

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Факультет «Высшая школа электроники и компьютерных наук»
Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ И.О.Ф.

“ ___ ” _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ИКТ

_____ С.Н. Даровских

“ ___ ” _____ 2018 г.

Иммитационная модель устройства защиты от уводящих помех по дальности и скорости

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ВКР)
ЮУрГУ – Д.11.05.01.2018.318.00 ПЗ

Консультанты:

По экономике

_____ Н.С. Дзензелюк

“ ___ ” _____ 2017 г.

Руководитель работы:

_____ В.В. Спицын

“ ___ ” _____ 2017 г.

По БЖД

_____ И.С.Окраинская

“ ___ ” _____ 2017 г.

Автор работы:

студент группы КЭ-609

_____ К.Э. РЫЖКИН

“ ___ ” _____ 2017 г.

Нормоконтролер:

_____ В.Д. Спицына

“ ___ ” _____ 2018 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Анализ технического задания	8
1.1 Цели и задачи радиоэлектронной защиты	8
1.2 Оценка помехозащищённости РЛС	9
1.3 Задание для выпускной квалификационной работы	12
2 Цель работы	13
3 Принципы измерения дальности и скорости.....	14
3.1 Измеритель дальности и радиальной скорости.....	14
3.2 Измеритель скорости и ускорения РЛС	21
4 Уводящие помехи. Способы устройства защиты дальности и скорости от уводящих помех.....	25
4.1 Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по дальности.....	25
4.2 Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по скорости.....	29
4.3 Способы устройства защиты дальности и скорости.....	32
4.3.1 Общие сведения.....	32
4.3.2 Амплитудная селекция сигналов.....	33
4.3.3 Фазовая селекция сигналов	35
4.3.4 Особенности защиты РЛС, работающих в режиме автоматического сопровождения цели	37
4.4 Устройствта защиты от уводящих помех	38
4.5 Практические способы защиты от уводящих помех по дальности.	42
4.6 Практические способы защиты от уводящих помех по скорости.....	48
5 Реализация модели в графической среде имитационного моделирования Simulink	59

6 Испытания и тесты реализованной модели, выводы.....	62
7 Организационно-экономический раздел.....	65
7.1.1 Построение сетевого графика	65
7.1.2 Расчёт параметров сетевого графика	70
7.1.3 Расчёт параметров работ сетевого графика.....	71
7.2 Расчет затрат на проведение НИОКР	74
7.3 Анализ технико-экономической эффективности	76
8 Безопасность жизнедеятельности.....	77
8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ).....	77
8.2 Требования к помещениям	77
8.3 Требования к микроклимату	78
8.4 Требования к освещению	79
8.5 Требования к уровню электромагнитных полей на рабочем месте.....	81
8.6 Требования к уровням шума и вибрации.....	82
8.7 Требования к рабочему месту	83
8.8 Анализ собственного рабочего места.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	87

ВВЕДЕНИЕ

В начале XX века после внедрения в армии и на флоте средств радиосвязи воюющие страны в ходе боевых действий стали вести радиоразведку и создавать радиопомехи. Помехи радиосвязи затрудняли, а иногда и срывали управление войсками по радио, что оказывало влияние на ход и исход боевых действий.

По мере появления в армии и на флоте новых радиоэлектронных средств связи, а в дальнейшем - радиолокации, навигации, управления оружием и военной техникой, задачи радиоразведки и возможности радиопомех неуклонно расширялись, а их влияние на боевые действия возрастало. Одновременно совершенствовались меры по обеспечению скрытности от разведки и сохранению работоспособности РЭС своих войск в условиях воздействия на них радиопомех противоборствующей стороны. В области радиоэлектроники развернулась напряженная борьба, получившая название радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Радиоэлектронная борьба, являясь важнейшей составляющей современных войн, ведется практически всеми структурными звеньями вооруженных сил. При этом ее масштаб резко возрастает по мере сближения противоборствующих сторон. Развитие и совершенствование средств и способов ведения вооруженной борьбы, увеличение пространственного размаха современных боевых действий приводят к тому, что радиоэлектронная борьба становится одним из основных видов боевого обеспечения, без которого невозможно с высокой эффективностью выполнить практически ни одну из задач, стоящих перед Вооруженными Силами и, в частности, перед Военно-воздушными силами.

