

67 4431 7000

Утвержден

ЦИВР.462414.007 РЭ-ЛУ

**РАДИОЛОКАТОР МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
ДОПЛЕРОВСКИЙ ДМРЛ-10**

Руководство по эксплуатации

Часть 3

Описание и работа составных частей

Аппаратура обработки ДМРЛ-10

ЦИВР.462414.007 РЭ2

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Содержание

1	Описание и работа системы обработки	4
1.1	Общие сведения	4
1.2	Основные технические характеристики системы ПОИ.....	5
1.2.1	Характеристики аналогово-цифрового преобразования:	5
1.3	Описание и работа	9
1.4	Электрические параметры системы обработки	34
1.4.1	Параметры входных сигналов	34
1.4.2	Параметры выходных сигналов	34
1.4.3	Электропитание аппаратуры обработки.....	35
1.5	Блок 534BK01	36
1.5.1	Процессорный модуль CP6002-R1-1.5-2G	37
1.5.2	Модуль CM-cPCI-V4	41
1.5.3	Модуль тыльного ввода-вывода RTM-CM-cPCI-V4-DMRL.....	41
1.5.4	Модуль тыльного ввода-вывода RTM-ADP201cP5.....	41
1.6	Ячейка Д2ПУ080	42
1.7	Консольная панель RACKMUX-V17-4USB.....	42
1.8	Коммуникатор UC-7110-LX	43
1.9	Система синхронизации и времени	43
1.9.1	Субблок 973ВБ01	43
1.9.2	Ячейка Д2ВБ010.....	44
	Перечень принятых сокращений	45

Перв. примен.	ЦИВР.462414.007
Справ. №	

Подп. и дата	
--------------	--

Инв. № дубл.	
--------------	--

Взам. инв. №	
--------------	--

Подп. и дата	
--------------	--

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					

Разраб.	Пушков			
Пров.	Вовшин			
Н. контр.				
Утв.	Вылегжанин			

<h3 style="margin: 0;">ЦИВР.462414.007 РЭ2</h3>									
Радиолокатор метеорологический доплеровский ДМРЛ-10 Руководство по эксплуатации Часть 3 Описание и работа составных частей Аппаратура обработки ДМРЛ-10						Лит.	Лист	Листов	
						2	47		

Настоящая часть руководства содержит сведения о составе, назначении и описание принципов работы системы обработки информации ДМРЛ-10 (кроме вторичной метеообработки), а также их составных частей и предназначена для ознакомления с их конструкцией, основными параметрами и характеристиками, необходимыми в процессе эксплуатации ДМРЛ-10.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
ЦИВР.462414.007 РЭ2				Лист
				3

1 Описание и работа системы обработки

1.1 Общие сведения

Система обработки РЛИ выполнена в виде программно-аппаратного комплекса. Возлагаемые задачи распределены между составными элементами и решаются на аппаратном и программном уровнях. Аппаратный комплекс обеспечивает физический канальный уровень взаимодействия с сопрягаемой аппаратурой. А выполнение алгоритмов обработки информации и информационного обмена с аппаратурой реализуется программными методами.

Система обработки информации состоит из двух функциональных частей:

- система первичной обработки радиолокационной информации (ПОИ);
- автоматизированная система контроля и управления (АСКУ).

Система ПОИ предназначена для выполнения следующих функций по обработке принятых сигналов с выхода приемного устройства ДМРЛ-10:

- преобразования аналоговых сигналов на промежуточной частоте $f_{пр} = 60$ МГц в цифровой 16-разрядный код;
- получения квадратурных составляющих (I_1Q) цифровых сигналов (фазового детектирования);
- согласованной фильтрации простых (МОНО) сигналов фильтрами низкой частоты (ФНЧ);
- согласованной фильтрации (сжатия) сложных ступенчато-фазовых модулированных (НЧМ) сигналов;
- вычисления отражаемости МО по измеренным значениям отношения сигнал/шум;
- вычисления средней радиальной скорости метеобъектов (МО);
- вычисления ширины спектра межпериодных флюктуаций МО;
- осреднения вычисленных значений указанных параметров в секторе 1° по азимуту и выбранной дальности;
- критерийной пороговой обработки;
- определения дальности и азимутального угла обнаруженных МО;
- управления ШАРУ в приемном устройстве;

Ив. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Ив. № дубл.	Подп. и дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

- устранения мешающих отражений от местных предметов и подстилающей поверхности;
- «сшивания» отметок сигналов МОНО и НЧМ;
- «сшивания» сигналов от двух приёмных устройств с целью расширения динамического диапазона;
- выдачи координатных отметок на аппаратуру ВОИ;
- реализации технологической программы «Цифровой осциллограф» и отображения ее результатов на консоли ДМРЛ-10.

АСКУ предназначена для:

- управления порядком включения устройств, входящих в состав РЛК;
- управления режимами работы РЛК;
- сбора и визуального отображения информации о состоянии аппаратуры РЛК (авария, неисправность) на экране монитора шкафа;
- формирования сводных данных о состоянии аппаратуры и передачи их на УУВК;
- приема азимутальных и угломестных сигналов от блока управления антенной;
- выдачи последовательных кодов формирования радиоимпульсов, кода начала запуска, кода контроля и регулирования СКР, кода пилот-сигналов ППС и кода управления аттенюаторами на ячейку Д2ХК257 формирования радиоимпульсных сигналов на промежуточных частотах приёмной системы.

Обмен информацией о техническом состоянии и командами управления с устройствами автоматизированной системы управления и контроля (АСКУ) выполняется по последовательному каналу обмена стандарта RS-485.

1.2 Основные технические характеристики системы ПОИ

Основными техническими характеристиками системы ПОИ являются:

1.2.1 Характеристики аналогово-цифрового преобразования:

- а) разрядность знакового АЦП, бит 16;
- б) частота дискретизации, МГц 80;

Инв. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						5

в 1-градусном секторе, не более 2000, что соответствует дальности 250 км;

–точность измерения отражаемости, дБZ, не хуже 1.

1.2.4 Измерение скоростных параметров МО

В доплеровском режиме работы ДМРЛ-10 АПОИ обеспечивает:

–точность измерения средней радиальной скорости МО,
не хуже, м/с 0,5;

–измерение ширины спектра междупериодных флюктуаций,
в пределах, м/с 0 – 8;

–количество обрабатываемых элементов дистанции, не более 1000,

что соответствует дальности 125 км.

1.2.5 Состав выходной информации

По согласованному протоколу сопряжения АПОИ выдаёт в УУВК кодограммы, содержащие информацию о следующих усреднённых параметрах:

- отражаемости МО;
- средней радиальной скорости МО;
- ширине спектра флюктуаций МО;

а также данные об азимуте, дальности и угле места.

В состав системы обработки информации входят:

- специальный вычислитель блок 534BK01 1 шт.;
- субблок 973VB01 1 шт.;
- коммуникатор UC-7110-LX 3шт.;
- устройство распределения питания 60110-202 1 шт.;
- ячейка Д1ПУ080 1 шт.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	7

ЦИВР.462414.007 РЭ2

На рисунке 1 приведена структурная схема аппаратуры обработки.

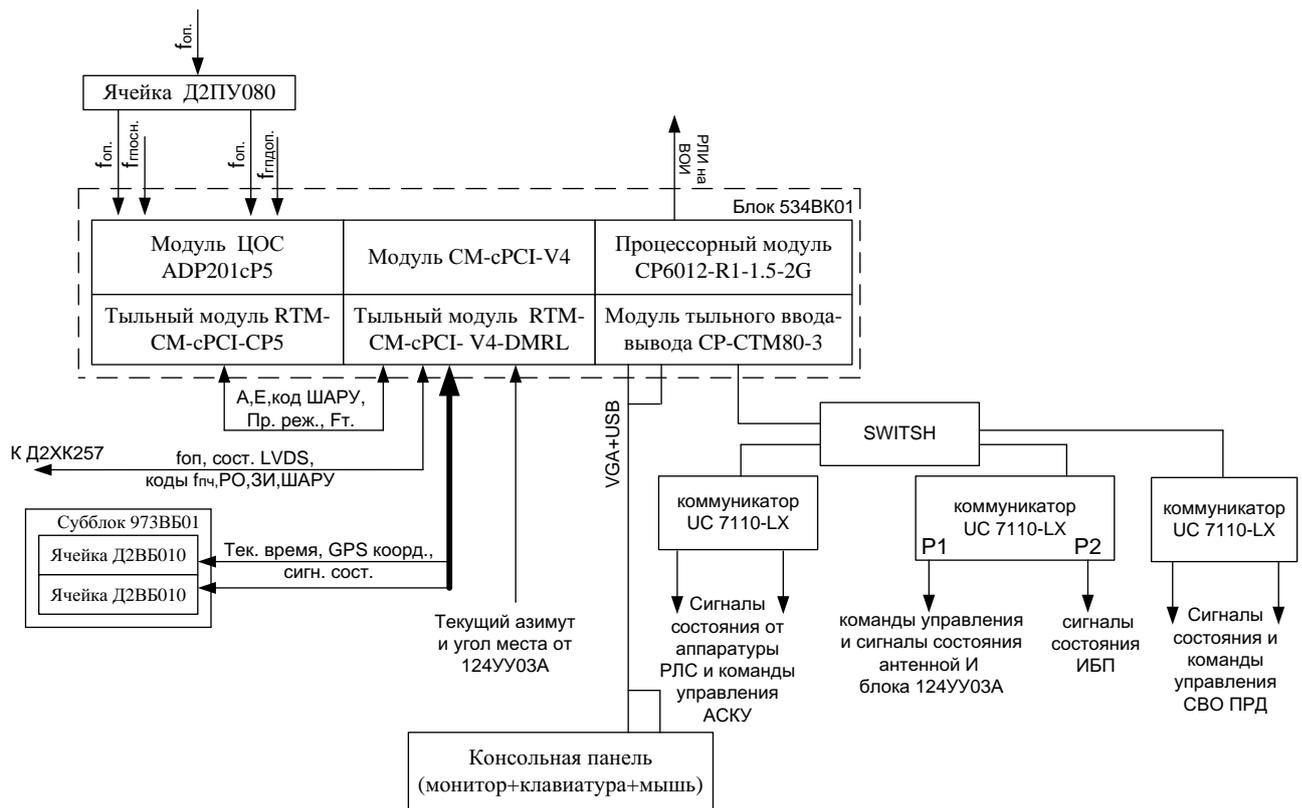


Рисунок 1 – Структурная схема аппаратуры обработки

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						8

1.3 Описание и работа

В состав аппаратуры обработки РЛК входит один блок 534ВК01. Обмен информацией с абонентами осуществляется по ЛВС. Программный комплекс ПОИ регулярно, каждые 300 мс, сообщает ПК АСКУ информацию о своем состоянии. Также в ПК АСКУ поступает информация о техническом состоянии систем РЛК от устройств АСКУ по каналу связи RS-485.

