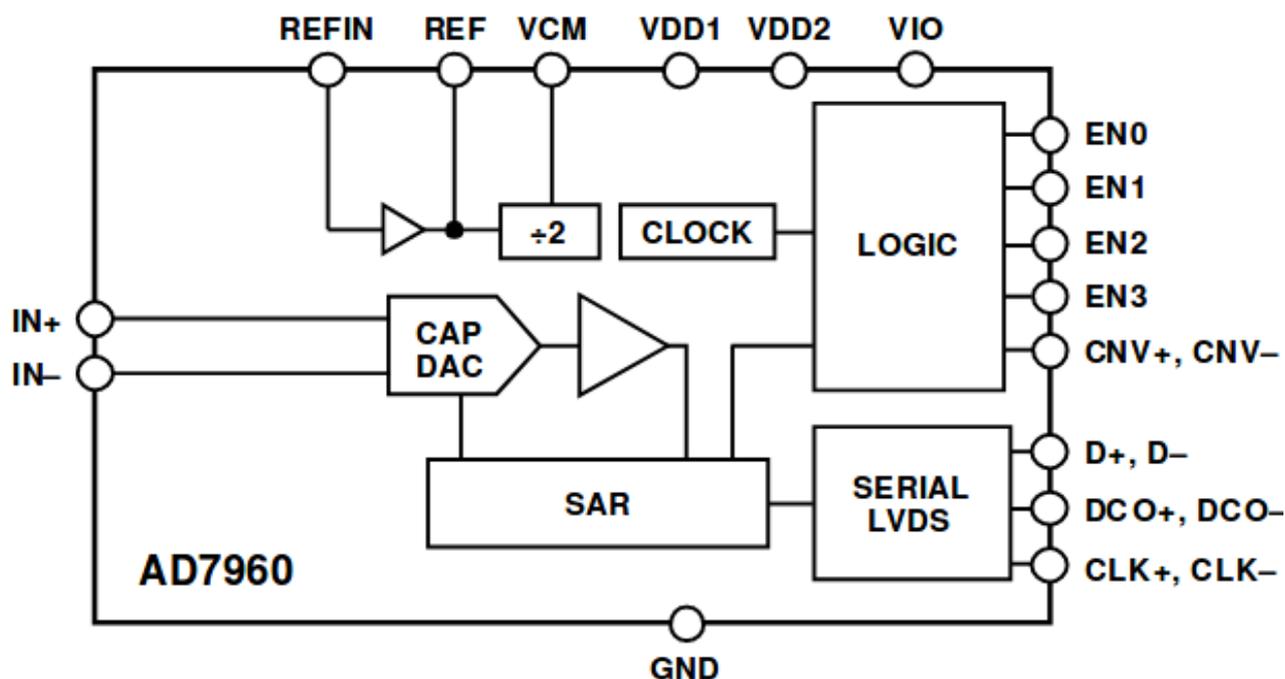


Рисунок 2.5 – Функциональная схема АЦП

Аналого-цифровые преобразователи могут быть: последовательного приближения, параллельного приближения и дельта-сигма. AD7960 относится к АЦП последовательного приближения. Он содержит ЦАП, устройство выборки/хранения и регистр последовательного приближения. Принцип работы заключается в том, что преобразователь измеряет величину входного сигнала, осуществляя ряд последовательных сравнений входного напряжения с некоторыми величинами, генерируемыми таким образом (рисунке 2.6.):

- сначала на выходе цифро-аналогового преобразователя устанавливается величина, равная половине входной амплитуды напряжения;
- происходит сравнение сигнала с установленной величиной, если входной сигнал оказывается меньше, то он сравнивается с напряжением, лежащим посередине нижнего интервала, т.е., четверти амплитуды напряжения. Если же, наоборот, сигнал превышает средний уровень, то сравниваться будет с серединой верхнего интервала (т.е. с уровнем четверти амплитуды);

- второй шаг повторится девять раз. В результате получится 18-битное цифровое слово.

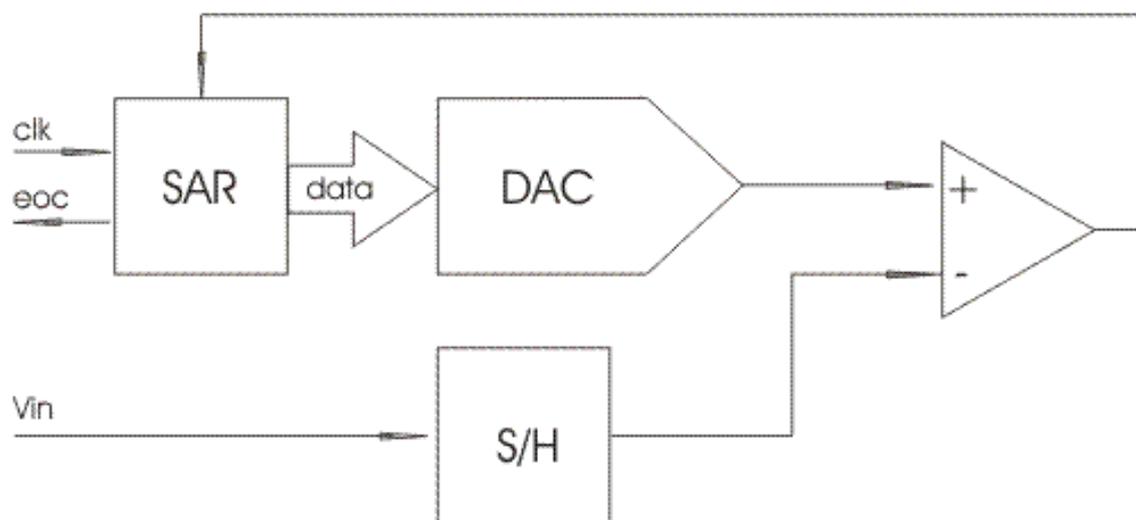


Рисунок 2.6 — Архитектура АЦП последовательного приближения

### 3 Разработка программного обеспечения

#### 3.1 Структура программных модулей ПЛИС

Большинство программных модулей для ПЛИС написаны на языке VHDL, некоторые модули для обнаружения сигналов были написаны на языке Verilog. Применение модулей позволяет повторно использовать их в дизайне проекта, упрощает процесс разработки и тестирования. Каждый модуль был протестирован отдельно в программе ModelSim.

Структура программы для ПЛИС изображена в графическом материале. Поясним кратко роль каждого модуля.

Модуль параметров фильтров был создан для автоматического управления фильтрами. Входные сигналы: Клок - синхронизация работы всей схемы. Выходные сигналы сообщают фильтрам о том, что передаваемая информация не повреждена, а также об отсутствии ошибок на предыдущих этапах обработки информации.

Четыре фильтра нижних частот фильтруют информацию по каналам Q1, I1, Q2, I2, соответственно. Входные сигналы: клок, некоторые автоматические параметры фильтров, информация Q1, I1, Q2, I2 (18 бит). Выходные сигналы: отчёт о работе фильтра, сообщающий код ошибки, если она есть (2 бита) и отфильтрованный сигнал (18 бит).

Модуль ошибок фильтра собирает информацию о работе всех фильтров в ПЛИС. Входные сигналы: сообщения о работе фильтров (2 бита), клок. Выходные сигналы: Отсутствуют, однако есть возможность (без усложнения схемы) вывести 2-битный сигнал для контроля правильности работы фильтров в схеме.

Модуль переключения каналов за один такт блок выбирает пару I и Q, которую передаёт на следующие блоки. Необходимость подобной операции

объясняется тем, что используются четыре АЦП 5 МГц, вместо двух 10 МГц. Обработка информации происходит то с одного АЦП, то с другого, за счёт чего повышается частота в два раза. Входные сигналы: Q1, I1, Q2, I2 (каждый 18 бит), клок. Выходные сигналы: Q, I (18 бит).

Модули возведения в квадрат реализуют арифметическую операцию возведения в квадрат. Входные сигналы: Q либо I (18 бит), клок. Выходные сигналы:  $Q^2$  либо  $I^2$  (36 бит).

Модуль «сумма» выполняет арифметическое сложение значений составляющих  $Q^2$  и  $I^2$ . Входные сигналы:  $Q^2$  и  $I^2$  (36 бит), клок. Выходной сигнал:  $Q^2 + I^2$  (40 бит).

Модуль извлечения корня извлекает корень из значения суммы. При необходимости для повышения точности возможно выводить также и остаток (без усложнения схемы). Входные сигналы:  $Q^2 + I^2$  (40 бит), клок. Выходные сигналы:  $\sqrt{I^2 + Q^2}$  (19 бит).

Модули памяти используются для обеспечения надёжности передачи информации или создании постоянной задержки сигнала.

Регистры сдвига используются для превращения последовательной информации в параллельную. Входные сигналы: клок, I1, I2, Q1, Q2 (все однобитовые). Выходные сигналы: I1, I2, Q1, Q2 (все 18-битные).

Каждый модуль описан, как отдельный файл, код представлен на диске.

### 3.2 Модуль ФНЧ

#### 3.2.1 КИХ или БИХ

Как говорилось выше, в приёмниках прямого преобразования важную роль играет ФНЧ. Для реализации был выбран КИХ-фильтр (рисунок 3.1) из-за линейности фазо-частотной характеристики (ФЧХ), а также более резкой

амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) по сравнению с БИХ-фильтрами.

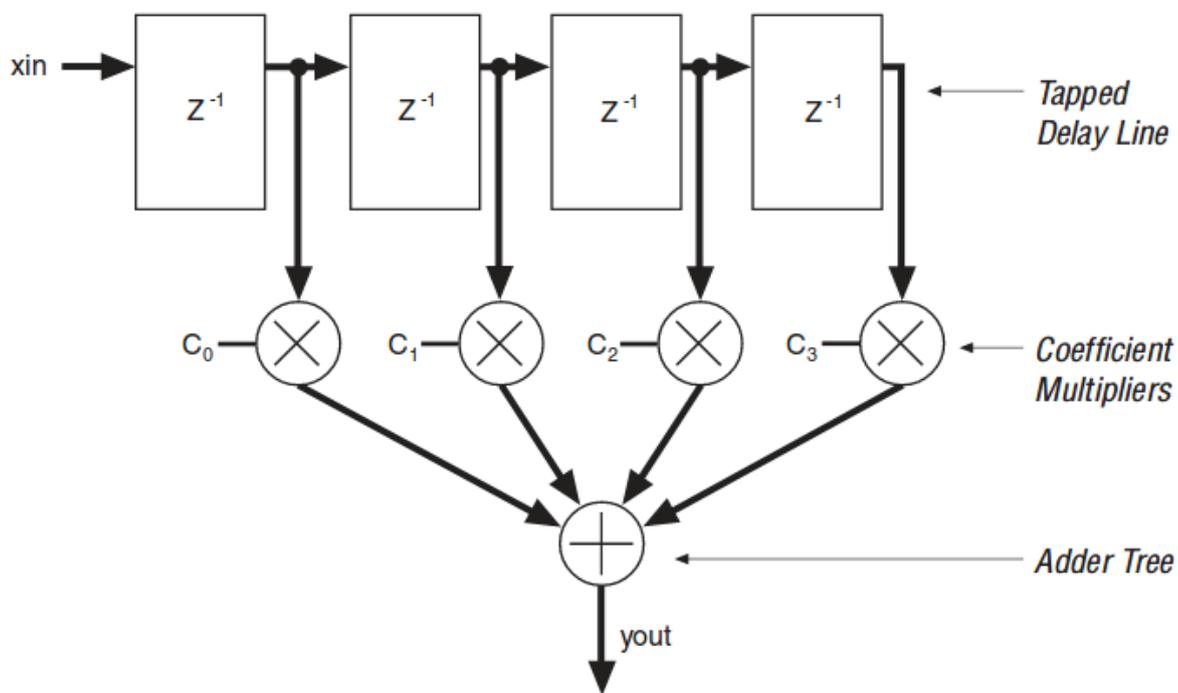


Рисунок 3.1 – Обобщённая схема КИХ-фильтра

Характеристики КИХ-фильтров:

- импульсная характеристика;
- линейная фаза, постоянная групповая задержка ( $N$  должно быть нечетным);
- отсутствие аналогового эквивалента;
- адаптивность;
- безусловная устойчивость.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 3.2.2 Выбор способа синтеза фильтра

На сегодняшний день существует очень много подходов к проектированию цифровых фильтров. В том числе в области проектирования фильтров на ПЛИС. Некоторые инженеры предпочитают вычислять коэффициенты фильтров в средах подобных Matlab, а после – переносить их в среду разработки ПО ПЛИС. Однако, Quartus II не поддерживает работу с дробными числами, которые генерирует Matlab, поэтому синтезировать код таким образом не получится. Также есть вариант решать задачу «в лоб», то есть описывать всё вручную, через задержки и умножители, однако, это очень ёмкий процесс для фильтров высоких порядков.

Поэтому было решено использовать IP-мегафункцию для реализации этих блоков. Достоинство использования мегафункций в том, что размер площади, используемой на кристалле, сокращается, улучшаются характеристики быстродействия, но происходит потеря универсальности.

Компания, разработавшая эту мегафункцию, утверждает, что разрабатывая фильтр вручную, инженер тратит примерно в 40 раз больше трудового времени, чем при проектировке фильтра через приложение.

Чтобы фильтр удовлетворял всем требованиям, необходимо очень внимательно отнестись ко всем его параметрам.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

### 3.2.3 Подбор весовой функции

На рисунках 3.2 – 3.5 изображены весовые окна.