Изучая динамику развития РЭБ, необходимо отметить, что по мере совершенствования средств и способов ее ведения, менялись и ее цели, задачи и содержание.

В представленной выпускной квалификационной работе разрабатывается модель в среде имитационного моделирования Simulink, которая представляет собой имитацию полёта ракеты на цель, постановку уводящих помех по дальности и скорости для ракеты, реализацию помехозащиты.

Модель работает в условиях уводящих помех по дальности и скорости, успешно противостоит уводящим помехам по дальности и скорости.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были изучены основные алгоритмы помехозащиты, структурные схемы устройств защиты, которые в последствии были реализованы в модели.

1 Анализ технического задания

1.1 Цели и задачи радиоэлектронной защиты

Защита радиоэлектронных средств от воздействия помех и огневого поражения противника является составной частью РЭБ.

Радиоэлектронная защита организуется и проводится в целях обеспечения устойчивой работы радиоэлектронных систем и средств управления своими войсками и оружием в условиях преднамеренных и взаимных помех. Она представляет собой совокупность мероприятий и действий войск (сил) по устранению (ослаблению) воздействия на свои радиоэлектронные объекты средств радиоэлектронного поражения противника, электромагнитных и ионизирующих излучений, возникающих при применении ядерного оружия, и непреднамеренных (взаимных) радиоэлектронных помех (обеспечение ЭМС РЭС своих войск), а также по защите войск, вооружений и военной техники (ВВТ) и военных объектов (ВО) от технических средств разведки противника.

Радиоэлектронная защита обеспечивается выполнением как технических, так и организационных мероприятий.

Технические способы защиты реализуются при разработке и в процессе модернизации РЭС. К ним относится применение специальных схем и устройств, а также более совершенных (помехоустойчивых) алгоритмов обработки информации, обеспечивающих уменьшение или устранение влияния помех на РЭС.

Организационные способы защиты осуществляются в процессе боевого применения РЭС. Организационные и технические мероприятия должны сочетаться с уничтожением и радиоэлектронным подавлением средств РЭБ противника, а также с мероприятиями по противодействию его техническим средствам разведки (ТСР), уменьшению демаскирующих признаков деятельности нашей военной техники и войск.

Одним из важнейших организационных мероприятий, направленных на решение задач радиоэлектронной защиты, является подготовка личного состава к работе в

условиях помех. Штурман должен принять все зависящие от него меры по устранению или уменьшению влияния помех на эксплуатируемые им РЭС. Это достигается с помощью специальных органов управления аппаратурой. Успешная работа штурмана в сложной помеховой обстановке должна базироваться на глубоком усвоении им физических принципов воздействия помех на эксплуатируемое РЭС, знании факторов, повышающих устойчивость работы данного средства, умении максимально использовать его технические возможности по отстройке от помех.

1.2 Оценка помехозащищенности радиоэлектронных систем

Под помехозащищенностью радиоэлектронных средств или комплексов понимается способность их эффективно работать (выполнять свои функции в пределах ТТХ) при одновременном ведении противником радиоразведки и создании радиопомех (подавлении). Помехозащищенность РЭС обеспечивается их скрытностью и помехоустойчивостью (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Структура помехозащищенности

Скрытность (скрытие) заключается в устранении или ослаблении демаскирующих признаков вооружения, военной техники и военных объектов и характеризует возможность системы противостоять разведке противника и, тем самым, затруднять организацию радиоэлектронного подавления.

Оно осуществляется силами и средствами войск (сил), прежде всего подразделений, экипажей, расчетов, а также применением сил и средств специальных войск и достигается: маскировочным окрашиванием, применением поглощающих (рассеивающих) покрытий и материалов, пен и аэрозолей для снижения оптической, тепловой, радиолокационной и акустической заметности вооружения, военной техники и военных объектов ВВС; применением табельных средств скрытия и местных материалов; размещением и перемещением войск (сил) и военных объектов с учетом

(использованием) маскирующих свойств местности, естественных и искусственных укрытий, состояния погоды, времени года, суток и других условий ограниченной видимости; распятением (изменением фона) местности, применением растительности и другими приемами. Скрытие осуществляется постоянно, без специальных на то указаний вышестоящего штаба.