Блок 534ВК01, состоящий из процессорного модуля, модуля ЦОС и соответствующих тыльных модулей, осуществляет цифровую обработку эхо-сигнала, поступающего по двум приемным каналам на промежуточной частоте (ГПосн., ГПдоп.). Модуль ЦОС выполняет аналого-цифровое преобразование эхо-сигнала на промежуточной частоте, фазовое детектирование, согласованную обработку простого и сложного (сжатие) сигналов, «сшивку» дистанций простого и сложного сигнала, а также «сшивку» динамических диапазонов двух приёмников. Функциональная схема ПОИ приведении на рисунке 2.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2				Лист
									9

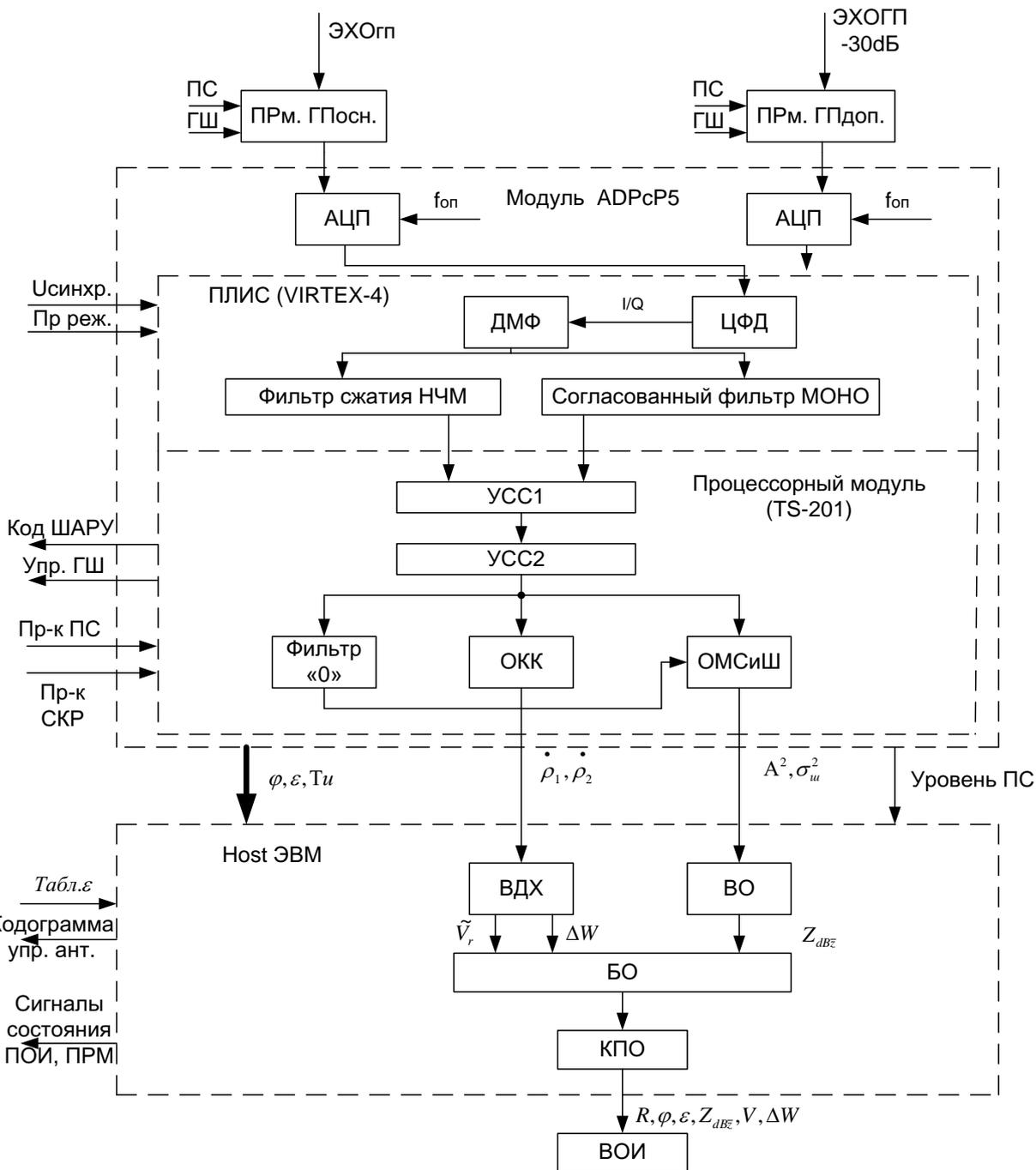


Рисунок 2 – Функциональная схема ПОИ

С выхода антенной системы (АС) на входы приёмников поступают СВЧ-сигналы основного и дополнительного канала горизонтальной поляризации. Построение приёмных устройств и их первичной обработки полностью идентично.

На вход модуля ЦОС на промежуточной частоте $f_{np} = 60$ МГц поступают входные сигналы от двух приёмников, отличающихся по уровню на 30 дБ (для расширения динамического диапазона). Принятые сигналы дискретизируются в

Изн. № подл.	Подп. и дата
Изн. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Изн. № подл.	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

АЦП с частотой $f_{on} = 80$ МГц. После этого реализуется фазовое детектирование сигнала, обеспечивающее получение двух квадратур I/Q. Децимирующий фильтр (ДМФ) снижает частоту дискретизации в 8 раз до $f_{\delta} = 10$ МГц. На этой частоте осуществляется согласованная обработка простого МОНО-сигнала и сложного НЧМ-сигнала. Для МОНО-сигнала согласованный фильтр (СФ МОНО) представляет собой КИХ-фильтр $30^{го}$ порядка. Фильтр сжатия сложного сигнала представляет собой коррелятор, на вход которого поступает набор коэффициентов $\{a_i\}$, комплексно сопряженных с коэффициентами, реализованными в УФС (ячейка Д2ХК257). Вышеназванные операции обеспечивает ПЛИС VIRTEX-4, расположенная в модуле ADPcP5 (плата ЦОС). Кроме того, на вход ПЛИС подаются вспомогательные сигналы:

- опорная частота f_{on} (от ячейки Д2ХК257);
- признак режима ($Pr_{реж}$), содержащий информацию о периодах повторений ($T_{п}$), длительности ($\tau_{ц}$) сложного ЗС, а также временной интервал между простым и сложным сигналами ($\tau_{инт}$);
- текущие коды азимута (φ) и угла места (ε);
- импульсы синхронизации в соответствии с текущим режимом.

Вышеназванные сигналы поступают от модуля CM-сPCI-V4 через тыльный модуль ввода-вывода платы ЦОС.

Полученные на выходе ПЛИС автокорреляционные функции принятых сигналов поступают на вход кластера их пяти процессоров типа TS-201, также расположенных на плате ЦОС.

Здесь реализуется выравнивание уровней отражённых МОНО и НЧМ сигналов по амплитуде в одном элементе дальности, т.к. эти сигналы исходно имеют разную энергию. Эту операцию выполняет устройство сшивки сигналов (УСС1).

В блоке УСС2 обеспечивается выбор сигнала от приёмника - основного или дополнительного, в зависимости от их амплитуд. Таким образом реализуется сшивка по динамическому диапазону, для чего значение амплитуды сигнала до-

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						11

полнительного канала искусственно увеличивает на ~ 30 дБ (уточняется экспериментально).

После процедур «сшивки» сигналов реализуются алгоритмы извлечения метеоинформации из принятых эхо-сигналов. Здесь осуществляется оценка мощности принятого сигнала, а также дисперсии собственных шумов приёмника в зоне, свободной от местных предметов и эхо-сигналов от МО (на больших углах места $\varepsilon \geq 30^\circ$ и в конце дистанции).

Оценка доплеровских характеристик МО здесь сводится к оценке двух моментов корреляционной функции междупериодных флюктуаций (блок ОКК). Оценки мощности и коэффициентов корреляции осуществляются в каждом элементе разрешения ДМРЛ-10.

Для устранения влияния эхо-сигналов от местных предметов, расположенных в ближней зоне, а также полученных из-за эффекта сверхрефракции, в ДМРЛ-10 установлен режекторный фильтр на нулевую скорость (фильтр «0»). Он обеспечивает подавление прохождения сигналов с нулевым доплеровским сдвигом. Для минимизации влияния фильтра «0» на доплеровские характеристики МО зона режекции фильтра выбрана достаточно узкой. Включение и отключение режекторного фильтра осуществляется по команде АСКУ через окно НАСТРОЙКИ ПОИ.

Кроме того, процессорная обработка выполняет ряд дополнительных функций:

- управление включением и выключением ГШ;
- управление кодами ШАРУ в секторе контроля и регулирования (СКР);
- приём и оценка уровня ПС.

Полученная в плате ЦОС метеоинформация по шине comactPCI передаётся в ЭВМ.

Вычисление отражаемости (ВО) МО осуществляется на основе определения отношения сигнал/шум с учётом значения метеопотенциала (P_m) для текущего режима работы ДМРЛ-10.

Инвар. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инвар. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						12

В блоке вычисления доплеровских характеристик (ВДХ) МО полученные коэффициенты корреляции (КК) ρ_1 и ρ_2 усредняются и пересчитываются в среднее значение радиальной скорости \tilde{V}_r , а также в ширину спектра флуктуаций W МО. Полученные значения \tilde{V}_r и W соответствуют каждому элементу разрешения по дальности. В блоке осреднения (БО) осуществляется вычисление средних значений этих параметров для различных интервалов дальности $\Delta R = 250, 500, 1000$ м.

Критерийная пороговая обработка (блок КПО) служит для устранения эхо-сигналов от одиночных, непротяжённых рассеивателей и минимизирует уровень ложных тревог по собственным шумам приёмника. Уровень порога для стабилизации уровня ложных тревог обеспечивает не более 3 - 5 точечных отметок на экране ИКО во всей зоне действия ДМРЛ-10 за один обзор.

Значения осреднённых параметров МО с привязкой по пространству по линии Ethernet передаются в аппаратуру ВОИ.

Помимо данных от платы ЦОС, на вход ПОИ от ПО АСКУ поступает таблица углов места (ε) для текущего режима сканирования. Конструктивно система АСКУ находится в одной ЭВМ с ПОИ и получает от ПОИ следующую информацию:

- состояние приёмника (по уровню ПС);
- кодограмму управления антенной;
- интегральный признак работоспособности платы ЦОС и ПО ПОИ.

1.3.1 Описание алгоритмов, реализованных в АПОИ

Алгоритмы работы АПОИ определяются функциональным назначением устройств обработки радиолокационных сигналов, реализованных в цифровом виде.

1.3.1.1 Алгоритм фазового детектирования

Алгоритм основан на представлении радиосигнала $u(t)$ в виде двух квадратурных составляющих:

Инов. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инов. № дубл.	Подп. и дата
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						13

$$u(t) = u_c(t) + ju_s(t) = \text{Re}[u(t)] + j\text{Im}[u(t)] \quad (1)$$

где $\text{Re}[u(t)]$ и $j\text{Im}[u(t)]$ – реальная и мнимая часть $u(t)$.

С выхода АЦП, дискретизирующего выходной сигнал приемника на промежуточной частоте $f_{np}=56\text{МГц}$ (МОНО) и 60МГц (НЧМ), радиочастотный сигнал $u(t)$ поступает на вход цифрового фазового детектора.

Для получения квадратурных составляющих отсчеты принятого сигнала разделяются на два канала. В каждый канал со сдвигом на 90° подаются отсчеты опорного сигнала от цифрового генератора на частоте $f_{on}=80\text{МГц}$.

Цифровые фильтры низкой частоты ФНЧ выделяют нулевые составляющие сигналов каждого канала, пропорциональные $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$, где φ - разность фаз между опорным и принятым сигналом.

1.3.1.2 Алгоритм внутриимпульсной обработки

Согласованная обработка простых (МОНО) и сложных (НЧМ) сигналов осуществляется в нерекурсивных КИХ-фильтрах. Алгоритм работы такого цифрового фильтра во временной области записывается в виде

$$w_k = \sum_{i=0}^{N-1} Y_i v_{k-i} \quad (2)$$

где k, l – номера отсчетов;

Y_i – i -ый отсчет входного сигнала фильтра;

w_k – k -ый отсчет выходного сигнала фильтра;

v_{k-1} – заранее записанные в фильтр отсчеты ИХ.