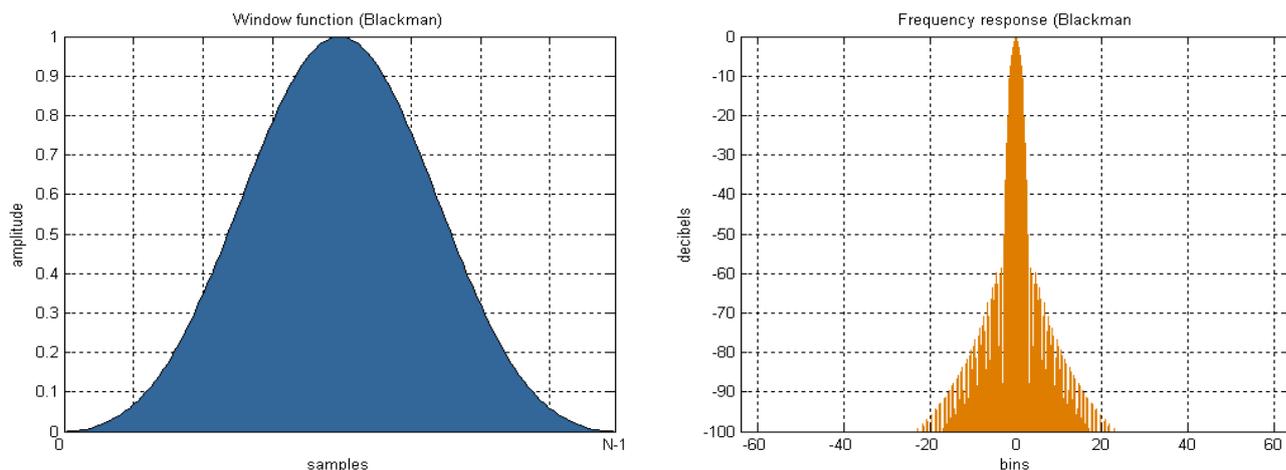


Рисунок 3.2 — Оконная функция Блэкмана

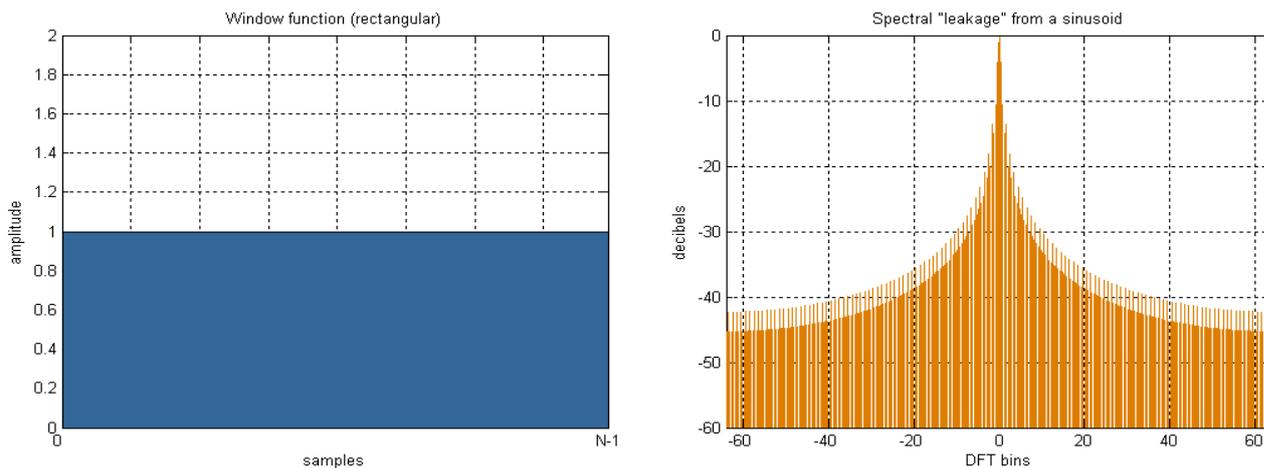


Рисунок 3.3 — Прямоугольная оконная функция

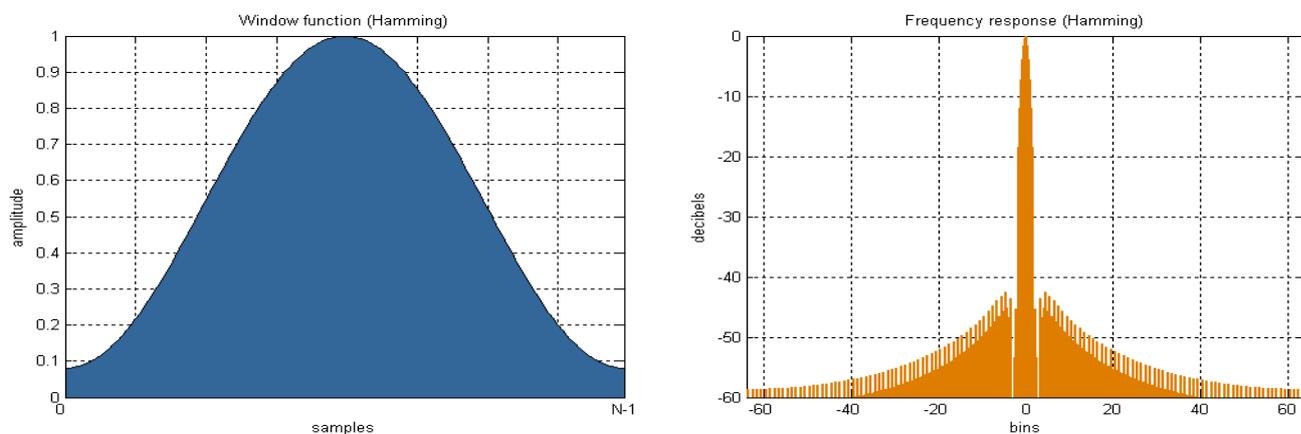


Рисунок 3.4 — Оконная функция Хэмминга

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

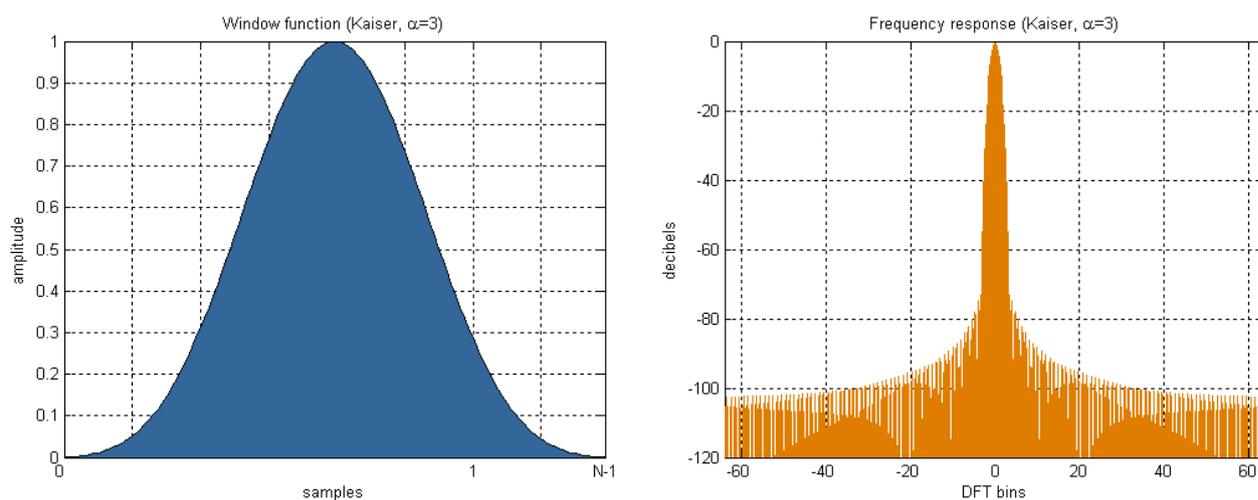


Рисунок 3.5 — Оконная функция Кайзера

Оконная функция Блэкмана была выбрана исходя из сравнительно наименьших возмущений в полосе задержки. Так как функция имеет самый крутой спад и минимальна в полосе задержки, что подходит для требования по подавлению сигналов в полосе задержания – минус 80 дБ.

### 3.2.4 Выбор архитектуры

В мегафункции предложено три варианта:

- полностью последовательный фильтр;
- полностью параллельный фильтр;
- многобитный последовательный фильтр.

Все они на распределённой логике ПЛИС.

Полностью последовательный фильтр хорош тем, что экономит ресурсы ПЛИС, но работает очень медленно, выполняя преобразование одного цифрового слова за число тактов, меньшее на единицу, чем битовая длина этого слова.

Достоинство параллельного фильтра в его скорости – он выполняет все вычисления за один такт, и, с учётом ограниченности во времени, обязательно был бы выбран для применения в этом проекте, если бы он был один. Четыре таких фильтра не поместятся на данной ПЛИС, поэтому он не подходит.

Многобитный параллельный фильтр является компромиссным по времени обработки и занимаемыми ресурсами на ПЛИС, поэтому остановились на нём.

### 3.2.5 Подбор разрядности коэффициентов

Разрядность коэффициентов — главный фактор, от которого зависит вид частотной характеристики. Чем выше порядок фильтра, тем больший должен быть обеспечен динамический диапазон разрядной сетки иначе ошибки квантования будут вносить значительную погрешность. Из-за значительного ограничения разрешения коэффициентов, изменяется АЧХ фильтра, в нескольких случаях настолько, что сильно изменяются параметры затухания в полосе задержания, гладкость АЧХ в полосе пропускания, а также угол наклона АЧХ. Даже при повышении порядка фильтра его качество не будет улучшаться при неправильно выбранной разрядности. Ресурсы современных ПЛИС позволяют увеличивать разрядность коэффициентов, насколько угодно разработчику, однако, достигая некоторых величин, параметры фильтра с ростом разрядности изменяются незначительно, чего нельзя сказать об использовании памяти и логических вентилях микросхемы, поэтому на практике обычно отводят от 16 до 27 битов. Опытным путём была выбрана разрядность 18 бит.

Также важно и представление коэффициентов. Например, целые числа будут давать огромное усиление, и на выходе фильтра можно получить бесконечность. Вероятно, коэффициенты такого типа годятся только для простых фильтров, где на выходе предусмотрены ещё какие-то блоки. В этом проекте для коэффициентов был выбран тип знаковый дробный с фиксированной точкой. Возможно выбрать тип с плавающей точкой, который будет обеспечивать ещё большую точность квантования, однако, такой тип данных даже той же длины, что и с дробный тип фиксированной точкой, будет

поглощать ещё больше ресурсов ПЛИС. Ведь из-за особой формы подобных чисел, он требует особой архитектуры для всех арифметических операций.

### 3.2.6 Синтез

Задаём основные параметры фильтра (рисунок 3.6) – тип фильтра (ФНЧ), оконную функцию Блэкмана, частоту среза, частоту дискретизации и порядок.

Выбираем порядок фильтра 100, потому что такой порядок более чем удовлетворяет условию: коэффициент квадратичности меньше двух.

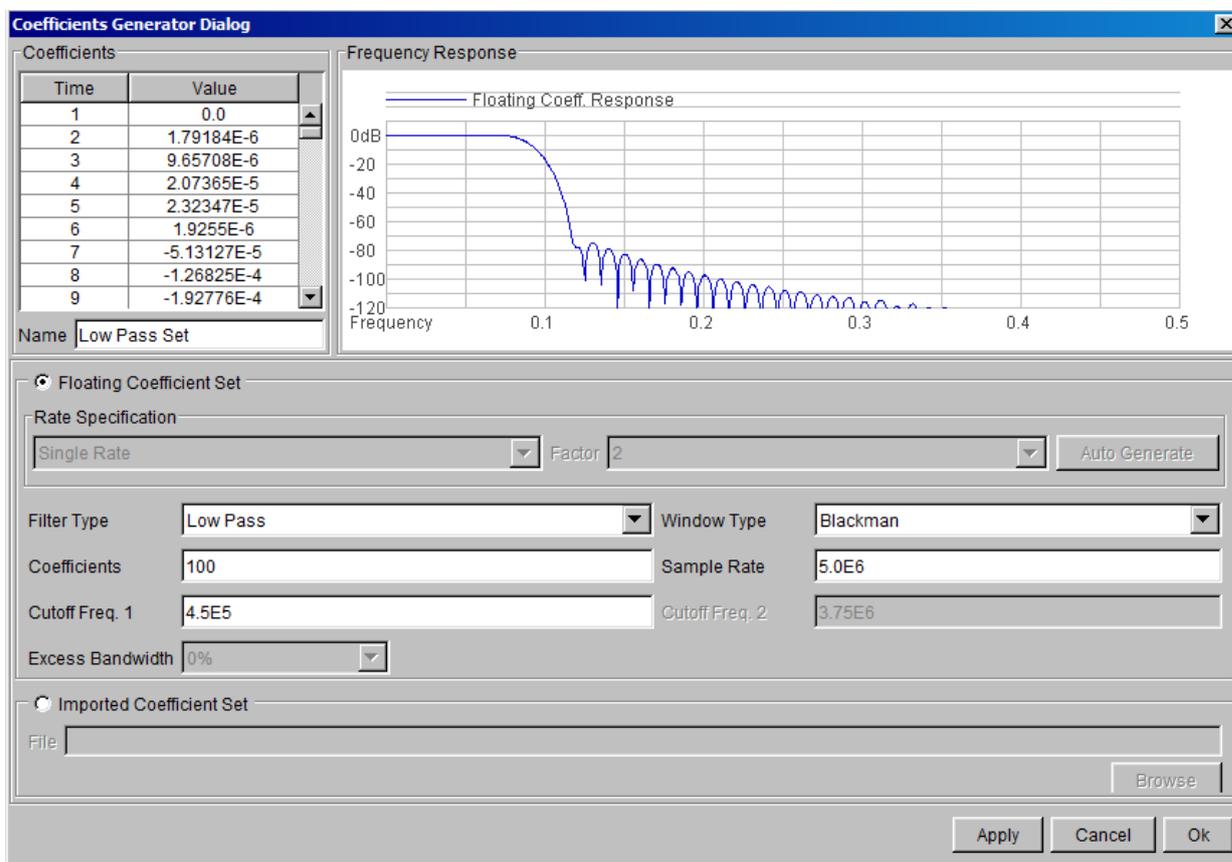


Рисунок 3.6 – Вид АЧХ ФНЧ с заданными параметрами

После этого будут автоматически подобраны коэффициенты фильтра, переходим к изменению других параметров (рисунок 3.7).

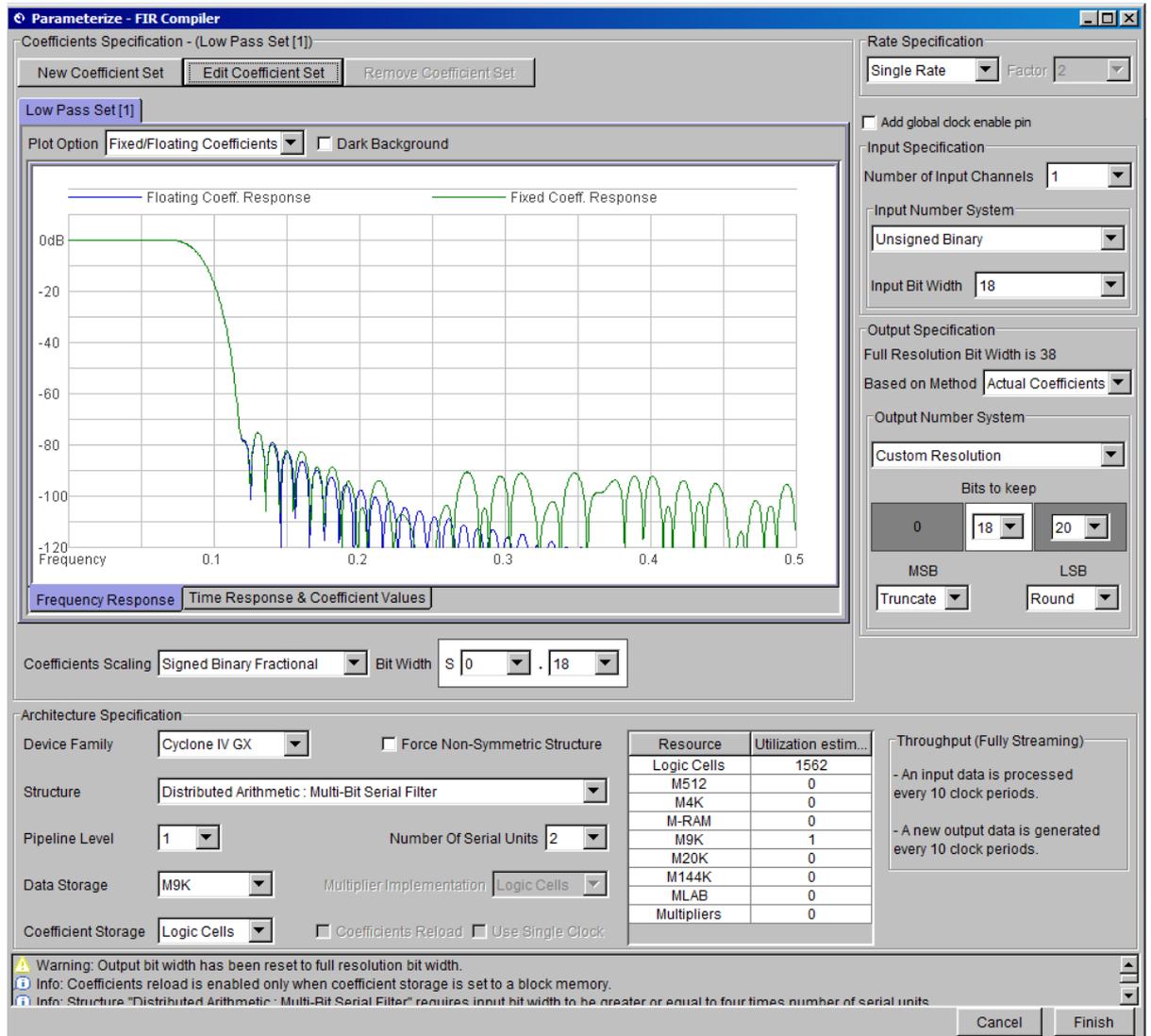


Рисунок 3.7 — Среда проектирования Quartus II (открыто окно симуляции)

Здесь мы выбираем обычный (не децимирующий или интерполирующий) фильтр, задаём параметры входных данных: беззнаковые целые 18-битные числа, выбираем выходные данные: 18-битные беззнаковые числа, округлённые до целого. Задаём размерность коэффициентов – знаковые дробные 18-битные числа с фиксированной точкой. В таком формате коэффициенты дают оптимальную гладкость АЧХ и занимают не слишком много ресурсов ПЛИС. Указываем семейство ПЛИС, для хранения используем

блоки памяти М9К, что является удачным техническим решением, так как очень экономит логические элементы и ускоряет работу всей схемы.