Демаскирующие признаки – это измеряемые и фиксируемые техническими средствами разведки противника характеристики объектов войск, вооружения и военной техники, а также создаваемые или изменяемые ими в ходе подготовки и ведения боевых действий физические поля, используя которые противник способен вскрыть объекты ВВС с заданной точностью, определить их принадлежность, характер деятельности и замысел применения. Все демаскирующие признаки делятся на демаскирующие признаки объектов и демаскирующие признаки планируемых действий (намерений).

Демаскирующие признаки объектов классифицируются на видовые и деятельности.

Видовыми демаскирующими признаками являются признаки, свойственные непосредственно объектам. К ним относятся: размеры, цвет, форма объектов; состав материала их изготовления; излучаемые или отражаемые физические поля и др.

Демаскирующие признаки деятельности возникают в результате деятельности войск. К ним относятся: перемещение личного состава и техники, излучение энергии в акустическом, тепловом, оптическом и радиодиапазонах частот и др. Демаскирующие признаки планируемых действий характеризуют рост интенсивности деятельности всех видов разведки в определенных районах, изменение характера и интенсивности работы радио-, радиотехнических средств, средств РЭБ и др.

Помехоустойчивость является характеристикой качества работы системы при воздействии на нее организованных помех.

В качестве критерия оценки помехозащищенности системы или устройства может быть принята, например, вероятность $W_{пз}$ выполнения этой системой своих задач в условиях ведения противником радиоэлектронного противодействия.

Количественными показателями скрытности и помехоустойчивости являются величины $W_{дп}$ и $W_{п}$, представляющие собой, соответственно, вероятность воздействия организованных помех и вероятность успешного решения РЭС своих задач в условиях воздействия организованных помех. Связь между этими величинами устанавливается формулой полной вероятности:

$$W_{пз} = W_{дп} W_{п} + (1 - W_{дп}) W_{оп},$$

где $W_{оп}$ – вероятность успешного решения РЭС своих задач в условиях отсутствия организованных помех.

Необходимо учесть, что вероятность $W_{дп}$ характеризует не только скрытность радиоэлектронной системы, но и эффективность средств разведки противника. Как правило, повышение скрытности работы радиоэлектронных систем осуществляется путем проведения организационных мероприятий. Однако на повышение скрытности существенное влияние оказывает и правильный выбор тактико-технических характеристик РЭС (например, ширины диаграммы направленности антенны, обеспечение возможности перестройки частоты и т.д.).

Помехоустойчивость радиоэлектронных средств повышается за счет использования технических способов, базирующихся на достижениях в области теории и практики оптимальной обработки радиосигналов. При проектировании современных радиоэлектронных устройств и систем учитывается помеховая обстановка, в которой им предстоит функционировать, и реализуются такие способы обработки сигналов, которые обеспечивают максимальное уменьшение влияния организованных и естественных помех. Кроме того, в РЭС должна быть предусмотрена возможность адаптации, т.е. приспособления к различным изменениям помеховой обстановки. В случае изменения параметров помеховых сигналов или вида помех радиоэлектронные устройства должны изменять свои параметры, а

возможно, и структуру. Такие изменения могут быть выполнены как автоматически, так и оператором (штурманом).

1.3 Задание для выпускной квалификационной работы

В данной выпускной квалификационной работе требуется разработать модель в среде имитационного моделирования Simulink, которая состоит из ракеты, цели, уводящих помех по дальности и скорости, которые воздействуют на ракету. Для реализации нам потребуются: модель передатчика, модель приёмника, модель антенной системы, модель ракеты, модель цели, модель БЦВМ, модель обнаружителя цели, модель станции активных помех (САП).

Чтобы реализовать модель, нужно ознакомиться с теоретическими основами о уводящих помехах по дальности и скорости, изучить алгоритмы защиты, ознакомиться со структурными схемами устройств защиты и реализовать всё выше перечисленное в среде имитационного моделирования Simulink.

2 Цель работы

Разработать модель устройства защиты от уводящих помех по дальности и скорости в графической среде имитационного моделирования Simulink. Провести исследование разработанной модели при воздействии уводящих помех по дальности и скорости.