Алгоритм (2) подобен алгоритму аналогового фильтра, реализующего интеграл свертки

$$w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} y(S') v(t-S) dS \quad (3)$$

Частотная характеристика цифрового фильтра определяется отношением выходного напряжения к входному при дискретизированном гармоническом воздействии (в рассматриваемом случае $\Delta t=0,1$ мкс):

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
											14

$$k(e^{j2\pi 2\pi f}) = w_k / y_k \text{ при } y_k = e^{j2\pi / k \Delta t} \quad (4)$$

Причем отсчеты комплексной частотной характеристики выбираются сопряженными по отношению к отсчетам, формируемым сигналом в ячейке Д2ХК257.

При частоте дискретизации $f = 10$ МГц $\Delta t = 100$ нс. Для МОНО сигнала длительностью ~ 1 мкс выбрано $N \approx 15$ отсчетов (с учетом формирования фронтов), а для НЧМ-сигнала длительностью 64 мкс – $N \approx 800$ (с учетом необходимости формирования спадающих фронтов для улучшения ЭМС). Соответствующие коэффициенты ИХ записываются в оперативную память ПЛИС и «вызываются» оттуда подачей сигнала управления. Таким образом, процедура согласованной фильтрации реализуется в реальном времени.

В ДМРЛ-10 используются три вида зондирующих НЧМ-сигналов длительностью $\tau_u = 25, 60$ и 100 мкс. Соответствующие распределения фаз показаны на рисунках 3 - 5.

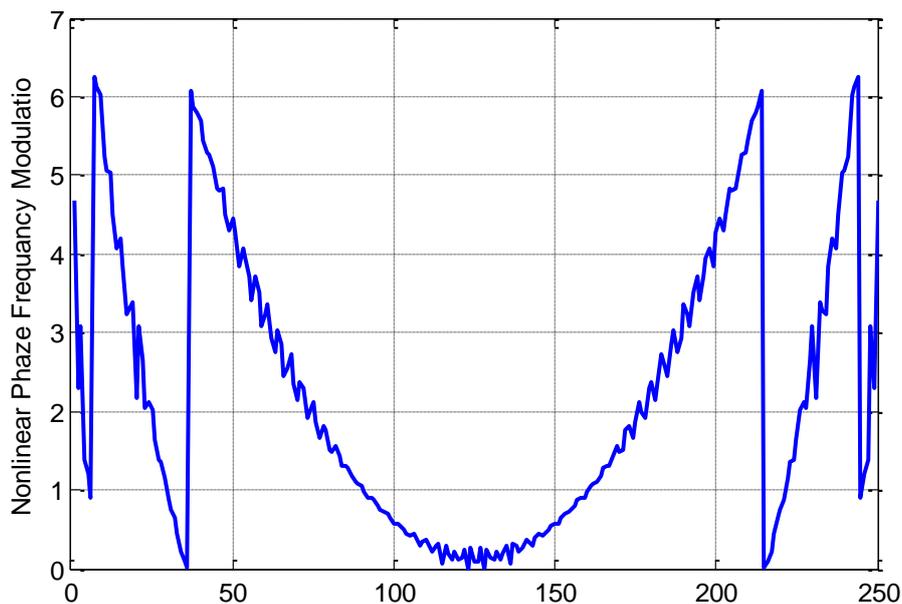


Рисунок 3 – Распределения фаз для $\tau_u = 25$ мкс

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инва. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

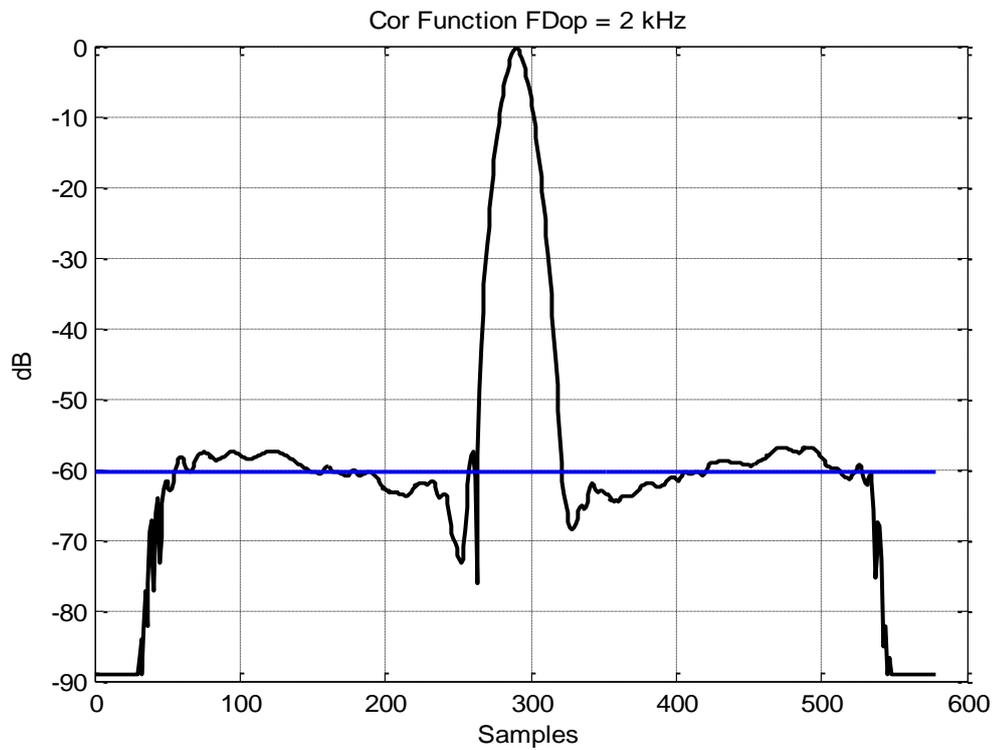


Рисунок 6 – Результаты сжатия сигналов для $\tau_u = 25$ мкс

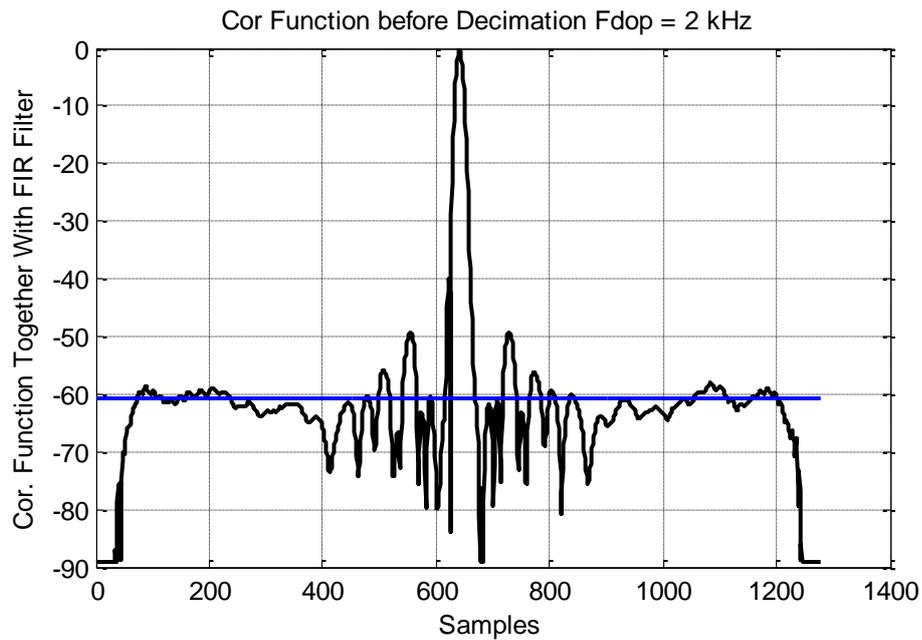


Рисунок 7 – Результаты сжатия сигналов для $\tau_u = 60$ мкс

Ив. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ив. № дубл.
Подп. и дата	
Изм.	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

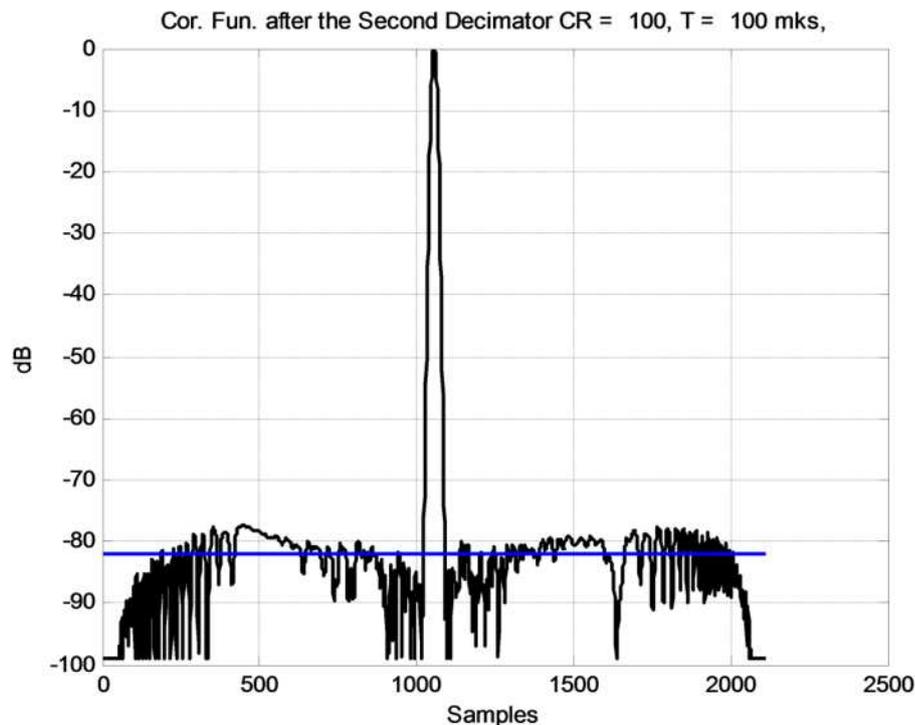


Рисунок 8 – Результаты сжатия сигналов для $\tau_u=100$ мкс

1.3.1.3 Алгоритм измерения отражаемости

С выхода внутриимпульсной обработки на вход первичной обработки сигналов (ПОИ) поступает три типа данных для каждой азимутальной развертки:

- мощность эхо-сигнала с расширенным динамическим диапазоном, прошедшего нулевой и режекторный фильтр (если он включен, см. раздел 1.3.1.12);
- квадратуры основного канала (нефильтрованные);
- мощность эхо-сигнала в расширенном динамическом диапазоне (нефильтрованные).

Измерение отражаемости ДМРЛ-10 осуществляется расчётно-экспериментальным методом в соответствии с известным соотношением

$$Z(\text{дБз}) = 10\lg\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right) - 10\lg\Pi_M + 20\lg R, \quad (5)$$

где $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$ – измеренное значение отношения сигнал/шум в каждом элементе разрешения;

Π_M – метеорологический потенциал локатора;

Изнв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изнв. № дубл.
Подп. и дата	
Изнв. № подл.	

Изнв. № подл.	Изнв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп. Дата

R – дальность до выбранного элемента разрешения.