Чтобы убедиться в линейности ФЧХ, можно переключить окно графиков и посмотреть на импульсную характеристику идеального варианта нашего фильтра (рисунок 3.8). Её визуальная симметрия говорит нам о том, что передаточная функция фильтра тоже симметрична, значит ФЧХ линейна.

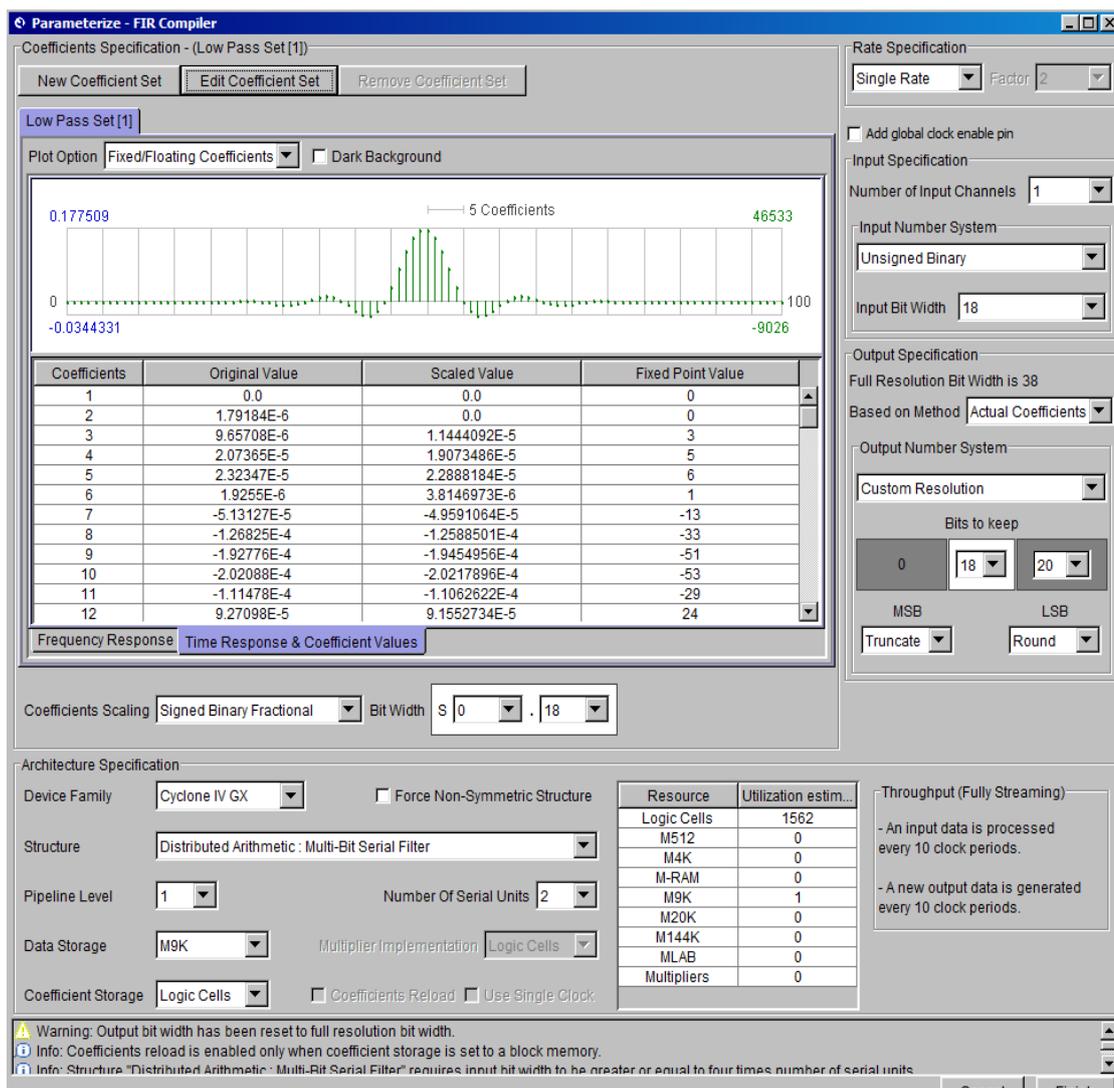


Рисунок 3.8 – Демонстрация импульсной характеристики

### 3.2.7 Тестирование модуля

Для демонстрации работы блока ФНЧ были написана программа в ModelSim (рис3.9).

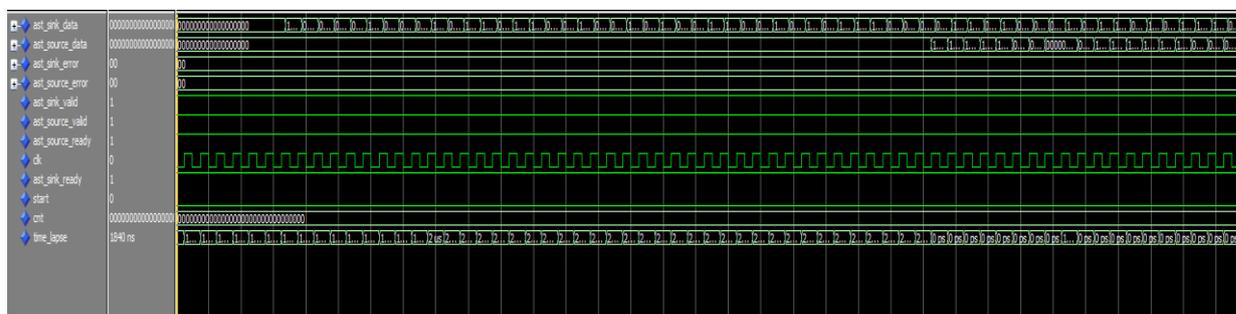


Рисунок 3.9 – Временные диаграммы блока ФНЧ

Временные диаграммы, демонстрирующие работу блока ФНЧ, сообщают нам, что все сигналы определены и правильно изменяются относительно тактового сигнала. Однако, такое представление недостаточно наглядно, чтобы оценить фильтр, поэтому, построим модели в Matlab (рисунок 3.9).

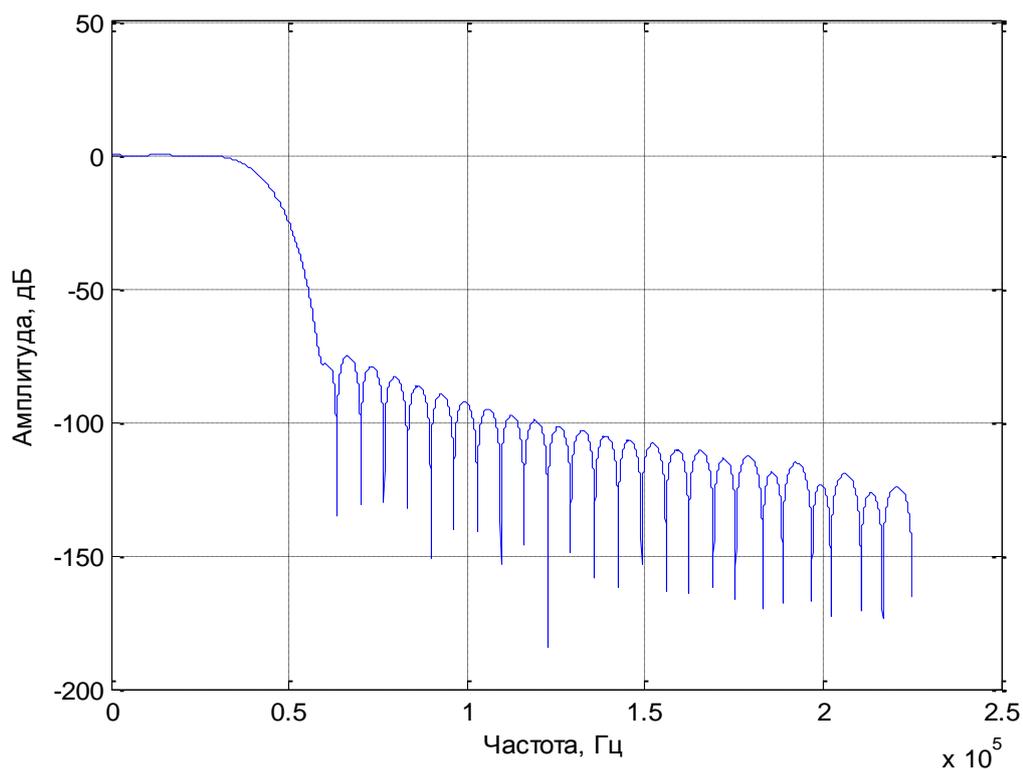


Рисунок 3.9 – АЧХ ФЧ (дБ)

Как мы можем видеть, фильтр удовлетворяет нашим условиям. Коэффициент прямоугольности 1,47. В полосе задержания происходит хорошее подавление сигналов. Попробуем что-нибудь отфильтровать, например, белый гауссовский шум (рисунки 3.10-3.11).

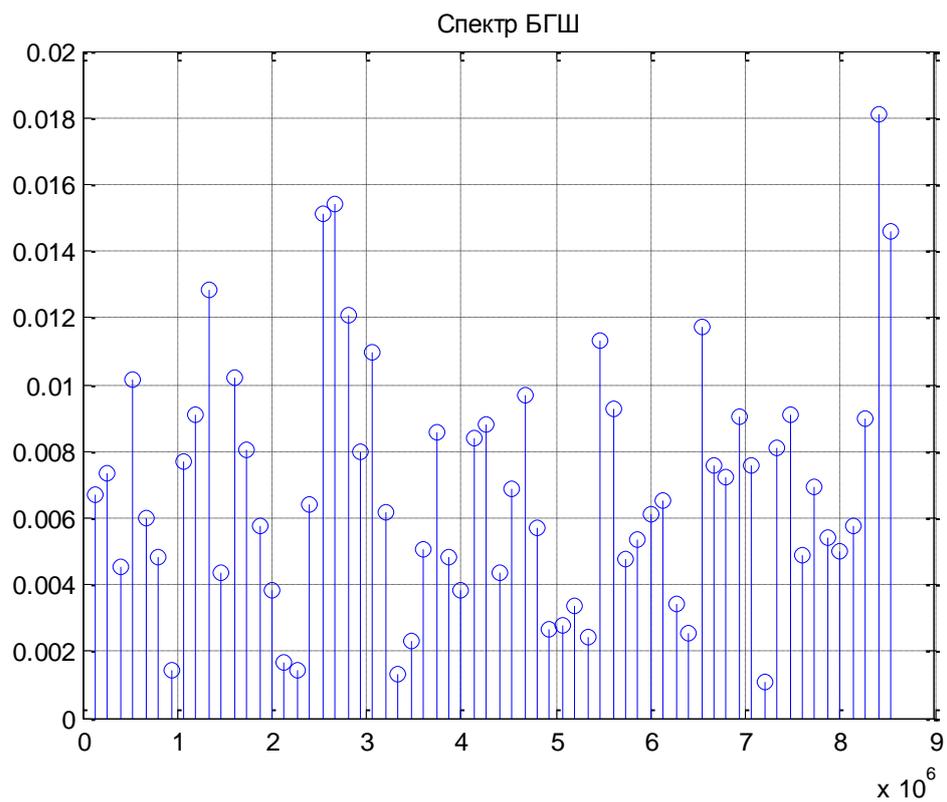


Рисунок 3.10 – Спектр БГШ

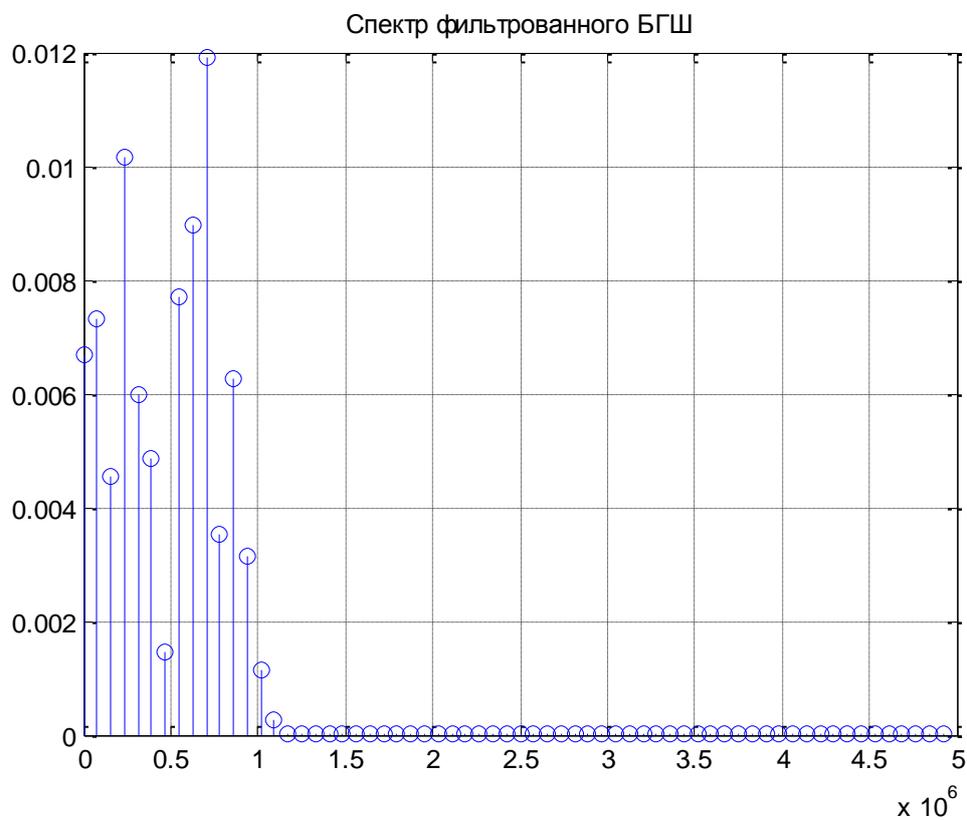


Рисунок 3.11 – Спектр после фильтрации

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

### 3.3 PLL

PLL (Phase-Locked Loop) – это специальный генератор со схемой подстройки частоты, это генератор, управляемый напряжением (VCO – voltage-controlled oscillator). Внутри модуля происходит сравнение фаз сигнала входной частоты и сигнала выходной частоты. Частота генератора управляется разностью фаз входной и выходной частот, поэтому частота генератора остаётся фиксированной на одном значении.