В качестве прототипа использовать устройство, применяемое в головке самонаведения (ГСН) ракет класса «воздух-воздух».

3 Принципы измерения дальности и скорости

3.1 Измеритель дальности и скорости РЛС

Квазинепрерывные сигналы подсвета цели нашли широкое применение в РЛС истребителей. При использовании в РЛС импульсного сигнала с ВЧП селекция по дальности отличается от селекции, выполняемой в РЛС с НЧП импульсов. Относительно малая энергия сигнала с ВЧП в одном импульсе не позволяет осуществлять селекцию по дальности непосредственно по каждому импульсу. Отсюда следует необходимость предварительного накапливания полезных сигналов для обеспечения достаточно большого отношения энергии сигнала к спектральной плотности шума. Спецификой применения сигналов с ВЧП является неоднозначность отсчета дальности, обусловленная тем, что время запаздывания отраженных импульсов может превышать период повторения зондирующих импульсов. Это предопределяет необходимость применения того или иного способа устранения неоднозначности. Обычно такая задача решается в процессе формирования начальных условий для следящей системы и на ее работу никак не влияет. В то же время наличие мертвых зон, вызываемых попаданием отраженных сигналов во временные участки бланкирования приемника, непосредственно влияет на функционирование дальномера.

Структурная схема одного из вариантов дальномерного канала РЛС, выполняющего автосопровождение цели при импульсном сигнале с ВЧП, приведена на рисунке 3.1, а диаграммы ее работы на рисунке 3.2. Особенностью рассматриваемого дальномера является использование в нем БЦВМ, с помощью которой часть задач решается на алгоритмическом уровне.

Синхронизатор С (рисунок 3.1) вырабатывает импульсы u_3 , запуска передатчика ПРД и u_6 бланкирования (запирания) приемника (2а). Запирание ПРМ предотвращает его перегрузку за счет проникновения мощного зондирующего сигнала ПРД. Однако бланкирование ПРМ на время излучения импульсов ПРД приводит к появлению мертвых зон - временных интервалов τ_6 для которых

отраженные от цели сигналы не будут обрабатываться в ПРМ вследствие его записания бланкирующими импульсами u_6 . Следовательно, информация о целях, заключенная в сигналах, которые попадают в мертвые зоны, будет утрачена.