Значение метеорологического потенциала рассчитывается по формуле:

$$P_M = A \cdot \frac{P_u \cdot G^2 \cdot \Delta\Theta_{0.5}^2 \cdot \tau_u \cdot \Delta R_{разр}}{c \cdot \lambda_o^2 \cdot K_{ном} \cdot K_{ш}}, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\pi^3 \cdot c}{4^5 \cdot \ln 2 \cdot k \cdot T_o} \approx 10^{27.5} \frac{М / с}{Дж}$$

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{град}$ – постоянная Больцмана;

$T_o = 290^\circ K$ – шумовая температура, соответствующая комнатной;

P_u – импульсная мощность передатчика, измеряемая один раз в 10 минут во время начала обзора (Вт). Результат измерения мощности применяется к следующему обзору;

$\Delta R_{разр} \approx 120 м$ – разрешающая способность ДМРЛ как для МОНО, так и для НЧМ сигналов;

$\Delta\Theta_{0.5}$ – ширина луча в угломестной и азимутальной плоскостях [рад];

λ_o – рабочая длина волны;

c – скорость света;

$K_{ном}$ – коэффициент передачи приёмо-передающего тракта с учётом потерь в РПУ;

τ_u – эквивалентная длительность зондирующего импульса;

$K_{ш}$ – коэффициент шума приемного тракта ДМРЛ;

G – одинаковое на приём и передачу значение КНД антенны.

Значение метеорологического потенциала различно при использовании простого (МОНО) и сложных (НЧМ) сигналов, отличающихся длительностью импульсов. В связи с приближенностью расчетов по формуле (6), значение P_M может корректироваться ситуационно в достаточно широких пределах, путем изменения константы A (см. Таблица 5 «Руководство системного программиста ДМРЛ-10»). В выражение (6) входят параметры контролируемые в процессе ра-

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						19

боты (P_u и $K_{ш}$) и задаваемые от системы АСКУ как константы ($G, \Delta\Theta_{0,5}, \tau_u, A, \Delta R_{разр}, \lambda_o, K_{пот}$). Периодичность контроля P_u и $K_{ш}$ равна 10 мин. Методики периодических измерений этих параметров изложены в данном РЭ.

Учитывая, что спектральная плотность мощности шумов приёмника при внутриимпульсной обработке всех видов сигналов одинакова вследствие равенства их полос, в формулу (6) следует подставить значения Π_M , пропорциональные разности их энергий (значение P_u от вида сигнала не зависит). Сначала определяется значение P_m для сигнала МОНО ($\tau_u = 1$ мкс), обеспечивающего работу в ближней зоне ДМРЛ-10: 0,3 – 12 км. Для дальней зоны (от 12 км до R_{max}) эквивалентная длительность сигнала увеличивается пропорционально коэффициенту «сшивки» $\tau_{шэ} = \tau_{моно} \cdot K_{сш}$. Теоретические значения $K_{сш}$ равны:

- для НЧМ-сигнала длительностью 100 мкс: $K_{сш} = 20,0$ дБ;
- для НЧМ-сигнала длительностью 60 мкс: $K_{сш} = 18,0$ дБ;
- для НЧМ-сигнала длительностью 25 мкс: $K_{сш} = 13,9$ дБ.

Однако в реальной ситуации из-за отличий в реализации и потерях КИХ-фильтра обработки сигнала МОНО и фильтров сжатия НЧМ-сигналов $K_{сш}$ могут отличаться на $\pm (1 \div 1,2)$ дБ. Для их точного определения в одном элементе дистанции на расстоянии $R_o \geq 12$ км (в произвольном азимуте) вычисляются два значения уровней сигналов, отражённых от МО: $P_{с моно}$ и $P_{с нчм}$. Их отношение ($P_{с моно} / P_{с нчм}$) принимается за значение $K_{сш}$. Таким образом, по формуле (6) вычисляются значения Π_M для сложных сигналов (по отношению к простому сигналу).

Все остальные параметры соотношения (6) не имеют специфических особенностей и берутся из Протоколов соответствующих измерений, проводимых периодически. Поэтому для вычислений по формуле (5) в оперативной работе ДМРЛ-10 проводится оценка только отношения сигнал/шум.

По данным квадратур «нефильтрованного» канала вычисляется мощность смеси шумов и полезного сигнала в каждом элементе дистанции каждой азимутальной развертки:

Имп. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						20

$$P_{(c+u)i} = (\text{Re}S_i)^2 + (\text{Im}S_i)^2 \quad (7)$$

где $\text{Re}S_i$ и $\text{Im}S_i$ – квадратурные составляющие i -го отсчёта.

Смежные i -е элементы азимутальных разверток «фильтрованного» и «нефильтрованного» каналов осредняются в угловом секторе $\Delta\Theta=1^\circ$ в каждом дискрете дальности, независимо для каждого канала. При этом модуль КК должен превышать порог $\rho_i > \min\rho_0$ (порог задается через панель настроек ПОИ в АСКУ). При этом количество азимутальных разверток M зависит от скорости вращения антенны $V_{\text{ан}}$ и среднего периода зондирования $T_{\text{ср}}$:

$$M \approx \frac{\Delta\Theta[\text{град}]}{V_{\text{ан}}[\text{град}/\text{с}] \cdot T_{\text{ср}}[\text{с}]} \quad (8)$$

Например, при $\Delta\Theta=1^\circ$, $V_{\text{ан}}=36$ град/с ($n=6$ об/мин) и $T_{\text{ср}}=3 \cdot 10^{-3}$ с, получим $M \approx 10$.

В соответствии с принятой в ДМРЛ-10 частотой дискретизации $F_d=1,25$ МГц, минимальный дискрет дальности составляет 120м. При этом выдаваемая на ВОИ информация должна быть кратна 125м. Поэтому для выдачи информации через 250/500/1000м (настройки размера выдаваемого дискрета задаются в меню «Настройка ПОИ» АСКУ) необходимо провести интерполяцию вычисленной мощности $P_{(c+u)i}$ от 120м на 125м, а затем методом осреднения получить значения мощностей в вышеуказанных дальностных интервалах. Интерполяция осуществляется следующим образом:

$$X_{125}(i) = \begin{cases} \frac{\text{mod}(5 \cdot i, 120)}{120} \cdot (X_{120}(j+1) - X_{120}(j)) + X_{120}(j), & \text{если } (\rho(j+1) > \min Ro) \& (\rho(j) > \min Ro) \\ X_{120}(j+1), & \text{если } (\rho(j+1) > \min Ro) \& (\rho(j) < \min Ro) \\ X_{120}(j), & \text{если } (\rho(j+1) < \min Ro) \& (\rho(j) > \min Ro) \\ n/d, & \text{если } (\rho(j+1) < \min Ro) \& (\rho(j) < \min Ro) \end{cases}$$

где $j = i + \text{int}\left(\frac{i \cdot 5}{120}\right)$ элемент дистанции неинтерполированных данных, соответствующий элементу дистанции i интерполированных данных;

$X_{125}(i)$ - значение мощности в i -м элементе дистанции для данных с дискретом в 125м;

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
											21

$X_{120}(i)$ - значение мощности в i -м элементе дистанции для данных с дискретом в 120м;

С целью устранения влияния шумов осредненные мощности проходят пороговую обработку:

$$P_{\min} = P_{\text{noise}} + \frac{P_{\text{noise}} \cdot k}{\sqrt{\frac{Rd}{R_{\text{instr}}} \cdot M}} \quad (9)$$

Отношение $\frac{Rd}{R_{\text{instr}}}$ - количество инструментальных дискрет дальности в оцениваемом объеме; M – количество разверток в градусе (размер пачки).

Коэффициент k влияет на вероятность ложной тревоги и устанавливается равным 0,84 (изменение порога см. Руководство системного программиста АСиПОИ).

Для вычисления отношения $P_c / P_{\text{ш}}$ с целью его использования в (5), используется следующая пересчетная формула:

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = \frac{P_{c+\text{ш}}}{P_{\text{ш}}} - 1 \quad (10)$$

Для оценки мощности шумов необходимо иметь классифицированную выборку шумов. Для этого в ДМРЛ-10 предусмотрен сектор контроля и регулировки (СКР), априори свободный от влияния полезного сигнала, внешних шумов и помех. СКР выбирается следующим образом: антенна направляется на север и поднимается до угломестного положения $\epsilon > 70^\circ$, при этом отключается формирование ПЧ. Во всех приемных каналах используется одинаковая процедура измерения мощности шумов. Оценка проводится путем осреднения по $M=300$ азимутальным разверткам, и по всем элементам дистанции N (~ 3000) в каждой из разверток.

$$P_{\text{ш}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\text{Re}^2(X_{i,j}) + \text{Im}^2(X_{i,j}))}{MN} \quad (11)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Лист
ЦИВР.462414.007 РЭ2					Лист
Копировал					Формат А4

1.3.1.4 Алгоритмы выравнивания потенциалов простых и сложных сигналов и основного и дополнительного канала приёмника

Энергии МОНО и НЧМ сигналов, используемых в ДМРЛ-10, существенно различаются. Для того, чтобы в выходной информации аппаратуры ПОИ отсутствовали скачки в параметре «отражаемость», реализуется процедура «сшивки» ближней и дальней зоны, которые обслуживаются различными видами сигналов. Это означает, что элемент дистанции на границе этих зон должен иметь одно и то же значение $Z_{\text{дБз}}$ для МОНО и НЧМ сигналов.

Алгоритм «сшивки» заключается в следующем. На определённой азимутальной развёртке на расстоянии 10 – 12 км от ДМРЛ-10 выбирается (при необходимости устанавливается) местный предмет (отражатель), мощность отражения от которого существенно (на 20 и более дБ) превосходит дисперсию шума приёмника.

Отражённые от местника МОНО и НЧМ эхо-сигналы, разделённые известным временным интервалом $\Delta \tau$, поочерёдно принимаются ДМРЛ-10. В ПОИ осуществляется оценка их амплитуд \tilde{A}_1 и \tilde{A}_2 (максимумов автокорреляционной функции) на выходе соответствующих устройств их внутрипериодной обработки. После этого на величину $20\lg(\tilde{A}_1 / \tilde{A}_2)$ в формуле (4) при расчёте отражаемости $Z_{\text{дБз}}$ должно быть увеличено значение метеопотенциала ДМРЛ-10 для сложного сигнала.

«Сшивка» основного и дополнительного приёмников осуществляется с целью расширения динамического диапазона изделия. Для этого сигнал в тракте дополнительного приёмника искусственно ослабляется на ~30 дБ.

Критерием ограничения входного сигнала в основном приёмнике является верхняя граница линейности его амплитудной характеристики. Экспериментально в лабораторных условиях было получено, что амплитудная компрессия сигнала на величину, не превышающую 1 дБ, происходит при уровне входного сигнала ~85-87 дБ по отношению к собственным шумам АЦП.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						23

Сшивка каналов проводится на этапе приемосдаточных испытаний и включает в себя определение коэффициента направленного ответвления и изменение коэффициентов усиления приемников основного и дополнительного каналов в СКР.

На этапе регулировки вычисляется величина ΔA , соответствующая точному значению ослабления между основным и дополнительным приёмниками. При этом при изменении коэффициентов усиления приемников или их замене после каждого СКР величина ΔA корректируется с учетом изменения коэффициентов усиления приемников.

При превышении заданного порога (~85 дБ) осуществляется переход на дополнительный приёмник, а уровень принятого сигнала оценивается по соотношению $A_{местн} = A_{дон} + \Delta A$, где $A_{дон}$ – амплитуда сигнала на выходе дополнительного приёмника, ΔA – ранее измеренная разность между сигналами основного и дополнительного каналов от отражателя, не превысившего порог.

Таким образом, выбором канала приёма реализуется «сшивка» приёмников по динамическому диапазону.