PLL широко применяются в цифровой технике, в том числе используются при телекоммуникации, в компьютерах и других электронных устройствах.

В используемой ПЛИС есть четыре PLL, но понадобится только одна, синтезируем её так же, через MegaWizard PlugIn Manager.

Зададим параметры: семейство микросхемы Cyclone III, значения частоты входного сигнала генератора 90 МГц, быстродействие схемы – восемь. Здесь есть возможность указать наличие всех необходимых сигналов (сброса, разрешения, флаг установки частоты), также есть настройка девиации частоты, если необходима манипуляция с фазами генерируемых сигналов.

У Cyclone III PLL может быть всего пять выходов: C0, C1, C2, C3, C4. Все они могут быть самостоятельно настроены на определённую частоту. Но частоты получатся более или менее похожими. Непросто или даже невозможно получить сетку сильно отличающихся частот. Нам необходимо всего лишь три частоты: 90 МГц – для приёма данных с АЦП, 5 МГц – для манипуляций с параллельными сигналами и 10 МГц для блоков, стоящих после увеличения частоты в два раза. Все они находятся в сетке связанных частот, поэтому проблем не возникает.

Выставляем необходимые параметры (рисунок 3.10 – 3.11).

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

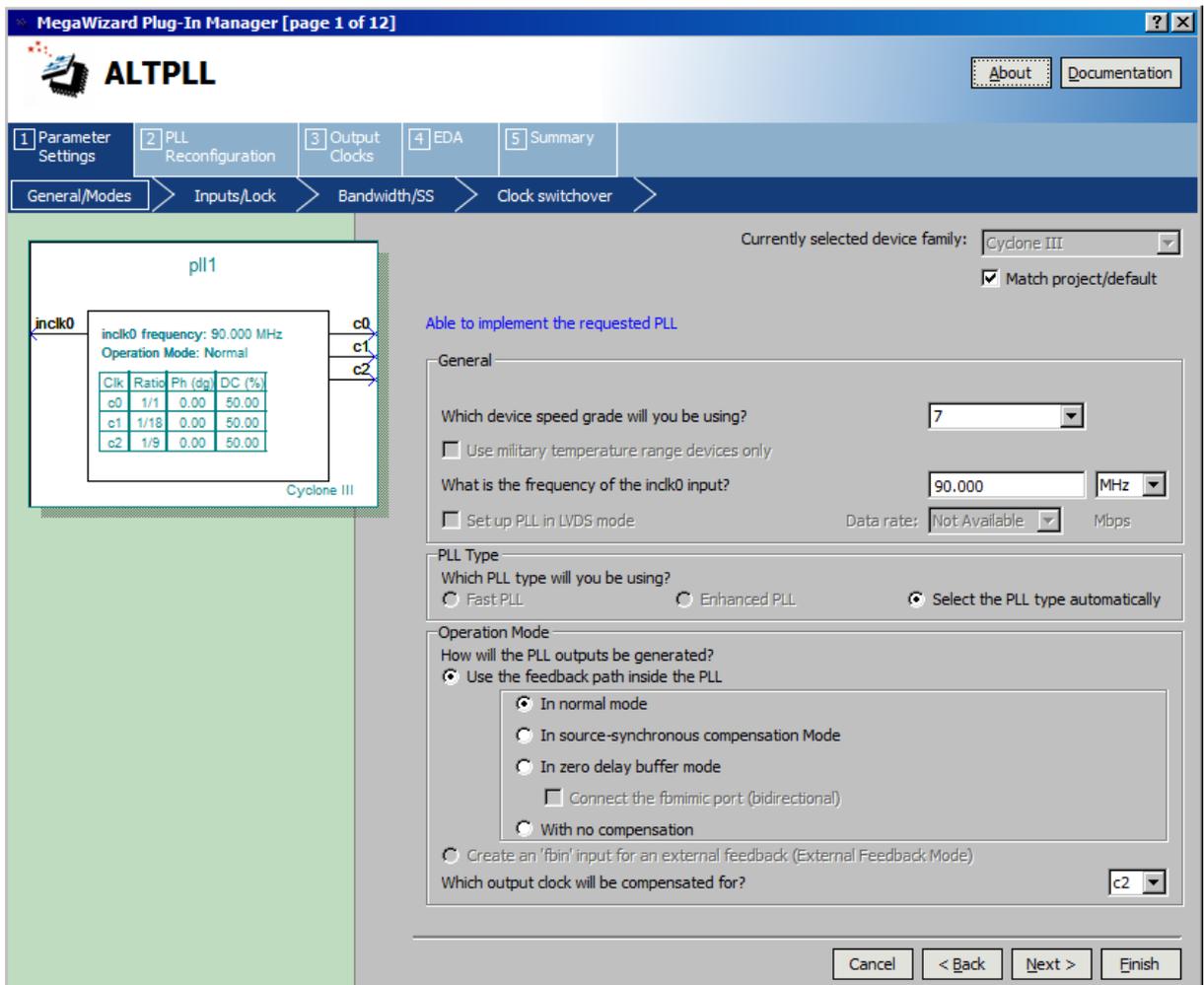


Рисунок 3.10 – Параметры частоты входного сигнала

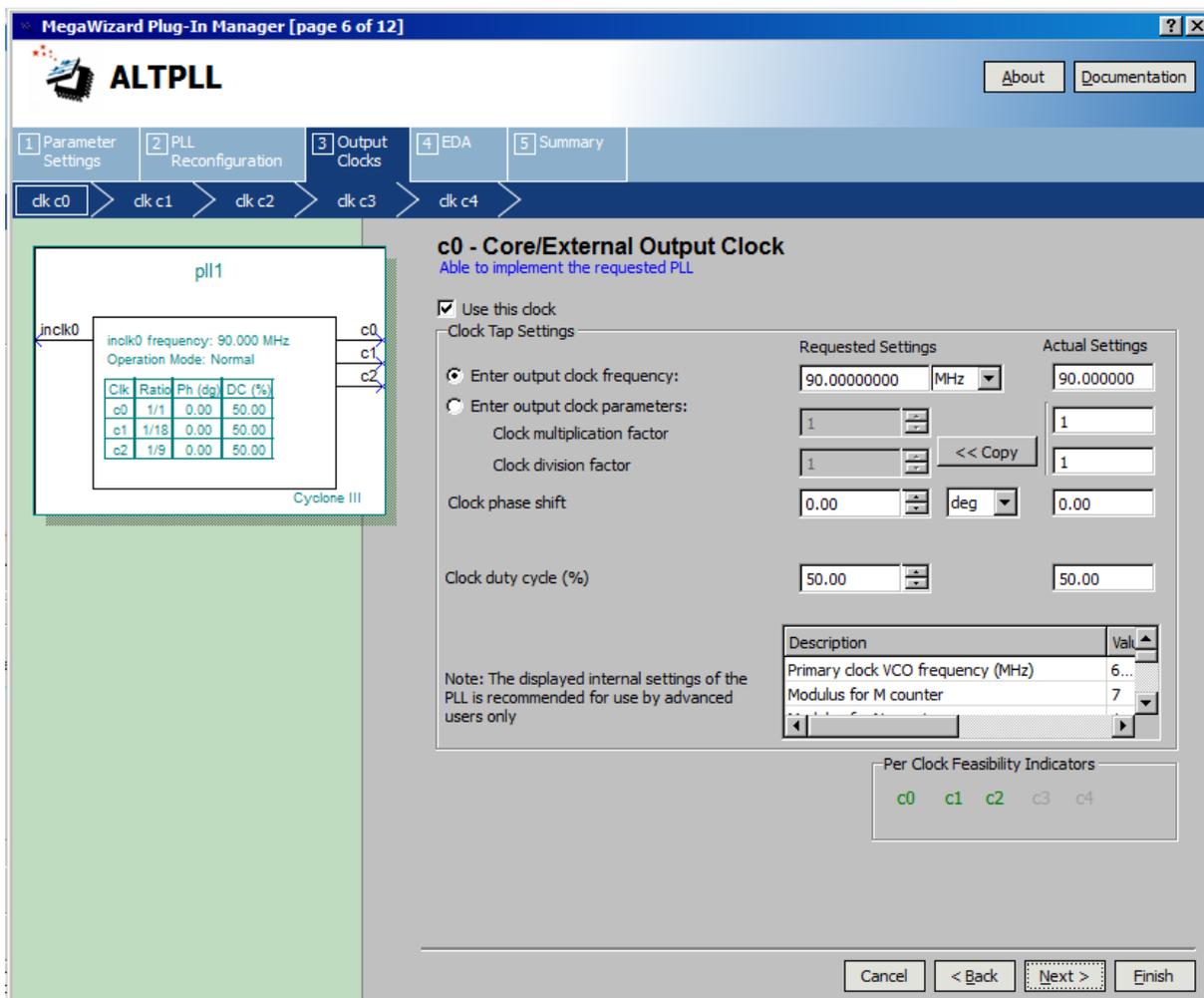


Рисунок 3.11 – Параметры выходного сигнала

### 3.4 Модули SERDES

Пропускная способность (производительность) шины зависит от частоты и разрядности передаваемых по ней слов и определяется их произведением. В прошлом пропускную способность шин традиционно повышали, увеличивая их разрядность. Но с ростом частот меняются параметры сигналов, увеличивается крутизна фронтов напряжений и токов, усложняется ситуация с воздействием помех на сигнальные линии, что особенно сказывается на многоразрядных шинах. В многоразрядных шинах труднее решать задачи борьбы с перекрестными помехами, помехами по цепям питания и помехами из-за отраженных волн в несогласованных линиях.

Поэтому для многоразрядных шин частота тактирования ниже, чем для малоразрядных. Вследствие указанных обстоятельств в современных условиях изменился и подход к выбору рациональной разрядности для шин с высокой пропускной способностью. В последнее время в схемотехнике СБИС прослеживается тенденция к замене многоразрядных шин на малоразрядные, но работающие на более высокой частоте. Замена многоразрядных шин на малоразрядные может дать существенное упрощение и удешевление систем при сохранении или даже повышении производительности шины. Упрощение и удешевление систем могут быть весьма большими, т. к. сокращение числа контактов микросхем может оказаться многократным. Современные проектные нормы (около 0,1 мкм) позволяют получать логические элементы очень высокого быстродействия, что также является условием успешного перехода к малоразрядным шинам. Действительно, уменьшение разрядности передаваемых слов сопряжено с необходимостью последующего перехода к другим разрядностям, свойственным устройствам обработки получаемых по шине данных. Для этого нужны блоки преобразования последовательных данных в параллельные, и наоборот. Такие блоки называются блоками SERDES (Serializer-Deserializer). Наш десериализатор состоит из сдвиговых регистров, блоков памяти FIFO, а также PLL.

#### 3.4.1 Блоки памяти FIFO

FIFO (англ. first in, first out – «первым пришёл – первым ушёл») – способ организации и манипулирования данными относительно времени и приоритетов.

В основном FIFO состоит из множества указателей чтения и записи, памяти и логики управления. Устройство может быть SRAM, триггер, защёлка, или любого другого подходящего типа.

Синхронным является такой FIFO, в котором один тактовый сигнал используется как для чтения, так и для записи.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Флаг статуса FIFO: полон, пуст, почти полон, почти пуст и т.д.

Здесь реализован кольцевой синхронный FIFO с помощью мегафункции пошагово (Рисунки 3.12-3.16).