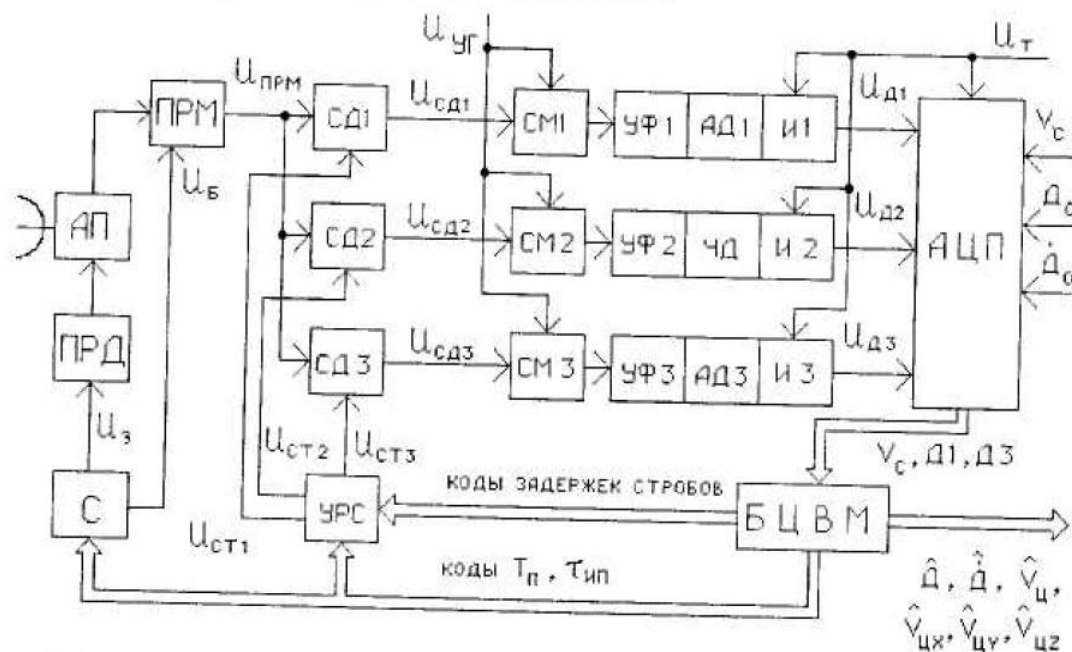


Рисунок 3.1 – Структурная схема дальномерного канала

Во избежание этого целесообразно изменять частоту повторения $F_{\Pi} = 1/T_{\Pi}$ (рисунок 3.2а) так, чтобы сигналы сопровождаемой цели попадали в зону прозрачности $T_{\Pi} - \tau_6$ между бланкирующими импульсами. Отраженные от цели сигналы через антенный переключатель АП (рисунок 1) поступают на вход ПРМ, где усиливаются и преобразуются на промежуточную частоту

$$f_{\text{пр1}} = f_{\text{пр0}} + F_{\text{д}}. \quad (3.1)$$

Здесь: $f_{\text{пр0}}$ - промежуточная частота, $F_{\text{д}}$ - доплеровское смещение частоты принимаемых сигналов.

Из ПРМ импульсы $u_{\text{прм}}$ (рисунок 3.2,б) с частотой $f_{\text{пр1}}$, запаздывающие на время $t_3 = 2D/c$ по отношению к излучённым сигналам, подаются на селекторы дальности СД1-СД3, которые отпираются соответствующими импульсами стробов $u_{\text{ст1}}$, $u_{\text{ст2}}$, $u_{\text{ст3}}$, (рисунок 3.2, в,г). Временное положение этих стробов определяется устройством расстановки стробов УРС по кодам задержек, формируемым БЦМВ. При этом положение строба $u_{\text{ст2}}$ (рисунок 3.2, в) соответствует времени задержки

$t_3=2D_3/c$, где D_3 – экстраполированная дальность. Стробы $u_{ст1}$ и $u_{ст3}$ расположены симметрично относительно середины $u_{ст2}$ (рисунок 3.2в,г).