1.3.1.5 Алгоритм оценки коэффициента корреляции в ДМРЛ-10

Для оценки междупериодных коэффициентов корреляции используется следующая процедура. Она основана на соотношении:

$$\rho_i = \frac{\sum_{h=i-K/2}^{i+K/2} X_{p,k} \cdot X_{p+1,k}^*}{\sqrt{\sum_{h=i-K/2}^{i+K/2} X_{p,k}^2 \sum_{h=i-K/2}^{i+K/2} X_{p+1,k}^2}} \quad (12)$$

Здесь X - комплексный отсчет сигнала в p -ый период для i -го элемента дистанции. K - размер обучающей выборки по дальности. В ДМРЛ-10 размер обучающей выборки зависит от отношения сигнал/шум:

- $K = 2$ при ОСШ ≥ 15 дБ;
- $K = 6$ при ОСШ ≥ 5 дБ;
- $K = 18$ при ОСШ < 5 дБ;

Инва. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Инва. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						24

1.3.1.6 Алгоритм однозначного измерения скорости в ДМРЛ-10

В ДМРЛ-10 для однозначного измерения средней радиальной скорости (СРС) МО используется метод парных импульсов (МПИ). Традиционный МПИ широко применяется в метеорадарах и его суть заключается в следующем. При постоянном периоде зондирования T за оценку СРС \tilde{V}_r принимается величина:

$$\tilde{V}_r = \frac{\lambda}{4\pi T} \arg(\hat{r}), \quad (13)$$

где λ – рабочая длина волны;

$$\arg(\hat{r}) = \arctg \left[\frac{\text{Im}(\hat{r})}{\text{Re}(\hat{r})} \right], \text{ где } \text{Im}(\hat{r}) \text{ и } \text{Re}(\hat{r}) - \text{ мнимая и действительная части ком-}$$

плексного коэффициента ковариации (КК) $R = \text{Re}(\hat{r}) + \text{Im}(\hat{r})$.

Формула (6) является следствием связи фазы КК с доплеровским сдвигом частоты F_D на длине волны λ :

$$\varphi_T = 2\pi F_D T, \quad F_D = \frac{2\tilde{V}_r}{\lambda} \quad (14)$$

Недостатком традиционного МПИ при постоянном интервале зондирования является неоднозначность оценки СРС, которая соответствует не одному, а набору значений скоростей:

$$V_k = V + kV_0, \quad (15)$$

$$\text{где } V_0 = \frac{\lambda}{2T}; \quad k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

В каждой оценке фаза φ_T изменяется на $\pm 2\pi k$, что не меняет значения квадратурных компонент КК, а, следовательно, $\arg(\hat{r})$ и оценки (13). Значение V_0 определяет протяжённость однозначного интервала СРС МО.

В ДМРЛ-10 задан однозначный интервал измерения СРС равный $|V| \leq 60 \text{ м/с}$. Поэтому для устранения неоднозначности измерения скорости используется режим вобуляции интервалов зондирования на два периода T_1 и T_2 . Кроме того, для повышения корректности оценки междупериодных КК, применяется процедура, описанная в разделе 1.3.1.5.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взаим. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Лист
ЦИВР.462414.007 РЭ2					Лист

Вычисляемые по соседним азимутальным разверткам коэффициенты корреляции ρ_{T_1} и ρ_{T_2} усредняются для каждого периода по градусу при условии, что $\rho > \min SQI$ (порог SQI задается через панель настроек ПОИ в АСКУ).

Для осредненных данных по двум периодам ρ_{T_1} и ρ_{T_2} на основании (13) вычисляются неоднозначные скорости V_{T_1} и V_{T_2} , при условии, что количество коэффициентов корреляции, участвовавших в осреднении (прошедших порог по SQI) превышает $PacketSize \cdot M$, где M – размер пачки, а $PacketSize$ – настраиваемый параметр (задается в меню “Настройка ПОИ” АСКУ). Далее, если $90 \text{ мкс} < \Delta T_{12} = |T_1 - T_2| < 450 \text{ мкс}$, то по полученным значениям V_{T_1} и V_{T_2} можно устранить неоднозначность измерения СРС. Для этого применяется следующий алгоритм:

$$T_1 > T_2$$

$$\Delta V = V_{T_1} - V_{T_2}$$

$$V_{odnT_1} = \lambda / (2 \cdot T_1); V_{odnT_2} = \lambda / (2 \cdot T_2); \Delta V_{odn} = V_{odnT_1} - V_{odnT_2}.$$

$$k = \begin{cases} -1, & \text{если } \Delta V > 0,5 \cdot V_{odnT_1}; \\ 1, & \text{если } \Delta V < -0,5 \cdot V_{odnT_1}; \\ 0, & \text{если } 0,5 \cdot V_{odnT_1} < \Delta V < 0,5 \cdot V_{odnT_1}; \end{cases}$$

$$\Delta V_r = \begin{cases} \Delta V - V_{odnT_1}, & \text{если } \Delta V > 0,5 \cdot V_{odnT_1}; \\ \Delta V + V_{odnT_1}, & \text{если } \Delta V < -0,5 \cdot V_{odnT_1}; \\ \Delta V, & \text{если } 0,5 \cdot V_{odnT_1} < \Delta V < 0,5 \cdot V_{odnT_1}; \end{cases}$$

$$V_{odn} = V_{T_1} - \Delta V_{odn} \cdot \left(\text{int} \left(\frac{\Delta V_r}{\Delta V_{odn}} \right) - k \right).$$

V_{odnT_1}, V_{odnT_2} - максимальная однозначно определяемая скорость для периодов T_1 и T_2 соответственно;

V_{odn} - однозначная СРС в интервале ± 60 м/с.

В отсутствии вобуляции ($\Delta T_{12}=0$) или при $\Delta T_{12} > 450 \text{ мкс}$, а также при $\Delta T_{12} < 90 \text{ мкс}$, однозначная скорость в интервале ± 60 м/с не определяется и на ВОИ выдается осредненная неоднозначная скорость по T_1 и T_2 .

Указанные процедуры выполняются в каждом элементе разрешения.

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						26

1.3.1.7 Алгоритм оценки ширины спектра

Оценка ширины спектра ΔW между периодных флюктуаций существенно зависит от вида корреляционной функции процесса, которая, как правило, имеет вид:

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^n}, \quad \text{где } 1 \leq n \leq 2 \quad (16)$$

Выбор параметров α и n зависит не только от характера метеоявления, но и от интервала зондирования. С учетом всех факторов и режимов работы ДМРЛ-10 для периодов $T_i < 2\text{мс}$ выбрано $n=1$, а при $T_i \geq 2\text{мс}$ $n=2$. Этим значениям n соответствуют спектральные плотности мощности:

$$S(f) = \frac{2 \cdot \alpha}{\alpha^2 + (2 \cdot \pi \cdot f)^2}, \quad \text{при } n=1 \quad (17)$$

$$S(f) = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \cdot e^{-\frac{\pi^2}{\alpha} \cdot f^2}, \quad \text{при } n=2 \quad (18)$$

Ширина спектра определяется по уровню половинной мощности $S(f) = 0.5$ и в соответствии с (16) и (17)(18) выражается через первые корреляционные моменты. Для $n=1$ и $n=2$ имеем:

$$\Delta W_{T_i} = \begin{cases} \frac{\lambda}{4\pi T_i} \sqrt{-\ln(|\rho_{T_i}|)}, & \text{если } T_i < 2\text{мс}; \\ \frac{\lambda}{\pi T_i} \sqrt{-\ln(|\rho_{T_i}|) \cdot \ln 2}, & \text{если } T_i \geq 2\text{мс}. \end{cases} \quad (19)$$

Для оценки ширины спектра коэффициенты корреляции осредняются по градусу для каждого периода.

По осредненным данным на двух периодах ρ_{T_1} и ρ_{T_2} в соответствии с (19) вычисляется ширина спектра.

1.3.1.8 Алгоритм проверки коэффициента шума приёмного устройства

По определению коэффициент шума вычисляется из соотношения

$$F = \frac{T_{\text{шизм}}}{T_0} + 1, \quad (21)$$

где $T_0 = 290^\circ\text{К}$;

$T_{\text{шизм}}$ – измеренная шумовая температура в градусах Кельвина.

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Подп. и дата
Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						27

Методика измерения значения F имеет два этапа. Сначала измеряется мощность собственных шумов приёмника

$$P_{1ш} = \kappa \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot F \cdot G_{np}, \quad (22)$$

где $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Втс;

$\Delta f = 1$ МГц – ширина полосы зондирующего сигнала и соответствующего фильтра обработки.

F – измеренная мощность собственных шумов на выходе приемника.

G_{np} - коэффициент усиления приемника.

Второе измерение позволяет определить мощность смеси шумов калиброванного генератора шума (ГШ) с паспортизованным коэффициентом шума на рабочей частоте $F_{гш}$ и собственных шумов приёмника

$$P_{2ш} = \kappa \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot (F + F_{гш}) \cdot G_{np} \quad (23)$$

Искомое значение F можно определить из уравнения, взяв отношение измеренных мощностей:

$$Y = \frac{F + F_{гш}}{F} = 1 + \frac{F_{гш}}{F}, \quad (24)$$

где $F = \frac{F_{гш}}{Y - 1}$

Поскольку значение $F_{гш}$ является заранее известной константой, выражение для коэффициента шума (в дБ) удобно представить в виде:

$$K_{шдБ} = 10 \cdot \lg F = 10 \cdot \lg F_{гш} - 10 \cdot \lg(Y - 1) \quad (25)$$

Поскольку величина $F_{гш}$ для встроенного ГШ неизвестна, в начале по эталонному ГШ вычисляется значение КШ. Далее вычисляется значение Y для встроенного ГШ, и, зная значение Y и $K_{шдБ}$ из выражения (24) находим значение $F_{гш}$ для встроенного ГШ.

Для проверки работоспособности приемных трактов после МШУ используются пилот-сигналы, подаваемые на выход МШУ. Если имеется авария по пилот-сигналу (вне зависимости от коэффициента шума), то выдается сигнал неисправности блока 994ПП08. Если же имеется авария по коэффициенту шума, но

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						28

при этом пилот-сигнал находится в пределах нормы, то выдается сообщение об аварии МШУ.

1.3.1.9 Алгоритм определения стабильности передатчика

Данный алгоритм применяется для двух возможных ситуаций:

- определение стабильности формирования ЗС по его «пролазу» в приёмный тракт;
- определение стабильности сигнала, отражённого от достаточно мощного местника.

В первой ситуации (без выхода в эфир) определяется потенциально достижимая стабильность ДМРЛ-10, так как полученная оценка стабильности не зависит от флуктуаций отражателей во внешнем пространстве.

Во втором случае сигнал проходит весь передающий тракт, антенну и отражается от местного предмета, имеющего собственную нестабильность. очевидно, что эта ситуация характеризует потенциальные возможности ДМРЛ-10 в части подавления местных предметов. Коэффициент подавления K_{Π} однозначно связан с коэффициентом корреляции двух смежных импульсов $\rho_{i,i-1}$ известным соотношением

$$K_{\Pi} = \frac{1}{1 - \rho_{i,i+1}^2} \quad (26)$$

Для исключения влияния собственных шумов приёмника при измерении стабильности полагается, что $P_c/P_{\text{ш}} \gg 1$, где P_c , $P_{\text{ш}}$ – мощности полезного сигнала и шума соответственно.