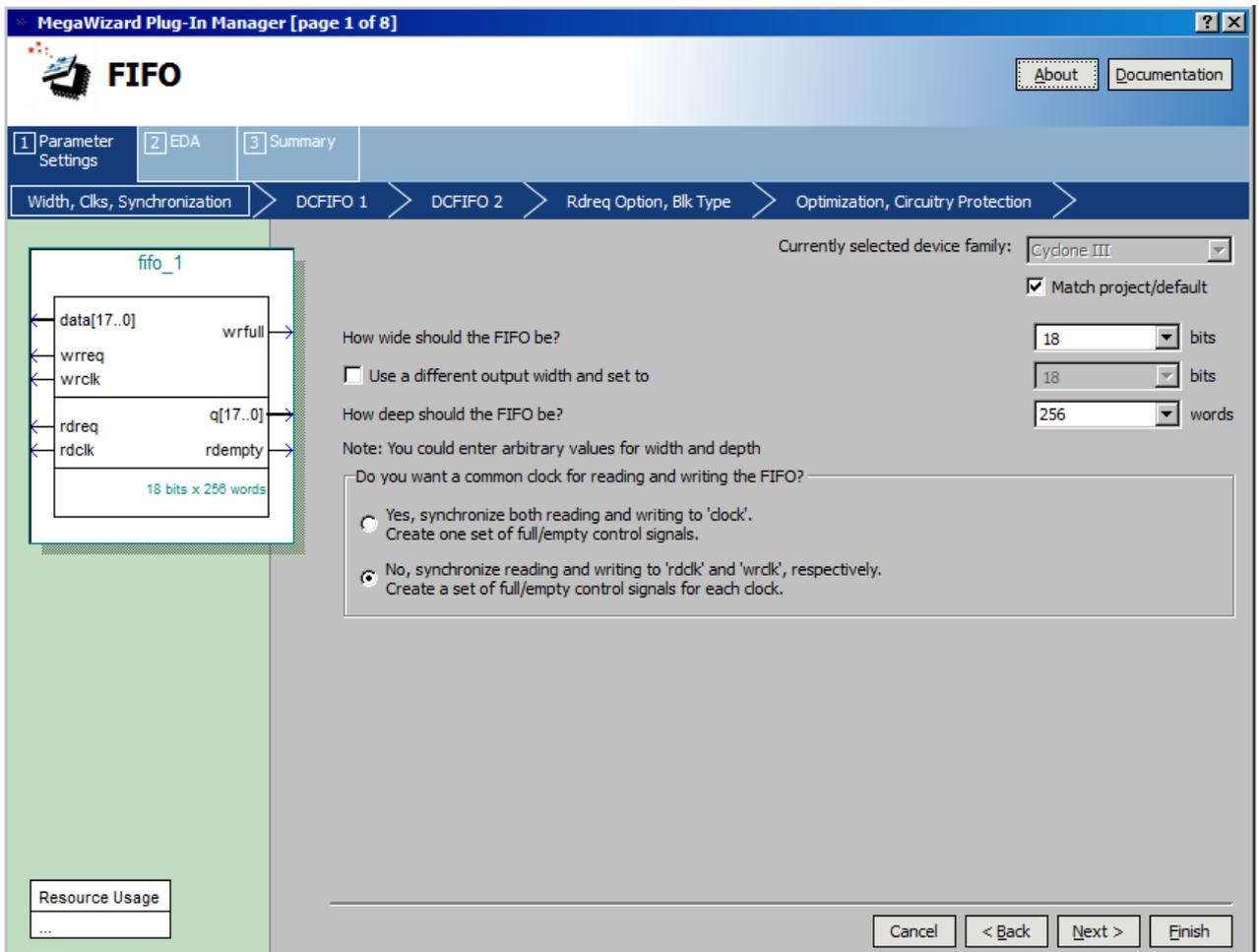


Рисунок 3.12 – Настройка FIFO шаг первый

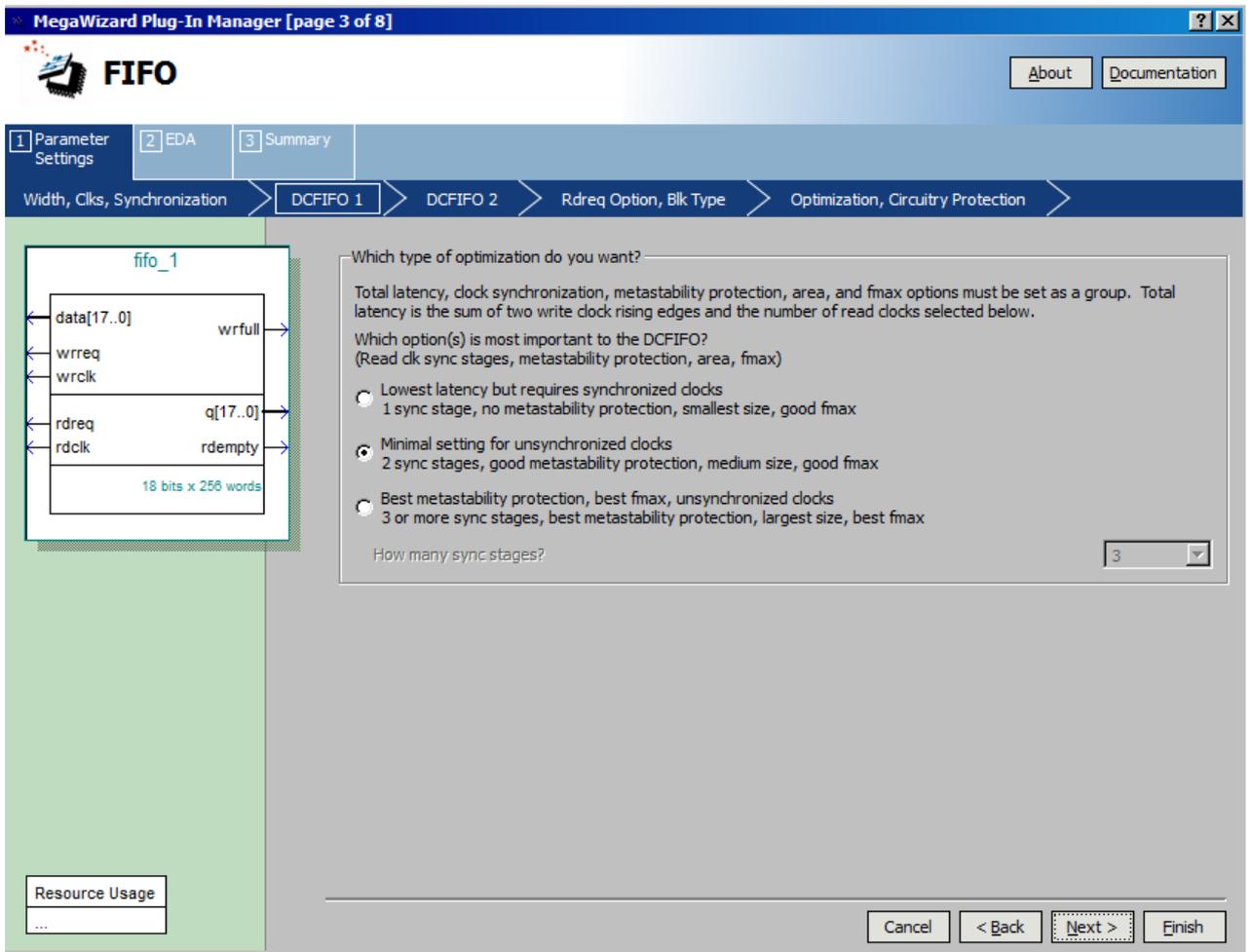


Рисунок 3.13 – Настройка FIFO шаг второй

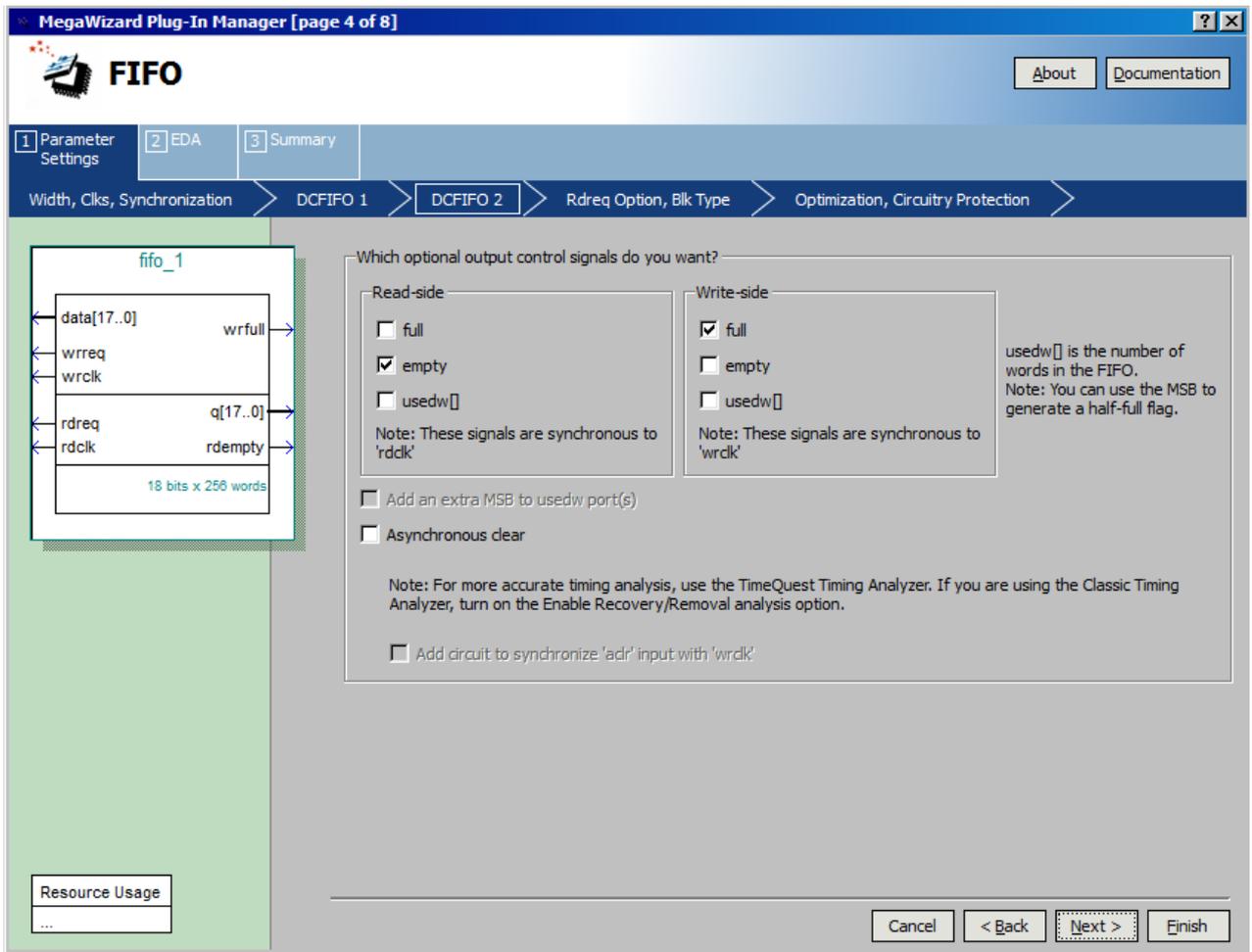


Рисунок 3.14 – Настройка FIFO шаг третий

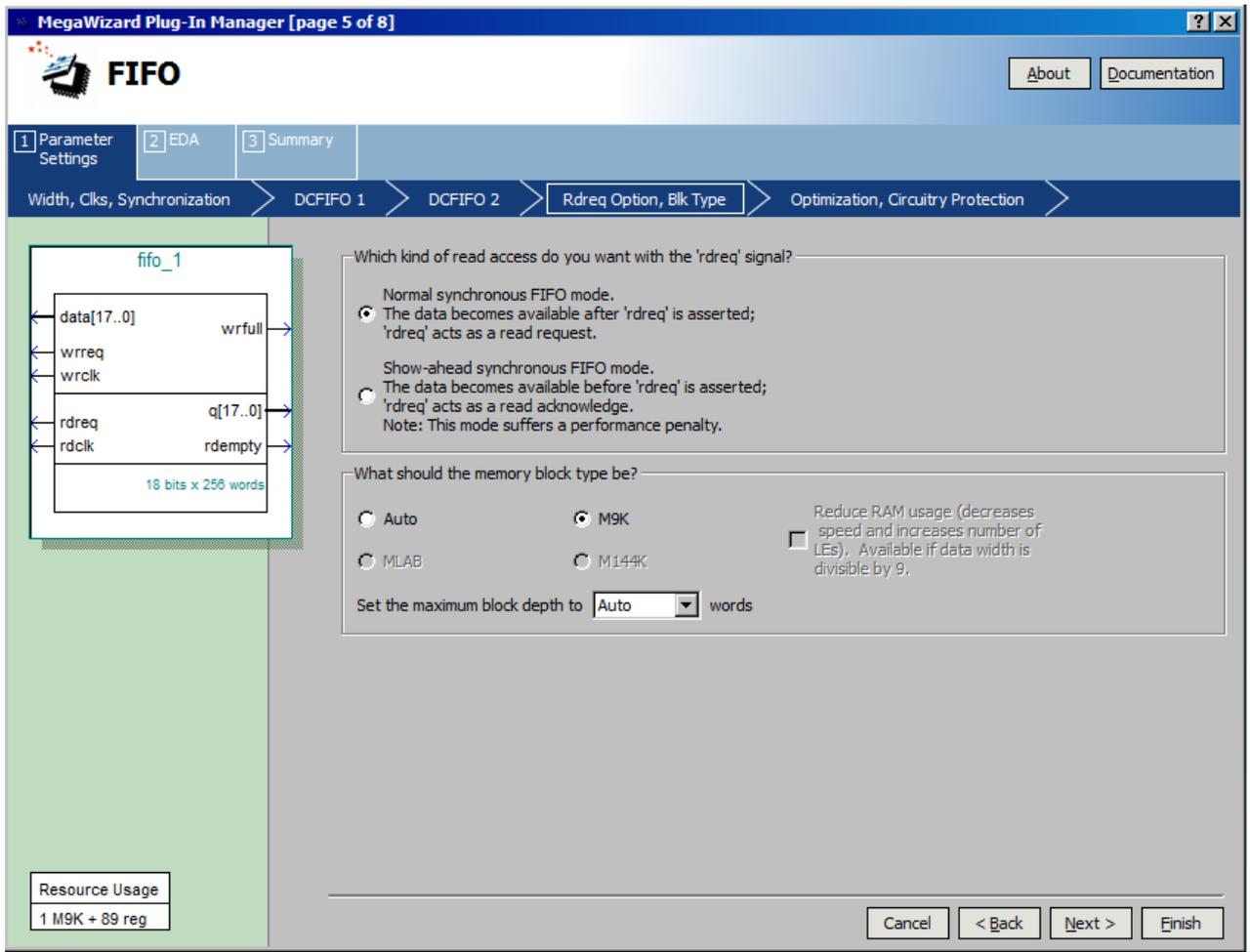


Рисунок 3.15 – Настройка FIFO шаг четвёртый

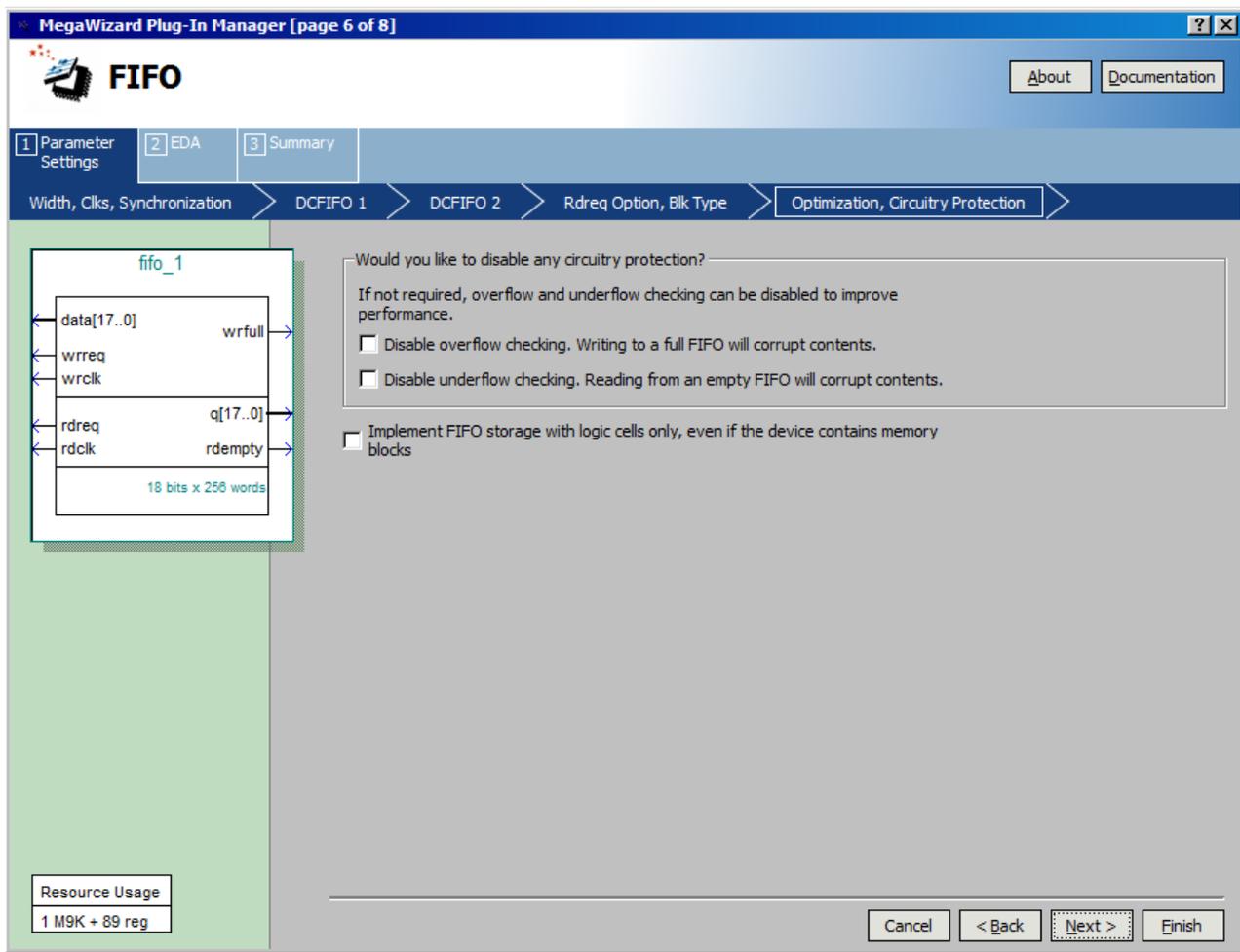


Рисунок 3.16 – Настройка FIFO шаг пятый

Указываем размерность слов и количество ячеек, так же предоставляется возможность задействовать различные сигналы, или сделать этот блок асинхронным. Размещаем FIFO в блоках памяти М9К.

Сдвиговые регистры были описаны одним программным модулем.

Для регистров проводился тест в программе ModelSim(рисунок 3.17).

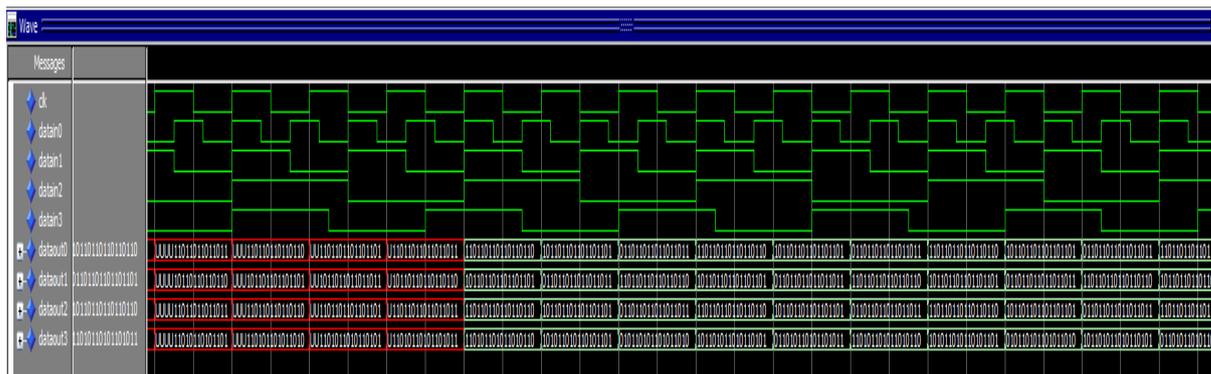


Рисунок 3.17 – Временные диаграммы сдвиговых регистров

### 3.5 Модули арифметической части

Модули возведения в квадрат и сложения написаны вручную, код на диске, однако, в библиотеках отсутствует описание операнда извлечения квадратного корня. Конечно, можно было бы реализовать такой модуль с помощью известных архитектур, однако это было бы гораздо более затратно по трудовым ресурсам и по ресурсам ПЛИС, вероятно, и задача оптимизации подобного модуля может напугать любого инженера. Поэтому лучше воспользоваться знакомым методом синтеза – мегафункцией.

#### 3.5.1 Модуль извлечения квадратного корня

Задаём параметр 40-битовый входной сигнал (рисунок 3.18) – это самая меньшая размерность из подходящих. Поэтому предварительно, к 37-битному сигналу, который должен идти на вход добавляем нулевые старшие биты, которые могут быть легко отброшены после извлечения корня. Вероятно, это связано с архитектурой этой функции. Компания Intel не сообщает, какая архитектура реализована внутри IP-ядра. Самый популярный вариант – с использованием 8-битных процессоров, это возможно реализовать на ПЛИС, но довольно ресурсозатратно. Скорее всего, это функция реализована таблично.

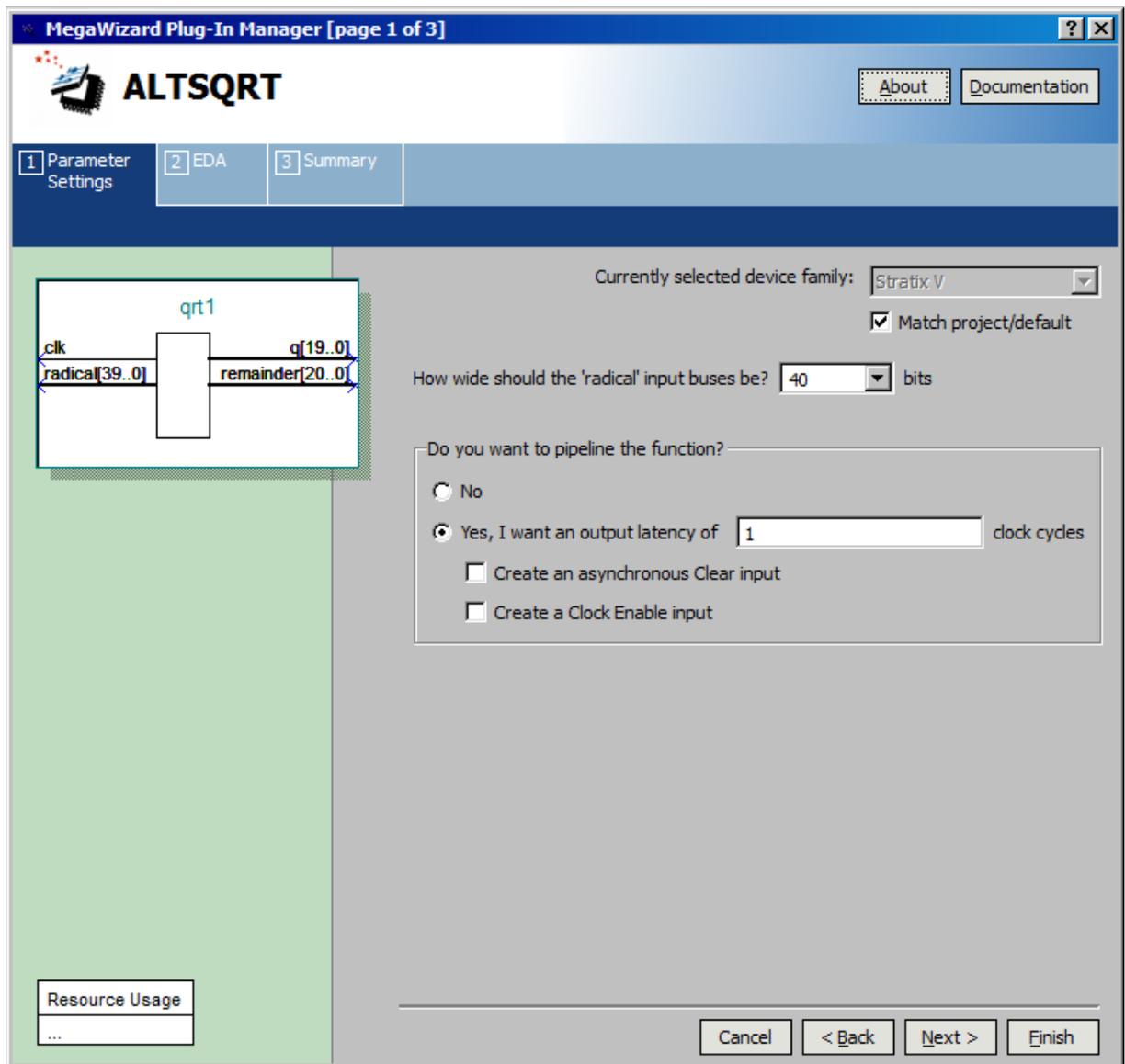


Рисунок 3.18 – Настройка модуля извлечения корня

### 3.5.2 Тест арифметических модулей

Для всех арифметических модулей был проведён один тест в ModelSim (рисунок 3.19).

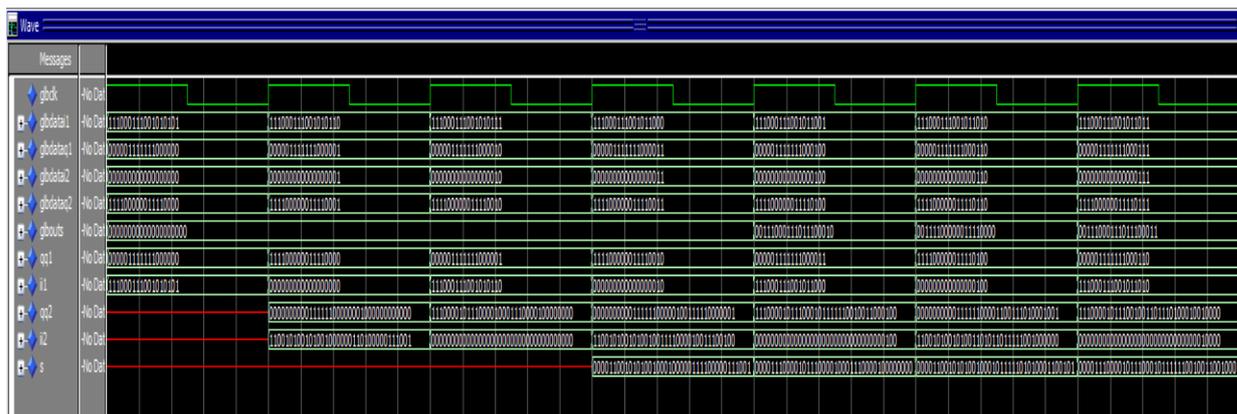


Рисунок 3.19 – Временные диаграммы после извлечения корня

На диаграммах видно, что модули работают правильно, есть неаддитивная задержка, которая учтена в логике работы программы.

### 3.6 Модуль увеличения частоты

Удивительно, на первый взгляд, сложный, этот модуль должен был обеспечивать корректную работу двух АЦП, принимая данные то с одного, то с другого АЦП, частота дискретизации которых 5 МГц, не допуская потери данных из-за расхождения частот, джиттера или аддитивных ошибок. По существу, этот модуль находится «глубоко» в коде, на его вход поступают фильтрованные 18-битные сигналы на частоте 5 МГц. Жёсткие требования к тактирующим сигналам внутри ПЛИС выполняет модуль PLL.

Значит, можно реализовать этот блок, как простой «ключ», работающий на большей частоте. То есть мультиплексор с одним управляющим входом. Этим входом будет управлять однобитовый счётчик, так же тактирующийся сигналом с частотой 10 МГц.

Модуль был описан кодом на языке VHDL.

### 3.7 Сопряжение с модулем обнаружителя

Модуль обнаружителя уже использовался в заводских разработках, он был написан на языке Verilog. Для использования в этом проекте он был немного отредактирован. А также добавлены специальные модули задержки и определения среднего значения в массиве, в обоих модулях используется двухпортовая память, в одном из них – компараторы (НЕ исключающее ИЛИ).

На вход этого модуля поступают задержанный сигнал, а также, определённое за это же время задержки, значение среднего уровня сигнала. Происходит сравнение сигнала со средним уровнем, при превышении этого уровня включается счётчик, который определяет ширину импульса, если она совпадает с определённой в ИКАО, то проверяется второй импульс, после чего происходит подтверждение приёма.

Ещё был дописан модуль, посылающий однобитовый сигнал ответчику, по заднему фронту которого, ответчик включается.

Для системы был написан специальный тест, где на вход подавались последовательности импульсов запроса дальности в ModelSim .

### 3.8 Ресурсы ПЛИС

Вся программа заняла 84% ПЛИС, самыми громоздкими оказались фильтры и модуль извлечения квадратного корня (рисунок 3.20).

Flow Summary	
Flow Status	EDA Netlist Writer Failed - Wed Aug 09 16:32:01 2017
Quartus II 64-Bit Version	11.0 Build 208 07/03/2011 SP 1 SJ Full Version
Revision Name	fil
Top-level Entity Name	filter_top
Family	Cyclone III
Device	EP3C25F256C6
Timing Models	Final
Total logic elements	20,771 / 24,624 ( 84 % )
Total combinational functions	12,929 / 24,624 ( 53 % )
Dedicated logic registers	19,213 / 24,624 ( 78 % )
Total registers	19213
Total pins	92 / 157 ( 59 % )
Total virtual pins	0
Total memory bits	1,656 / 608,256 ( < 1 % )
Embedded Multiplier 9-bit elements	4 / 132 ( 3 % )
Total PLLs	0 / 4 ( 0 % )

Рисунок 3.20 – Результат компиляции

Это является оптимальным использованием ресурсов ПЛИС, то, как планирует их расположить компилятор показано на рисунке 3.21.

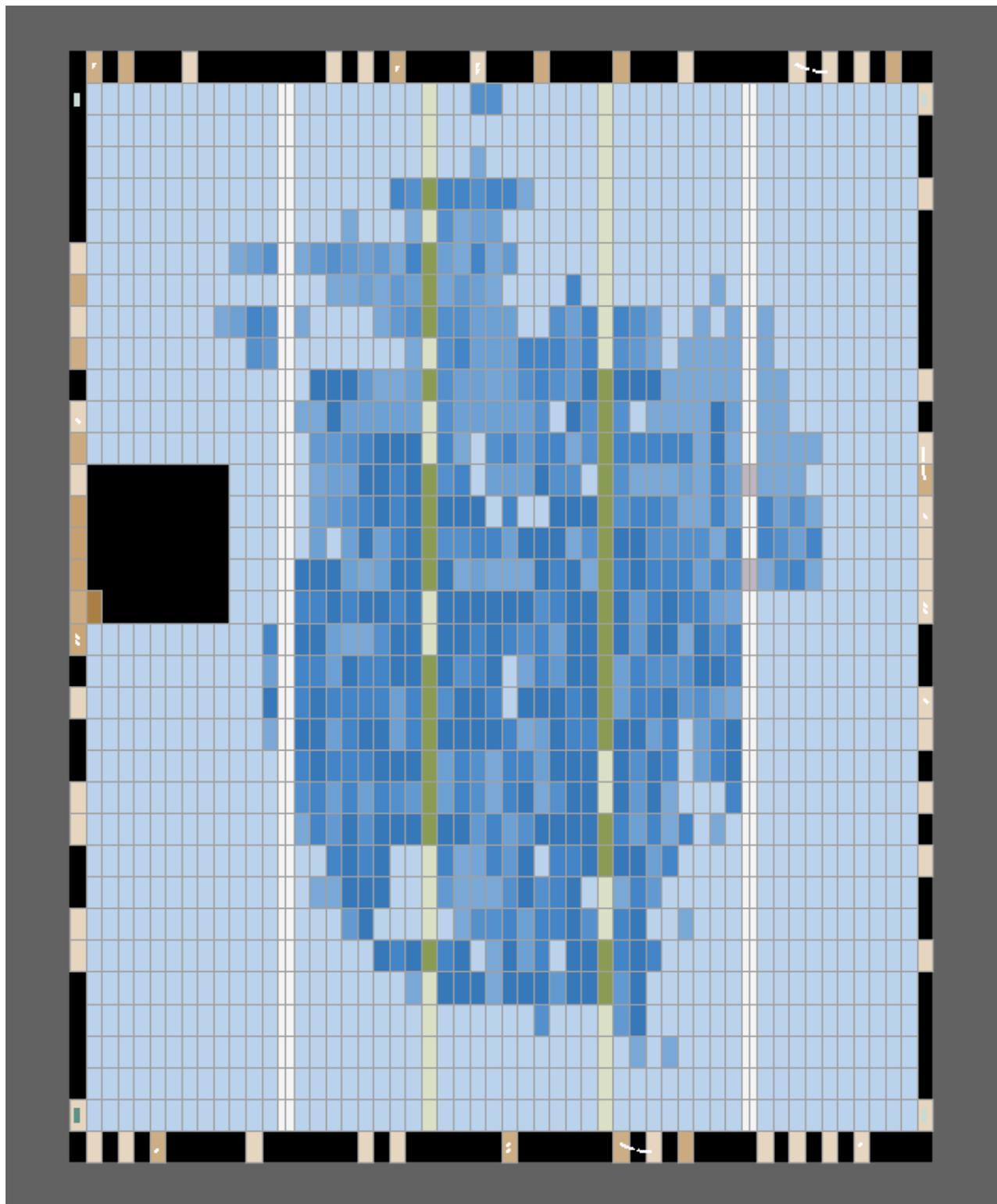


Рисунок 3.21 – План покрытия ПЛИС

## 4 Безопасность жизнедеятельности

### 4.1 Рекомендации по выбору помещения рабочего места

Согласно санитарно-эпидемиологические правилам и нормативам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, рекомендуется организовывать работу в помещениях с естественным освещением (в помещениях без естественного освещения допускается только при наличии расчетов, обосновывающих соответствие нормам естественного освещения и безопасность их деятельности для здоровья работающих). Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток.

Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7...0,8; для стен – 0,5...0,6; для пола – 0,3...0,5.

Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ.

#### 4.1.1 Требования к микроклимату, содержанию аэроионов и вредных химических веществ в воздухе на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

работ 1а и 1б в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.

Уровни положительных и отрицательных аэроионов в воздухе помещений, где расположены ПЭВМ, должны соответствовать СанПиН 2.2.4.1294-03 «Гигиенические требования к аэрионному составу воздуха». Содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.), не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с ГН 2.16.3492-17 «Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ».

#### 4.1.2 Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

При выполнении работ с использованием ПЭВМ в производственных помещениях уровень вибрации не должен превышать допустимых значений вибрации для рабочих мест (категория 3, тип "в") в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Нормативный уровень шума 80 дБА, согласно СанПиН 2.2.4.3359-16.

#### 4.1.3 Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300...500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м<sup>2</sup>.

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup> и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20. Показатель дискомфорта в административно-общественных помещениях – не более 40, в дошкольных и учебных помещениях – не более 15.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м<sup>2</sup>, защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1...5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования – 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенных.

Для освещения помещений с ПЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА). Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

При отсутствии светильников с ЭПРА лампы многоламповых светильников или рядом расположенные светильники общего освещения следует включать на разные фазы трехфазной сети.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов. При периметральном расположении компьютеров линии светильников должны располагаться локализовано над рабочим столом ближе к его переднему краю, обращенному к оператору.

Коэффициент запаса ( $K_3$ ) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4.

Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

#### 4.1.4 Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Все уровни электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ занесены в таблицу 4.1.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Таблица 4.1 - Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц...2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц ...400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц...2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц...400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

#### 4.1.5 Общие требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5...2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600...700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных

конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5...0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

#### 4.1.6 Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ для взрослых пользователей

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680...800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400...550 мм и углам наклона вперед до 15 град. и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки  $300 \pm 20$  мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах  $\pm 30$  градусов;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260...400 мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной – 50...70 мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах  $230 \pm 30$  мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350...500 мм.

Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100...300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

					<i>ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

## 4.2 Описание рабочего места

В помещении на моём рабочем месте окна соответствуют рекомендациям: они расположены сбоку (естественное боковое односторонне освещение), с северной стороны, снабжены жалюзи.

Для внутренней отделки стен использована светло-зелёная краска, на потолке белые панели.

Все рабочие места оборудованы защитным занулением. Отсутствует кондиционер, но есть отопление. Влажная уборка проводится дважды в неделю, а проветривание осуществляется два-три раза в день. Источники вибраций отсутствуют, из источников шума – только компьютеры, их шум не превышает допустимый.

Мой стол расположен так, что естественный свет падает слева на монитор компьютера (рисунок 4.1). Применяется общее равномерное искусственное освещение 16 светильниками по 4 люминесцентные лампы 18Вт.

Кроме проводов, кабелей и компьютеров, отсутствуют источники ЭМП.

Площадь помещения 70 м<sup>2</sup>, на каждое рабочее место отводится 14 м<sup>2</sup>, что превышает минимально допустимую площадь.

На схеме видно, что расстояние между столами удовлетворяет требованиям. Монитор находится на расстоянии примерно 600 мм от моего лица. Стол высотой 725 мм от пола, ширина 1200 мм, глубина 800 мм.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

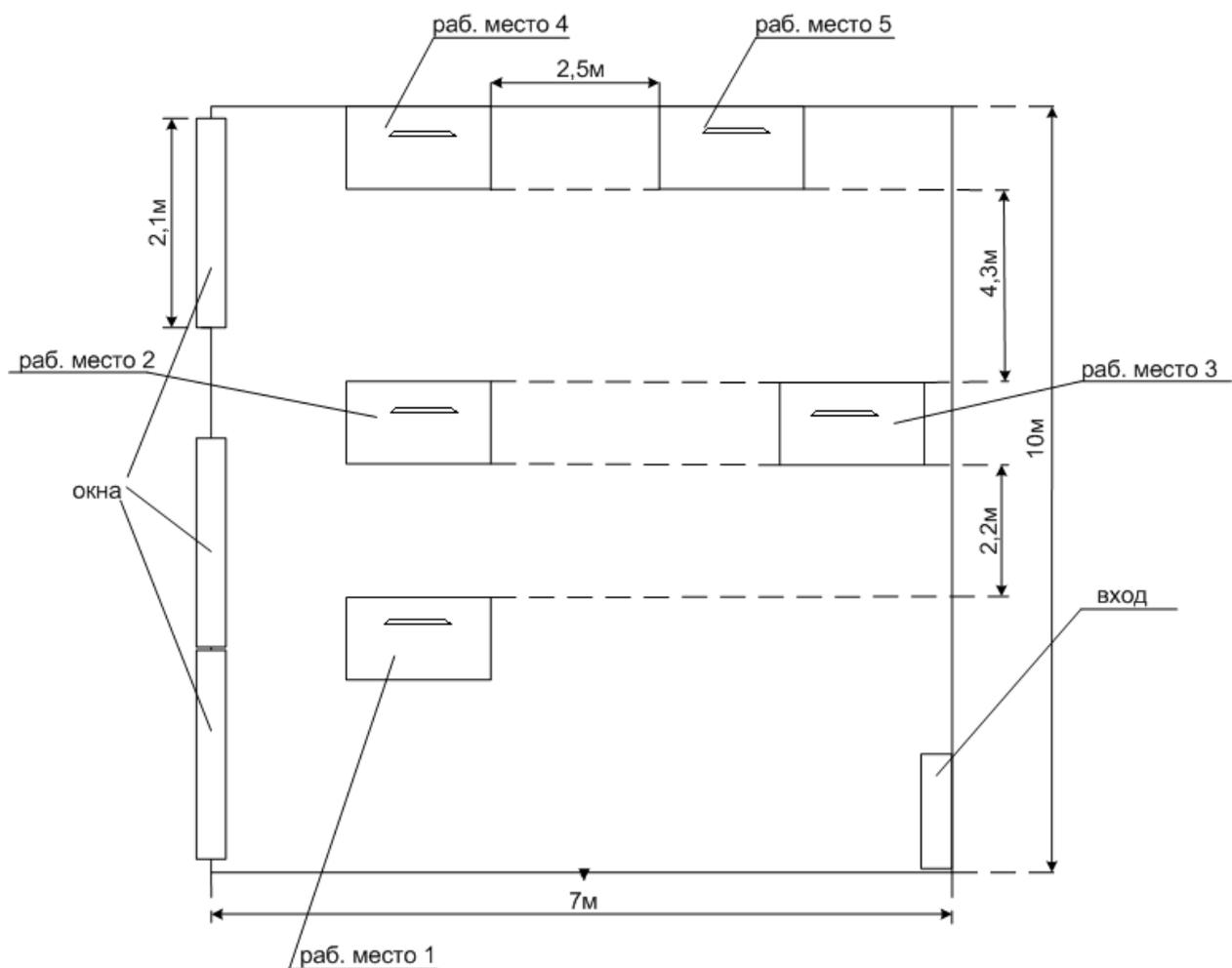


Рисунок 4.1 – Схема помещения рабочего места

Рабочий стул не регулируется по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. Но поверхность сиденья, спинки и других элементов стула полумягкая, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений. Ширина поверхности сиденья 400 мм, глубина – 500 мм. Высота опорной поверхности спинки – 320 мм, подлокотники отсутствуют.

Подставка для ног не предусмотрена.

Клавиатура располагается на расстоянии 300 мм от края стола.

Если возникнет пожар, то он будет отнесён к классу D, так как есть электроустановки. Для тушения могут быть использованы приёмы

охлаждения, изолирования, разбавления. Для тушения подойдёт, например: порошки, песок.

Предусмотрена пожарная сигнализация, внутренний телефонный номер для сообщения о возгорании, в коридоре есть огнетушитель.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

## 5 Организационно-экономический раздел

### 5.1 Техничко-экономическое обоснование

В данном дипломном проекте разработан цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка. Модуль не является самостоятельным устройством, это только составная часть приёмника, который вместе с ответчиком будет работать, как дальномерный радиомаяк.

В настоящее время завод производит дальномерные радиомаяки, работающие в режиме навигации и посадки. Они отвечают всем современным требованиям, и используют функционал, рекомендованный ИКАО.

Разрабатываемый радиомаяк не только дешевле старого, но также гораздо проще в обслуживании и производстве. Дополнительно имеет потенциал для дальнейшего расширения функционала, так как большинство функций выполняется на ПЛИС.

### 5.2 Расчёт временных параметров сетевого графика

Количество событий в СГ, включая исходное  $n_c = 22$ .

Количество работ в  $n_p = 29$ .

Коэффициент сложности  $k_c = n_p/n_c = 29/21 \approx 1,381$ .

Ожидаемая продолжительность работы  $t_{ij}$  в СГ рассчитывается по принятой двухоценочной методике, исходя из минимальной  $t_{ij_{min}}$  и максимальной  $t_{ij_{max}}$  оценок продолжительности, задаваемых ответственным исполнителем каждой работы. При этом предполагается, что минимальная оценка соответствует наиболее благоприятным условиям работы, а максимальная – наиболее неблагоприятным.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Ожидаемая продолжительность складывается из 0,6 минимальной и 0,4 максимальной продолжительностей:

$$t_{ijож} = 0,6 \cdot t_{ijмакс} + 0,4 \cdot t_{ijмин}. \quad (5.1)$$

Рассчитанные значения ожидаемой продолжительности работы сведены в таблицу 5.1 индивидуального перечня работ.

Таблица 5.1- Перечень работ и параметры СГ

код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн.			Исполнители, чел.			С.К.О. Дн.	Дисперсия. дн <sup>2</sup>
		мин.	макс.	ожид.	рук.	инж.	лаб.		
0,1	Получение и анализ задания на разработку	1	1	1	-	1	-	0,0	0,00
1,2	Подбор литературы по БЖД	1	1	1	-	1	1	0,0	0,00
1,4	Подбор и анализ технической литературы	3	6	5	-	1	1	0,6	0,36
2,3	Разработка требуемых мероприятий по БЖД	1	1	1	-	1	-	0,0	0,00
3,4	Обустройство рабочего места в соответствии с требованиями БЖД	1	2	2	-	1	1	0,2	0,04
4,5	Выявление современных аналогов, включая зарубежные	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
4,7	Разработка общей логики работы устройства	8	11	10	1	1	-	0,6	0,36
5,6	Подбор технической документации	1	3	2	-	1	1	0,4	0,16
6,7	Выявление удачных технических решений	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
7,8	Сравнение комплектующих, подбор	4	7	6	-	1	1	0,6	0,36
7,10	Детальное изучение аппаратных и программных возможностей ПЛИС и АЦП	7	9	8	1	1	-	0,4	0,16
7,14	Написание программы для фильтрации	3	7	5	-	1	-	0,8	0,64
8,9	Составление структурной схемы	5	6	6	-	1	-	0,2	0,04
9,10	Разработка протоколов взаимодействия ПО для АЦП и ПЛИС	5	6	6	-	1	-	0,2	0,04
10,11	Разработка арифметических программных блоков	5	6	6	1	1	-	0,2	0,04
10,12	Разработка служебных программных блоков	4	5	5	1	1	-	0,2	0,04
10,13	Разработка частотных программных блоков	4	5	5	1	1	-	0,2	0,04

Продолжение таблицы 5.1

код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн.			Исполнители, чел.			С.К.О. Дн.	Дисперсия. дн <sup>2</sup>
		мин.	макс.	ожд.	рук.	инж.	лаб.		
11,14	Написание программы ПЛИС	12	18	16	-	1	-	1,2	1,44
12,15	Тестирование фильтрующего блока	12	17	15	-	1	1	1,0	1,00
13,15	Тестирование и отладка программы ПЛИС	12	17	15	-	1	1	1,0	1,00
14,16	Оценка дополнительных компонентов для электрической схемы	2	4	3	-	1	1	0,4	0,16
15,16	Составление схемы электрической принципиальной	2	4	3	-	1	1	0,4	0,16
16,17	Отладка работы устройства	1	3	2	-	1	1	0,4	0,16
17,18	Написание пояснительной записки	15	20	18	-	1	-	1,0	1,00
17,19	Расчет экономической части	1	2	2	1	1	-	0,2	0,04
17,20	Подготовка презентации	2	4	3	-	1	-	0,4	0,16
18,20	Приведение ПЗ в соответствие с требованиями ЕСКД	2	5	4	-	1	1	0,6	0,36
19,20	Расчет показателей эффективности	1	1	1	-	1	-	0,0	0,00
20,21	Сдача дипломного проекта	1	1	1	-	1	-	0,0	0,00

Поздний срок начала работы  $T_{пнij}$  можно получить, если из позднего срока свершения ее конечного события вычесть ее ожидаемую продолжительность. Ранний срок окончания  $T_{poj}$  работы образуется прибавлением ее продолжительности к раннему сроку свершения ее начального события. Поздний срок окончания работы  $T_{поij}$  совпадает с поздним сроком свершения ее конечного события. Для всех работ критического пути, как не имеющих резервов времени, ранний срок начала совпадает с поздним сроком начала, а ранний срок окончания - с поздним сроком окончания. Работы, не лежащие на критическом пути, обладают резервами времени. Полный резерв времени работы  $R_{пij}$  образуется вычитанием из позднего срока свершения ее конечного события раннего срока свершения ее начального события и ее ожидаемой

продолжительности. В соответствии с правилами расчета и занесем результаты в таблицу 5.2

Таблица 5.2 – Параметры событий сетевого графика

№ события	Сроки свершения		Резерв времени	№ события	Сроки свершения		Резерв времени
	ранний	поздний			ранний	поздний	
0	0	0	0	11	40	40	0
1	1	1	0	12	39	41	2
2	2	3	1	13	39	41	2
3	3	4	1	14	56	56	0
4	6	6	0	15	54	56	2
5	9	10	1	16	59	59	0
6	12	13	1	17	61	61	0
7	16	16	0	18	79	79	0
8	22	22	0	19	63	82	19
9	28	28	0	20	83	83	0
10	34	34	0	21	84	84	0

### 5.3 Расчет параметров работ сетевого графика

Частный резерв времени работы первого рода  $R_{чij}^I$  равен разности поздних сроков свершения ее конечного и начального событий за вычетом ее ожидаемой продолжительности.

Частный резерв времени работы второго рода  $R_{чij}^{II}$  равен разности ранних сроков свершения ее конечного и начального событий за вычетом ее ожидаемой продолжительности.