Для любой пары зондирующий импульсов можно составить корреляционную матрицу размерности 2×2 , имеющую вид:

$$R = \frac{\lambda}{\sqrt{P_c}} \begin{bmatrix} 1 & \rho_{i,i+1} \\ \rho_{i+1,i} & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Элементы вне главной диагонали матрицы R одинаковы, и, вследствие этого, достаточно оценить только один её элемент, например, $\rho_{i,i+1}$. Для этого можно создать набор из N таких матриц ($N \geq 1000$) и вычислить среднее значение:

Изн. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Изн. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						29

$$\hat{\rho} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \cdot x_{i+1}^*, \quad (28)$$

где x_i и x_{i+1} – принятые сигналы в двух смежных периодах.

Экспериментально получено, что при нормальном функционировании ДМРЛ-10:

- для первой ситуации $0,99999 \leq \rho \leq 0,999999$;
- для второй ситуации $0,9995 \leq \rho \leq 0,99999$.

Отсюда следует, что при работе по мощному местнику $K_{\pi} > 50$ дБ

1.3.1.10 Алгоритм формирования фильтра на нулевую скорость

Нулевые режекторные фильтры (далее фильтр «0») предназначены для компенсации отражений от местных предметов (МП) с $V_r=0$, как правило, расположенных в ближней зоне действия ДМРЛ-10. Помимо обеспечения подавления МП к ним так же предъявляются требования минимизации искажений отражаемости метеообразований. Поэтому фильтры «0» при заданной глубине провала должны обладать высокой крутизной ЧХ и минимальными паразитными пульсациями вне полосы задержания.

В качестве фильтров «0» в ДМРЛ-10 используется банк режекторных фильтров, имеющих различную глубину подавления и ширины зон режекции. Их АЧХ показаны на рис.7. В ДМРЛ-10 предусмотрена возможность выбора оператором любого из фильтров «0» в зависимости от внешней обстановки (интенсивности и спектра флюктуаций местных предметов).

Фильтры «0» реализованы в виде КИХ-фильтров M -го порядка, где M – размер пачки обрабатываемых импульсов ($M \approx 8$ для режима отражаемости и $M \approx 30$ – для режима измерения скорости). Коэффициенты фильтров $h_i, i \in 1 \dots M$, определяются из матрицы, обратной корреляционной матрице отражений от МП.

Для минимизации искажений отражаемостей МО со скоростями, кратными скоростям «Найквиста» информация с выхода фильтров «0» берется только после «расшивки» неоднозначности по скорости в ПОИ.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата						Лист
ЦИВР.462414.007 РЭ2					Лист					
					Копировал					Формат А4

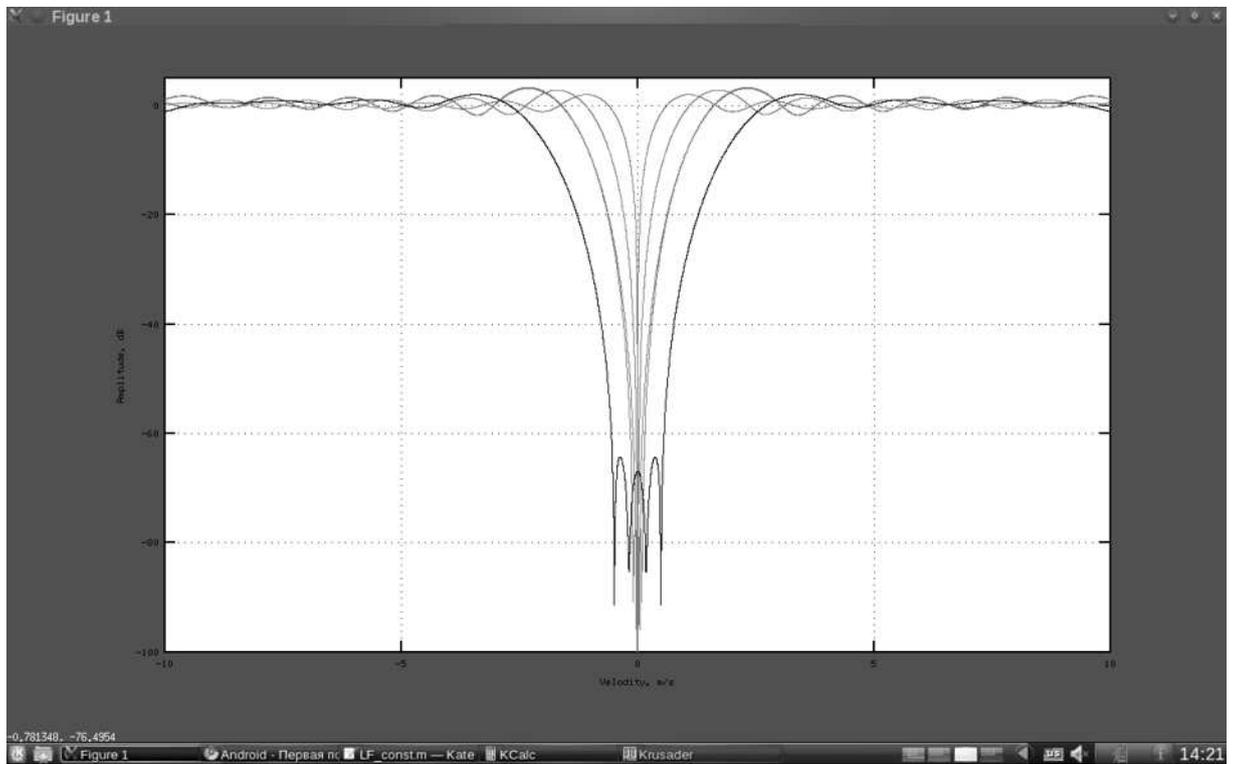


Рисунок 7 – АЧХ первых четырех нулевых режекторных фильтров

Фильтр «0» должен обеспечивать режекцию эхо-сигналов с нулевой доплеровской скоростью.

Алгоритм работы фильтра «0» сводится к следующему. В азимутальных развёртках в элементах дальности, соответствующих положению отражателя с нулевой радиальной скоростью, АЧХ КИХ-фильтр имеет близкий к нулю провалы, что обеспечивает максимально возможное подавление при заданной ширине зоны режекции.

1.3.1.11 Алгоритм фильтрации шумовых выбросов

Фильтрация шумов позволяет избавиться от единичных шумовых выбросов в данных, выдаваемых на ВОИ:

$$x_{i,j} = \begin{cases} \text{нет данных, если } (x_{i-1,j} = 0 \ \& \ x_{i+1,j} = 0 \ \& \ x_{i,j-1} = 0 \ \& \ x_{i,j+1} = 0), \\ x_{i,j}, \text{ в остальных случаях.} \end{cases}$$

где $x_{i,j}$ - значение фильтруемого типа данных в i -м азимуте j -го дискрета дальности.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2 Лист 31
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

1.3.1.12 Алгоритм фильтрации точечных целей по дальности

Фильтрация шумов позволяет избавиться от точечных целей, в том числе от отражений от летательных аппаратов.

Фильтр реализован в виде трех скользящих «окон», каждое из которых составляет 1 км по дальности. Если в двух крайних «окнах» нет данных об отражаемости, то информация из среднего «окна» исключается из выдаваемого на ВОИ массива.

1.3.1.13 Алгоритм фильтрации помех в развертках по азимуту

Фильтрация работает до дальности 100 км по следующему критерию:

$$\begin{pmatrix} x_{i,j} \\ x_{i+1,j} \end{pmatrix} = \begin{cases} \text{нет данных, если } (x_{i-1,j} = 0 \ \& \ x_{i-2,j} = 0 \ \& \ x_{i+1,j} = 0 \ \& \ x_{i+2,j} = 0), \\ x_{i,j} \ \text{и} \ x_{i+1,j}, \ \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

1.3.1.14 Алгоритм выбора данных отражаемости из отфильтрованного канала по скорости и ширине спектра

Фильтрация работает по следующему критерию:

$$x_{i,j} = \begin{cases} x_{i,j} \ \text{отфильтрованного канала, если } (|V_{i,j}| < \min V \ \& \ \omega_{i,j} < \min \omega), \\ x_{i,j} \ \text{неотфильтрованного канала, в остальных случаях.} \end{cases}$$

1.3.2 Настройки фильтрации ПОИ

Ввод порогов, включение и отключение фильтров, критериев и другие настройки ПОИ осуществляются в окне АСКУ НАСТРОЙКА ПОИ, как показано на рисунке 10.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

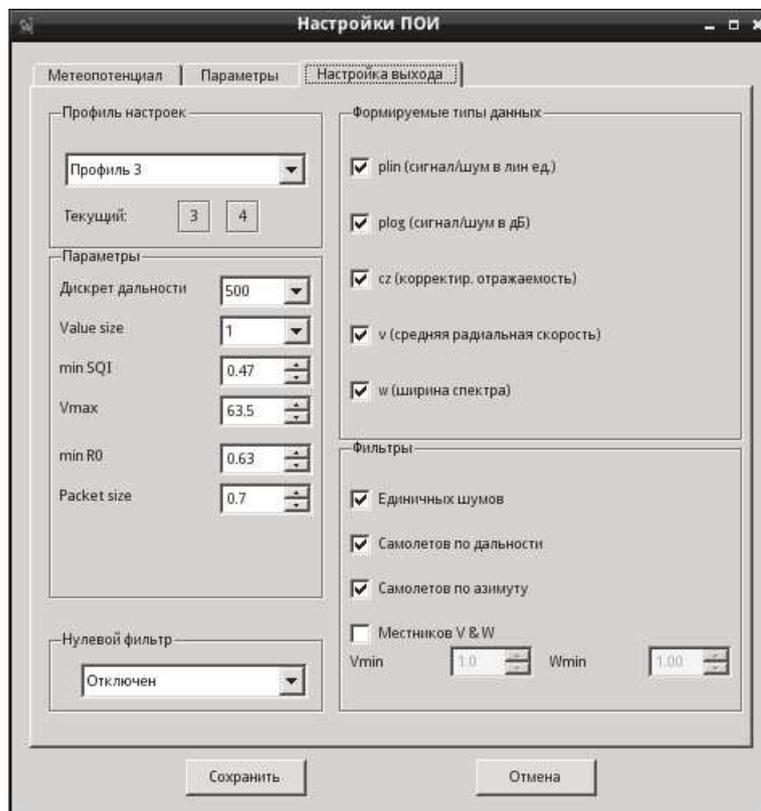


Рисунок 10 – Настройки фильтрации ПОИ

Для корректной работы первичной обработки необходимо задать следующие параметры:

- профиль 1-4 (определяется режимом работы локатора);
- дискрет дальности (от 250 до 1000 м);
- minSQI – минимальный коэффициент корреляции, по которому ведется расчет скорости;
- Vmax – максимальная скорость для кодирования скорости, рассчитываемой в ПОИ;
- minRo – минимальный коэффициент корреляции, для которого формируются данные отражаемости (по данному параметру происходит фильтрация помех);
- Packet size – размер пачки, в котором должен быть превышен порог minSQI;
- формируемые типы данных – задает набор выдаваемых параметров на вторичную обработку;
- фильтры (алгоритмы описаны в пунктах 1.3.1.13-1.3.1.16).

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

										Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						33

1.4 Электрические параметры системы обработки

1.4.1 Параметры входных сигналов

- с приемной системы:

– State_Code1+, State_Code1-, State_Code2+, State_Code2- – дифференциальные сигналы последовательного кода состояния (контроля) от ячейки формирователей сигналов ПЧ (ФПЧ) Д2ХК257 с каналами передачи по стандарту TIA/EIA-644 (LVDS) и согласованием 100 Ом, активный уровень лог.1. В коде состояния передаётся ответное сообщение, подтверждающее достоверность приёма в ФПЧ кода управления и сигнализирующее о состоянии ФПЧ.