Свободный (независимый) резерв времени работы  $R_{сij}$  образуется вычитанием из раннего срока свершения ее конечного события позднего срока свершения ее начального события и ее ожидаемой продолжительности. Свободный резерв времени может быть отрицательным.

Критический путь  $L_{кр}$  в СГ проходит через события и работы, не обладающие резервами времени, и имеет, следовательно, максимальную продолжительность  $t_{кр}$ , равную сроку свершения завершающего события. Продолжительность критического пути соответствует математическому ожиданию срока свершения завершающего события, равного сумме ожидаемых продолжительностей работ, составляющих критический путь.

Правильность расчета резервов времени работы можно проверить по следующим соотношениям:

- сумма полного и свободного резерва работы равна сумме двух частных ее резервов;

- поздний и ранний сроки начала работы, а также поздний и ранний сроки ее окончания всегда отличаются на величину ее полного резерва.

Для работ, лежащих на критическом пути, никаких резервов времени нет и, следовательно, коэффициент напряженности  $kn_{ij}$  таких работ равен единице. Такие работы выделены темным цветом в таблице. Если работа не лежит на критическом пути, она располагает резервами времени и ее коэффициент напряженности меньше единицы. Его величина подсчитывается как отношение суммы продолжительностей отрезков максимального пути, проходящего через данную работу, не совпадающих с критическим путем  $t_{немаксij}$ , к сумме продолжительностей отрезков критического пути, не совпадающих с максимальным путем, проходящим через эту работу  $t_{некрij}$ . Рассчитанные значения сведены в таблице 5.3. Сетевой график изображен на рисунке 5.1

Таблица 5.3 – Параметры работ сетевого графика

Код работы	Ожидаемая Продолжительность	Сроки начала		Сроки окончания		Резервы времени				Кэфф. Напряженности
		Ранний	Поздний	Ранний	Поздний	Полный	Частный 1 рода	Частный 2 рода	Свободный	
0,1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1,00
1,2	1	1	2	2	3	1	1	0	0	0,80
1,4	5	1	1	6	6	0	0	0	0	1,00
2,3	1	2	3	3	4	1	0	0	-1	0,80
3,4	2	3	4	5	6	1	0	1	0	0,80
4,5	3	6	7	9	10	1	1	0	0	0,90
4,7	10	6	6	16	16	0	0	0	0	1,00
5,6	2	9	11	11	13	2	1	1	0	0,90
6,7	3	12	13	15	16	1	0	1	0	0,90
7,8	6	16	16	22	22	0	0	0	0	1,00
7,10	8	16	26	24	34	10	10	10	10	0,44
7,14	5	16	51	21	56	35	35	35	35	0,13
8,9	6	22	22	28	28	0	0	0	0	1,00
9,10	6	28	28	34	34	0	0	0	0	1,00
10,11	6	34	34	40	40	0	0	0	0	1,00
10,12	5	34	36	39	41	2	2	0	0	0,92
10,13	5	34	36	39	41	2	2	0	0	0,92
11,14	16	40	40	56	56	0	0	0	0	1,00
12,15	15	39	41	54	56	2	0	0	-2	0,92
13,15	15	39	41	54	56	2	0	0	-2	0,92
14,16	3	56	56	59	59	0	0	0	0	0,92
15,16	3	54	56	57	59	2	0	2	0	1,00
16,17	2	59	59	61	61	0	0	0	0	1,00
17,18	18	61	61	79	79	0	0	0	0	1,00
17,19	2	61	80	63	82	19	19	0	0	0,25
17,20	3	61	80	64	83	19	19	19	19	0,25
18,20	4	79	79	83	83	0	0	0	0	1,00
19,20	1	63	82	64	83	19	0	19	0	0,25
20,21	1	83	83	84	84	0	0	0	0	1,00

Работы с коэффициентом напряженности  $K_n < 0,5$  попадают в резервную зону, с  $K_n > 0,8$  – в критическую, с  $0,5 < K_n < 0,8$  – в промежуточную.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

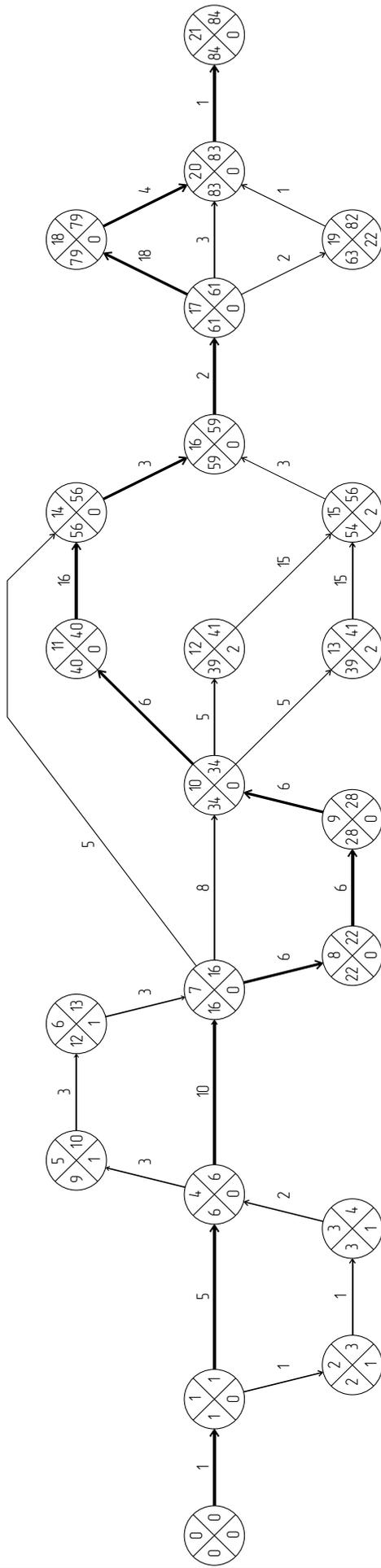


Рисунок 6.1 – Сетевой график

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

#### 5.4 Расчёт стоимостных параметров сетевого графика

Введём должностные оклады персонала и вычислим коэффициенты перерасчёта. Результаты занесем в таблицу 5.4

Таблица 5.4 — Должностные оклады персонала и коэффициенты перерасчёта

Категория персонала	Месячный оклад, руб./мес.		
Руководитель	30000	Коэффиц. Руководителя	2
Инженер	15000	Коэффиц. инженера	1,00
Лаборант	10000	Коэффиц. лаборанта	0,66

Статьи затрат на проектирование предоставлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 — Затраты на проектирование

Наименование	Стоимость затрат, руб.
Основная заработная плата инженера	15000
Дополнительная заработная плата	1500
Отчисления на соцстрахование	4290
Стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов	9000
Накладные расходы	3000
Командировочные расходы	3000
Контрагентские услуги сторонних организаций	3000
Стоимость оборудования и приборов	6500
Итого:	39890

Рассчитаем трудоёмкость и сметную стоимость работ СГ, результаты занесём в таблицу 5.6.

Приведённая численность (инж.) рассчитывается так:

$$Ч = Ч_{рук} \cdot k_{рук} + Ч_{инж} + Ч_{лаб} \cdot k_{лаб}. \quad (5.2)$$

Приведённая трудоёмкость (инж-дн.):

$$T = Ч \cdot t_{ижож}. \quad (5.3)$$

Среднедневная зарплата инженера (руб./дн.):

$$C = \frac{З_{осн} + З_{доп}}{24} = 833,33. \quad (5.4)$$

Среднедневные прочие затраты (руб.):

$$C_3 = \frac{\sum \text{всех статей затрат} - З_{осн} - З_{доп}}{24} = 828,75. \quad (5.5)$$

Стоимость одного инж-дня (руб./дн.):

$$C_{и/д} = \frac{\sum \text{всех статей затрат}}{24} = 1662,08. \quad (5.6)$$

Сметная стоимость работы (руб.):

$$C_{см} = C_{и/д} \cdot T. \quad (5.7)$$

Таблица 5.6 – Трудоёмкость и сметная стоимость работ СГ

Код работы	Ожидаемая продолжительность, дни	Категория персонала			Приведенная численность	Приведенная трудоемкость,	Сметная стоимость работ, руб
		Рук.	Инж.	Лаб.			
0,10	1	0	1	0	1,00	1,00	1662,08
1,20	1	0	1	1	2,67	2,67	1662,08
1,40	5	0	1	1	2,67	13,35	8310,40
2,30	1	0	1	0	1,00	1,00	1662,08
3,40	2	0	1	1	2,67	5,34	3242,16
4,50	3	0	1	0	1,00	3,00	4968,24
4,70	10	1	1	0	1,42	14,20	16620,8
5,60	2	0	1	1	2,67	5,34	3242,16
6,70	3	0	1	0	1,00	3,00	4968,24
7,80	6	0	1	1	2,67	16,02	22564,70
7,10	8	1	1	0	1,42	11,36	11796,64
7,14	5	0	1	0	1,00	5,00	8310,40
8,90	6	0	1	0	1,00	6,00	9972,48
9,10	6	0	1	0	1,00	6,00	9972,48
10,11	6	1	1	0	1,42	8,52	9972,48
10,12	5	1	1	0	1,42	7,10	8310,40
10,13	5	1	1	0	1,42	7,10	8310,40
11,14	16	0	1	0	1,00	16,00	13458,72
12,15	15	0	1	1	2,67	40,05	11796,64
13,15	15	0	1	1	2,67	40,05	11796,64
14,16	3	0	1	1	2,67	8,01	4968,24
15,16	3	0	1	1	2,67	8,01	4968,24
16,17	2	0	1	1	2,67	5,34	3242,16
17,18	18	0	1	0	1,00	18,00	16782,88
17,19	2	1	1	0	1,42	2,84	3242,16
17,20	3	0	1	0	1,00	3,00	4968,24
18,20	4	0	1	1	2,67	10,68	6648,32
19,20	1	0	1	0	1,00	1,00	1662,08
20,21	1	0	1	0	1,00	1,00	1662,08

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Итого 262608,60.

### 5.5 Расчет затрат на разработку, внедрение и применение проекта

Расчет суммарных затрат на проект и производство продукции производится по следующей формуле:

$$Z_{\text{сум}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{вн}} + Z_{\text{пп}}, \quad (5.8)$$

где  $Z_{\text{пр}}$  — затраты на разработку технической документации проекта;

$Z_{\text{вн}}$  — затраты на внедрение проекта. Это деньги, которые придется потратить на приобретение материальных элементов необходимых для технической реализации проекта и заработная плата работников, занятых на монтаже, отладке и пуске разработанного объекта или устройства;

$Z_{\text{пп}}$  — затраты на производство готовой продукции.

Затраты на внедрение проекта

$$Z_{\text{вн}} = Z_{\text{зм}} + Z_{\text{зп}}, \quad (5.9)$$

где  $Z_{\text{м}}$  — затраты на приобретение материальных элементов (деталей, узлов, комплектующих), которые будут необходимы для создания разработанного объекта или устройства;

$Z_{\text{зп}}$  — затраты на заработную плату работников, которые будут внедрять проект. Данные затраты принимаем как 40% от материальных затрат:  $Z_{\text{зп}} = 0,4 \cdot Z_{\text{м}}$ .

Стоимости деталей и материалов для изготовления разрабатываемого устройства представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Стоимость деталей и материалов

Наименование	Стоимость, руб.
Радиоэлементы (включая провода и кабели)	12359
Лист текстолита с двухсторонним медным покрытием	700
Припой ПОС-60	500
Корпус устройства (металл + пластик)	3000
Итого:	16559

Таким образом, затраты на внедрение

$$Z_{\text{вн}} = 13559 + (16559 \cdot 0,4) = 21982,6 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

Затраты на производство готовой продукции (себестоимость) принимаются по данным предприятия:

$$Z_{\text{пп}} = 80478 \text{ руб.} \quad (5.11)$$

Суммарные затраты:

$$Z_{\text{сум}} = 262608,6 + 21982,6 + 80478 = 365078 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

6.6 Расчет величины экономического эффекта и срока окупаемости проекта

Экономический эффект от реализации одного устройства обусловлен снижением затрат на производство нового устройства по сравнению со старым:

$$Э = (C_{\text{стар}} - C_{\text{нов}}) \cdot Q \quad (5.13)$$

где  $Q$  — число экземпляров устройства, производимой за год;

$C$  — себестоимость устройства.

В старом КО функции устройства УФО выполняют 3 узла, суммарная себестоимость которых оценивается в 193622 руб. За год планируется произвести 3 экземпляра КО.

Теперь можно вычислить срок окупаемости.

$$T_{\text{ок}} = \frac{Z_{\text{пр}} + Z_{\text{вн}}}{Э} = \frac{365078 + 80478}{339430,32} \approx 1,32 \text{ лет.} \quad (5.14)$$

Дополнительным аргументом в пользу экономической целесообразности данной разработки является также и то, что устройство обладает большим потенциалом для расширения функционала при относительно малых затратах вследствие того, что основная логика работы устройства реализована программными, а не аппаратными средствами.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта был разработан цифровой модуль приёмника прямого преобразования дальномерного радиомаяка. Требуемый алгоритм был реализован на ПЛИС. Некоторые модули остались незадействованными, вероятно, они будут использоваться в перспективе.

Следующим этапом разработки этого модуля станет работа над конструкторской частью схемы модуля, а также тестирование программ на отладочной плате.

Особых проблем не должно возникнуть – везде была использована синхронная логика, все программные решения были выбраны из широко применяемых и актуальных. Разработка велась в соответствии с рекомендациями компании Altera (Intel) и технической документацией на каждую микросхему.

Так как все функции были реализованы с помощью программирования, у модуля большой потенциал.

В разделе безопасности жизнедеятельности были проанализированы условия труда.

В организационно-экономическом разделе были рассчитаны основные экономические показатели.

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исторические сведения о ЧРЗ Полёт - <http://www.polyot.ru/news/215/>.
2. Авиационные радионавигационные устройства и системы/ Под ред. М.С.Ярлыкова.- М.: ВВИА, 1980. – 384 с
3. Статья о приемниках прямого преобразования - <http://www.findpatent.ru/patent/247/2477571.html>
4. Статья об архитектурах АЦП - <https://habr.com/post/125029/>
5. Документация на компоненты и программное обеспечение ф. Altera — <http://altera.com>
6. U.A.Bakshi, A.P.Godse. Analog And Digital Electronics — Technical Publications, 2009 — 940 с.
7. Cyclone III Device Handbook, Vol. 1, 2. — © 2008 Altera Corporation. — 800 с.
8. Ардиззони Дж., Пирсон Дж. Правила поведения на дорогах для высокоскоростных дифференциальных драйверов АЦП. Пер. с англ.: Трошкова Е. — Журнал Компоненты и Технологии №11 '2009.
9. Документация на компоненты ф. Analog Devices — <http://analog.com>
10. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 800 с.: ил.
11. +Цифровая схемотехника и архитектура компьютера/Cарра Л. Харрис и Дэвид М Харрис/Morgan Kaufman English Edition 2013 — 1662 с.
- 12.Боброва А. Ф., Баев Л. А., Лелекова С. Ю. Экономическое обоснование дипломных проектов: Учебное пособие. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. — 19 с.: ил.
- 13.НПБ 105-03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

14. СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

15. СанПин 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов».

					ЮУрГУ – Д.11.05.01.2019.305.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81