– Fref1+, Fref1-, Fref2+, Fref2- – дифференциальные сигналы синхронизации последовательного кода состояния (контроля) от ячейки формирователей сигналов ПЧ (ФПЧ) Д2ХК257 с каналами передачи по стандарту TIA/EIA-644 (LVDS) и согласованием 100 Ом, активный уровень лог.1. Тактовая частота синхронизации равна опорной частоте. При переходе сигнала с пассивного уровня (лог.1) в активный уровень (лог.0) происходит смена состояний на линиях State_Code, а при переходе с активного уровня (лог.0) в пассивный уровень (лог.1) состояния на линиях State_Code достоверны.

– Fоп – тактовый сигнал частотой 80 МГц от ячейки Д2ХК257 через ячейку Д2ПУ080 (делитель сигналов). Уровень ТТЛ, нагрузка 50 Ом;

– Fэхо ГП о, Fэхо ГП д – аналоговые радиочастотные сигналы с центральной частотой 60 МГц на нагрузке 50 Ом амплитудой $(2 \pm 0,3)$ В;

- с блока управления антенной :

DATA_AZ

– DATA_AZ, DATA_EL –дифференциальные сигналы стандарта RS-422 текущего значения азимута и угла места от блока управления антенной.

- от антенн приемника СРНС:

– ANT1, ANT2 – сигналы от двух приёмных антенн СРНС.

1.4.2 Параметры выходных сигналов

- на приемную систему:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Инва. № подл.	Взам. инв. №	Инва. № дубл.	Подп. и дата
-----	------	----------	-------	------	---------------	--------------	---------------	--------------

ЦИВР.462414.007 РЭ2

Лист

34

– Ctrl_Code1+, Ctrl_Code1-, Ctrl_Code2+, Ctrl_Code2- – дифференциальные сигналы последовательного кода управления ячейкой формирователей сигналов ПЧ (ФПЧ) Д2ХК257 с каналами передачи по стандартам TIA/EIA-644 (LVDS) и согласованием 100 Ом, активный уровень лог.1. В коде управления передаются коды начала запуска, коды формирования радиоимпульсов, коды контроля и регулирования СКР, коды признака пилот-сигнала ППС, код включения генератора шума ГШ и коды управления аттенюаторами четырех приемных каналов.

– Clk_Ctrl_Code1+, Clk_Ctrl_Code1-, Clk_Ctrl_Code2+, Clk_Ctrl_Code2 – дифференциальные сигналы синхронизации последовательного кода управления ячейкой формирователей сигналов ПЧ (ФПЧ) Д2ХК257 с каналами передачи по стандарту TIA/EIA-644 (LVDS) и согласованием 100 Ом. Тактовая частота синхронизации равна опорной частоте. При переходе сигнала с пассивного уровня (лог.1) в активный уровень (лог.0) происходит смена состояний на линиях Ctrl_Code, а при переходе с активного уровня (лог.0) в пассивный уровень (лог.1) состояния на линиях Ctrl_Code достоверны.

1.4.3 Электропитание аппаратуры обработки

Питание блока 534BK01, ~220 В ± 10 % 50 Гц;

Питание субблока 973VB01, коммутаторов UC-7110-LX

27 В ± 10 %.

Инов. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инов. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						35

1.5 Блок 534BK01

В состав блока 534BK01 ЦИВР.466534.005 входят:

– крейт 19” 2U с двумя независимыми объединительными платами CompactPCI PICMG 2.0 R3.0 32/64bit, 33/66MHz, тремя резервированными источниками питания

1

шт.;

– сегмент ЭВМ первичной обработки информации в составе:

а) одноплатный процессорный модуль

CP6002-R1-1.5-2G

1 шт.;

б) модуль тыльного ввода-вывода CP-CTM80-3

1 шт.;

в) модуль процессора цифровой обработки сигналов

ADP201cP5 с двумя submodule ADMDDC4x16100M

1 шт.;

г) модуль тыльного ввода-вывода RTM-ADP201cP5

1 шт.;

д) модуль управления и синхронизации CM-cPCI-V4

1 шт.;

е) модуль тыльного ввода-вывода

RTM-CM-cPCI-V4 DMPL

1 шт.

В ПЭВМ по CompactPCI шине осуществляется передача радиолокационной информации. Кроме того, в ней реализуются управление и контроль вычислительного модуля ЦОС и некоторых параметров приемника (коэффициента шума, чувствительность, динамического диапазона и т.д.). ПЭВМ АПОИ также осуществляет первоначальную загрузку ПО модуля ЦОС

Согласно протоколам с потребителями информации АПОИ ПЭВМ формирует пакет данных и выдает их потребителям по Ethernet, используя протокол TCP/IP.

ПЭВМ представляет собой процессорный модуль промышленного выполнения CP6002, выполненный в форм-факторе cPCI4U. Процессорный модуль оснащен высокопроизводительным процессором Core2Duo с тактовой частотой не менее 1,6 ГГц. В состав ПЭВМ также входит высокоскоростное регистровое ОЗУ объемом не менее 2 Гбайт и высоконадежный HDD объемом не менее 140

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата						Лист
										36
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2					

Гбайт. ПЭВМ имеет два USB-разъема и четыре интерфейса Ethernet, допускающие одновременное подсоединение четырех потребителей информации.

1.5.1 Процессорный модуль CP6002-R1-1.5-2G

Процессорный модуль CP6002 имеет встроенную сетевую и видео карты.

Технические характеристики:

- системная магистраль CompactPCI 64bit;
- процессор Intel® Core™ i7 Dual Core 2.53 ГГц;
- объем оперативной памяти, Гб, не менее 2;
- объем твердотельного Flash накопителя, Гб 2;
- количество независимых сетевых интерфейсов Ethernet 4;
- скорость передачи данных по интерфейсу Ethernet, Мбит/с 10/100/1000;
- графический акселератор интегрированный;
- разрешающая способность, точек до 2048x1536;
- число цветов 16М;
- емкость видеопамяти, МБ до 128;
- частота развертки, Гц 50-75.

1.5.2 Субмодуль цифрового приема ADMDDC416x100M

Субмодуль ADVDDC416x100M имеет универсальное применение. Он позволяет вводить и обрабатывать сигналы с шириной спектра до 50 МГц (в режиме АЦП) и до 45 МГц (в режиме DDC) на ПЧ до 140 МГц.

Входной трансформаторный тракт сводит к минимуму искажения и шумы на входе АЦП. Два АЦП осуществляют аналого-цифровое преобразование с рядностью 16 с частотой дискретизации 80 МГц.

Внешний вид субмодуля показан на рисунке 11.

Ив. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Ив. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						37

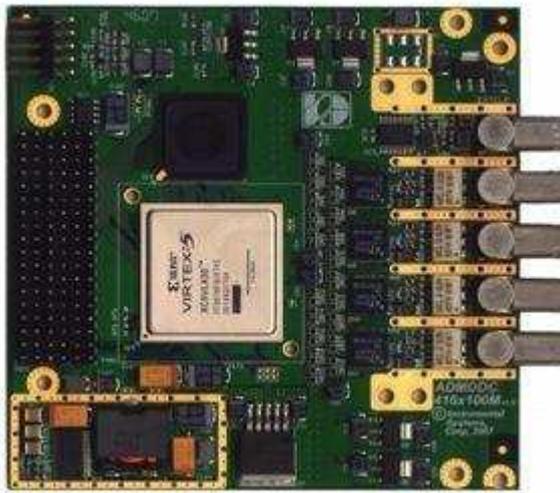


Рисунок 11 –Субмодуль ADMDDC416x100M

Субмодуль цифрового приема имеет следующие характеристики:

- полоса входных сигналов тракта АЦП по уровню – 3дБ, МГц 1-150;
- межканальное фазовое рассогласование на $f=21,4$ МГц, град, не более 2;
- величина межканальной развязки на $f=21,4$ МГц, дБ, не менее 90;
- свободный динамический диапазон АЦП (SFDA), дБ 85;
- максимальное отношение сигнал/шум на выходе АЦП (SNA), дБ 71;
- входное сопротивление, Ом 50.

1.5.1 Модуль процессора ЦОС ADP201cP5

На данном модуле выполняются операции, требующие высокой производительности. В первую очередь это относится к расчету коэффициентов корреляции междупериодной обработки.

Модуль ADP201cP5 разработан на основе процессора **TigerSHARC ADSP-TS201S**. В основе конструкции модуля использована технология AMD.

Модуль имеет типоразмер 6U и предназначен для построения систем сбора и обработки данных в реальном масштабе времени в составе промышленных компьютеров с системной шиной CompactPCI. Сбор данных осуществляется с помощью двух субмодулей, устанавливаемых в разъемы двух узлов интерфейса AMD, цифровая обработка выполняется с помощью пяти процессоров ЦОС ADSP-TS201S и двух ПЛИС Virtex4.

Имп. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Имп. № дубл.
Подп. и дата	
Изм	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

На вход ПЛИС AMD с выхода submodule цифрового приема поступают отсчеты принятого эхо-сигнала. В ПЛИС реализуются следующие этапы обработки цифрового приема:

- цифровое фазовое детектирование (ДДС);
- децимация выходных отсчетов до 10 МГц.;
- согласованная фильтрации простого и сложного сигналов;
- децимация отсчетов до частоты 1,25 МГц.

Внешний вид модуля ЦОС без submodule ADMDDC416x100M показан на рисунке 12.

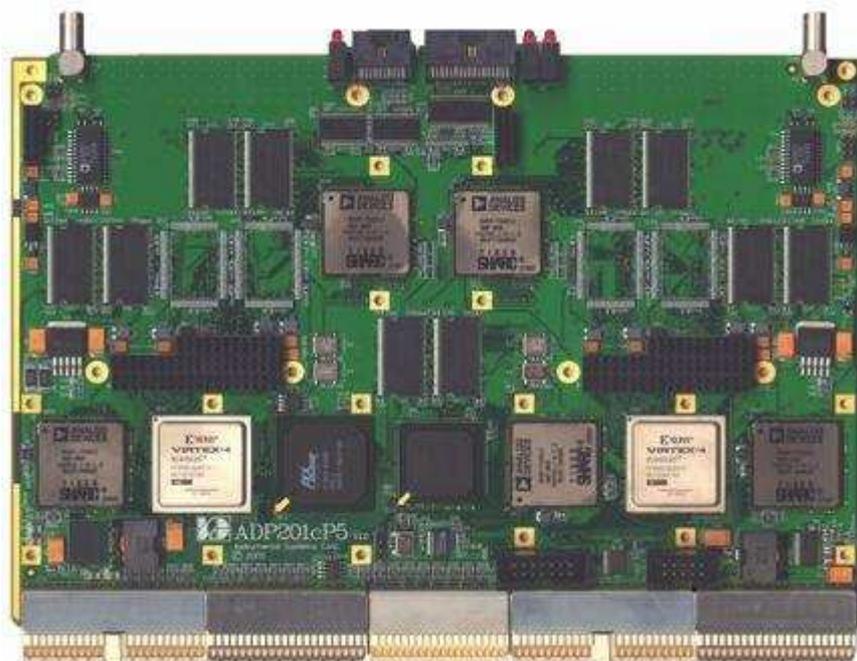


Рисунок 12 – Модуль процессора ЦОС ADP201cP5

Основные характеристики модуля следующие:

- 5 процессоров **TigerSHARC ADSP-TS201S**;
- производительность: пиковая до 15 GFlops;
- тактовая частота локальной шины 100 МГц.;
- динамическая память: пять банков SDRAM до 128 Мбайт каждый;
- 5 внешних линк-портов для межблочного обмена 500 Мбайт/сек каждый;
- FLASH память емкостью до 4 Мбайт;

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	
Изм	Лист
№ докум.	Подп.
Дата	

- интерфейс ADMPRO. Установка submodule ADM с уровнями LVTTTL/LVDS;
- две ПЛИС Virtex4 фирмы Xilinx емкостью до 6 млн.вентилей;
- цифровой порт: LVTTTL-16 бит или LVDS-8 бит;
- интерфейс с компьютером: CompactPCI 64 бит/66 МГц;
- формат печати платы: 6U;
- разъем JTAG для подключения эмулятора EMU-AD.

Структурная схема модуля приведена на рисунке 13.

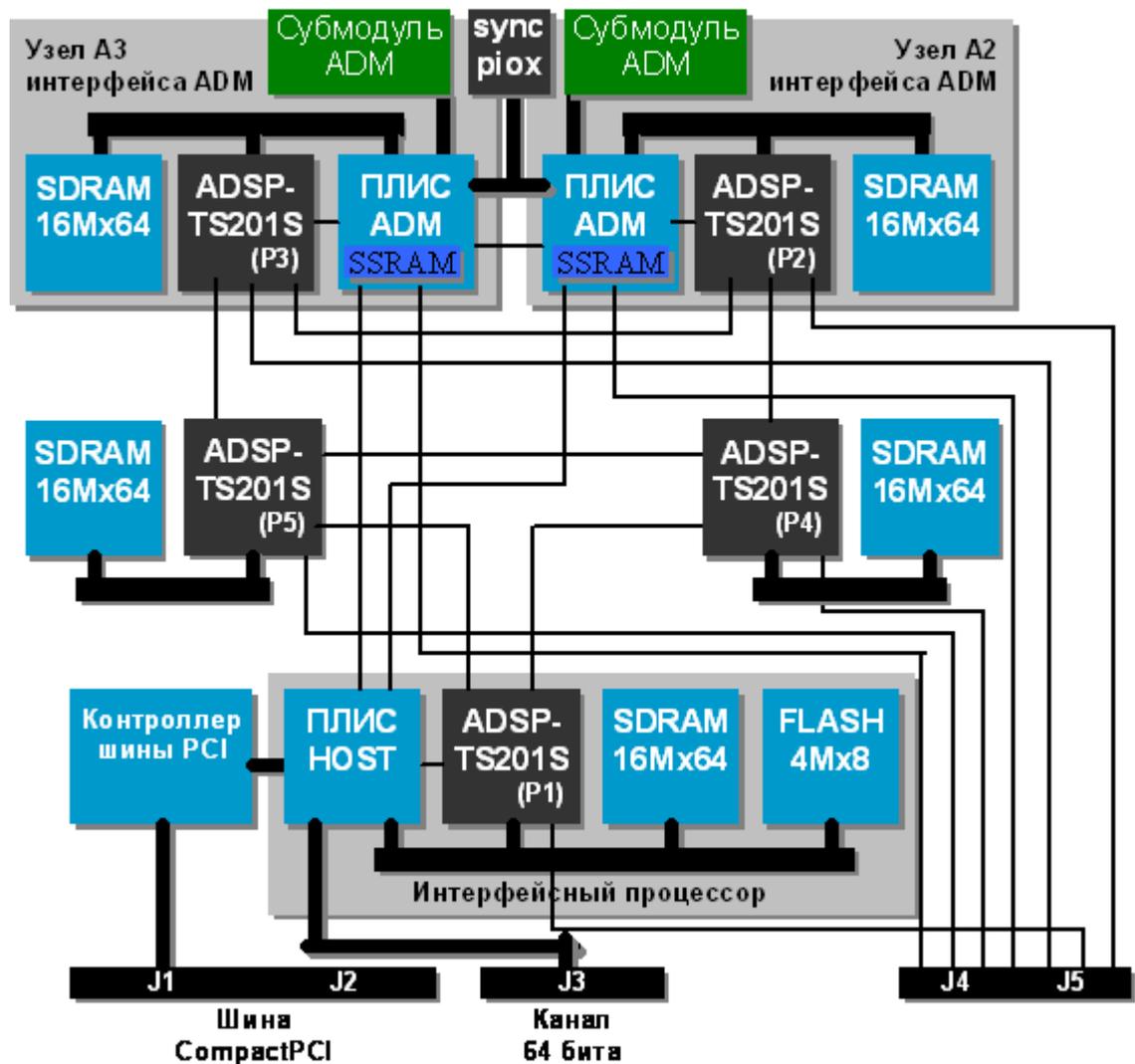


Рисунок 13 – Структурная схема модуля ЦОС ADP201cP5

На схеме показаны:

- процессор P1 для начальной загрузки, обмена с компьютером и управления процессами на плате;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Инвар. № подл.	Взам. инв. №	Инвар. № дубл.	Подп. и дата	

- процессоры P4 и P5 для обработки данных;
- процессор P2 для работы с узлом A2 интерфейса ADM;
- процессор P3 для работы с узлом A3 интерфейса ADM.

Обмен данными между процессором TigerSHARC и ПЭВМ АПОИ производится через контроллер PCI9656 и ПЛИС HOST.

Внутри ПЛИС реализованы двухпортовая память, FIFO и интерфейс процессора TigerSHARC.

1.5.2 Модуль CM-cPCI-V4

Модуль CM-cPCI-V4 предназначен для управления режимами обзора РЛК, синхронизации ячейки формирователей промежуточной частоты приёмной системы и модуля ЦОС, приема и обработки сигналов азимутального и угломестного кода, формирования кодов азимута, а также сигналов МАИ и СЕВЕР для ВРЛ; для приема кода текущего времени и передачи управляющей информации для модулей синхронизации и времени (МСВ) (ячеек Д2ВБ010); привязки времени к азимуту.

Управление модулем осуществляется по шине CompactPCI центральным процессором ЭВМ посредством обращения к программно-доступным регистрам, отображённым в пространство памяти. Обмен информацией осуществляется в программном режиме по 32-разрядной шине данных.

1.5.3 Модуль тыльного ввода-вывода RTM-CM-cPCI-V4-DMRL

Модуль RTM-CM-cPCI-V4 DMRL предназначен для сопряжения входных и выходных уровней сигналов с уровнями модуля управления и синхронизации CM-cPCI-V4.

1.5.4 Модуль тыльного ввода-вывода RTM-ADP201cP5

Модуль RTM-ADP201cP5 предназначен для сопряжения входных и выходных уровней сигналов с уровнями сигналов модуля ЦОС ADP201cP5.

Изн. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изн. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЦИВР.462414.007 РЭ2	Лист
						41

1.6 Ячейка Д2ПУ080

Ячейка Д2ПУ080 ЦИВР.468528.002 предназначена для разветвления сигнала опорной частоты, формируемого ячейкой Д2ХК257 приёмной системы, назначенной основной, на четыре входа двух модулей ADP201cP5 обоих вычислителей.

1.7 Консольная панель RACKMUX-V17-4USB

Консольная панель RACKMUX-V17-4USB предназначена для электронного коммутации подключения монитора, клавиатуры и манипулятора «мышь» к любому из процессорных модулей блока 534BK01 и блока управления антенной по необходимости. Выбор канала подключения осуществляется оператором в ручном режиме с помощью клавиатуры переключателя. Консольная панель состоит из выдвигаемого монитора и клавиатуры со встроенным сенсорным устройством Touchpad, выполняющим функции манипулятора "мышь".

Монитор имеет экран горизонтальной ориентации размером 17" (42 см) по диагонали.

Монитор используется во время контрольных и регламентных работ и предназначен для отображения информации от АСКУ с индикацией результатов контроля работоспособности аппаратуры РЛК и информации блока управления антенной. Клавиатура предназначена для оперативного управления и при регулировочных и регламентных работах.

Основные технические характеристики:

- диагональ экрана, дюйм 17;
- интерфейс монитора VGA;
- количество клавиш, шт. 101;
- ход клавиши, мм 4;
- число нажатий 10000000;
- интерфейс клавиатуры USB.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЦИВР.462414.007 РЭ2

Лист

42

1.8 Коммуникатор UC-7110-LX

Коммуникатор UC-7110-LX предназначен для использования в качестве контроллера канала последовательной передачи данных канала обмена. Коммуникатор оборудован двумя мультипротокольными коммуникационными портами стандартов RS-232/422/485 и двумя сетевыми портами FastEthernet стандарта 100Base-TX.

Обмен информацией между коммуникаторами и ЭВМ ВОИ осуществляется по локальной сети Ethernet стандарта 100Base-TX.

С помощью коммуникатора выполняется взаимодействие через порты P1 и P2 (в режиме RS-485) с абонентами канала обмена АСКУ под управлением ПК АСКУ.

1.9 Система синхронизации и времени

Система синхронизации и времени предназначена для обеспечения синхронизации функционирования технических средств аппаратуры сигнальной первичной и вторичной обработки информации РЛК с использованием сигналов глобальных спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и NAVSTAR (GPS).

В состав системы входят субблок синхронизации и времени 973ВБ01 и два модуль CM-sPCI-V4 из состава блока 534ВК01.

1.9.1 Субблок 973ВБ01

Субблок 973ВБ01 ЦИВР.468784.011 предназначен для транслирования информации от двух модулей Д2ВБ010 к четырем абонентам по основному и резервному каналам и состоит из двух модулей Д2ВБ010 и двух объединительных плат.

Напряжение субблока $+27\text{ В} \pm 10\%$.

Ток потребления субблока не менее 1 А в режиме постоянной работы и не более 1,5 А в течение 5 мин с момента включения.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

										ЦИВР.462414.007 РЭ2					Лист
															43

1.9.2 Ячейка Д2ВБ010

Ячейка синхронизации и времени Д2ВБ010 ЦИВР.468784.012 обеспечивает:

- транслирование от спутникового навигационного приемника К-161 информации;
- выделение кода текущего времени из кодограммы ID-149 протокола обмена с приемником спутниковой навигации К-161 в формате "BINARYt" для синхронизации часов реального времени;
- формирование выходного сигнала секундного отсчета от приемника К-161 при поступлении от него информации и наличии импульса секундного отсчёта (PPS), а при пропадании – от внутренних часов реального времени.

В состав ячейки входят:

- приемник типа К-161 сигналов глобальных навигационных систем ;
- узел преобразования уровней TTL-сигналов и интерфейса RS-232C в уровни стандарта RS-422A;
- узел формирования сигналов реального времени;
- узел вторичных источников питания.

Время готовности информации определяется спутниковым навигационным приемником.

Количество направлений – 4.

Напряжение питания $+27\text{ В} \pm 10\%$.

Ток потребления ячейки не более 0,5 А в режиме постоянной работы и не более 1 А в течение 5 мин с момента включения.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЦИВР.462414.007 РЭ2

Лист
44

ПОИ	- первичная обработка информации
ППС	- признак пилот-сигнала
ПС	- пилот-сигнал
РЛИ	- радиолокационная информация
СКР	- сектор контроля и регулирования
СРС	-средняя радиальная скорость
СФ	-согласованный фильтр
ТТЛ	- транзисторно-транзисторная логика
УУВК	-удаленный управляющий вычислительный комплекс
УСС	-устройство сшивки сигналов
ФНЧ	-фильтр нижних частот
ЦОС	- цифровая обработка сигналов
ЦП	- цифровой процессор
ЦПОС	- цифровой процессор обработки сигналов
ЦФД	- цифровой фазовый детектор
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина
ЭМИ	- электромагнитное излучение
ЭМС	-электромагнитная совместимость

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ЦИВР.462414.007 РЭ2

Лист

46