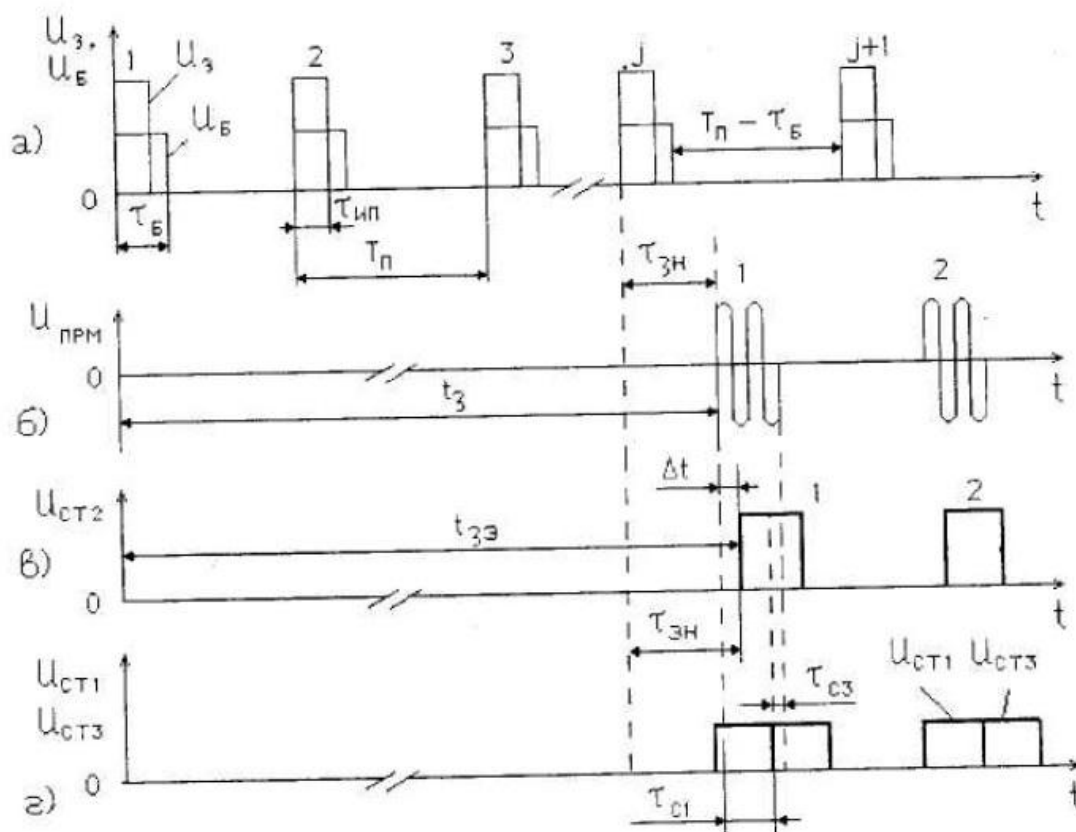


Рисунок 3.2 – Временные диаграммы работы дальномерного канала

Длительность τ_{c1} и τ_{c3} импульсов на выходе селекторов определяются временем перекрытия отражённого сигнала $u_{пкм}$ и стробов $u_{ст1}$ и $u_{ст3}$. Таким образом, информация о временном рассогласовании Δt (рисунок 2б,в) экстраполированного строба $u_{ст2}$ и отражённого импульса $u_{пкм}$ переносится в длительности τ_{c1} и τ_{c3} и выходных импульсов селекторов СД1 и СД3.

Сигналы с выходов селекторов поступают на смесители СМ1-СМ3 (рис.1), на входы которых подаются сигналы $u_{уг}$ управляемого гетеродина с частотой $f_{уг}$. Эта частота формируется в специальном измерителе скорости сближения так, что её приращения равны приращениям доплеровской частоты F_d . С учётом (1) частота

$$f_{пр2} = f_{уг} - f_{пр1} = f_{уг} - f_{пр0} - F_d, \quad (3.2)$$

на выходе смесителей остаётся постоянной даже при изменении F_d . Выполнение такой операции даёт возможность использовать для дальнейшего выделения

полезных сигналов высокочастотные узкополосные фильтры УФ1, УФ2, УФ3 с постоянной настройкой на частоту $f_{\text{пр}20}$.

При поступлении сигналов с частотой $f_{\text{пр}2}$ на узкополосные фильтры УФ1 и УФ3 и амплитуды вынужденных колебаний $u_{\text{ф}1}$ и $u_{\text{ф}3}$ на их выходах будут пропорциональны времени $\tau_{\text{с}1}$ и $\tau_{\text{с}3}$ воздействия входных импульсов, а соответственно и временами совпадения селекторных импульсов $u_{\text{ст}1}$ и $u_{\text{ст}3}$ с отражённым сигналом (рисунок 3.2б,г). После окончания селекторных импульсов $u_{\text{сд}1}$ и $u_{\text{сд}3}$ (рисунок 3.1) в фильтрах УФ1 и УФ3 будут существовать собственные слабозатухающие колебания вплоть до прихода следующих импульсов $u_{\text{сд}1}$ и $u_{\text{сд}3}$, после чего процессы будут повторяться. В результате информация о временном рассогласовании Δt (рисунок 3.2б,в), заранее заключённая в длительностях $\tau_{\text{с}1}$ и $\tau_{\text{с}3}$ импульсов селекторов, переходит в амплитуду непрерывных колебаний. Эти колебания детектируются в амплитудных детекторах АД1 и АД3, после чего накапливаются в интеграторах И1 и И3. Накопление осуществляется в течении времени $T_{\text{т}}$, представляющего собой период тактовых импульсов $u_{\text{т}}$ обращения к БЦВМ, после чего содержимое интеграторов сбрасывается и процесс накопления повторяется. При поступлении тактовых импульсов и, перед сбросом накопленные интеграторами сигналы поступают в АЦП, где преобразуются в соответствующие цифровые коды Д1 и Д3, которые подаются в БЦВМ.

В дальномерном канале БЦВМ решает следующие задачи: реализует алгоритм временного различителя, позволяющего измерить временное рассогласование Δt (рисунок 3.2б,в) экстраполированного импульса $u_{\text{ст}2}$ и отраженного сигнала $u_{\text{пр}м}$; вычисляет оценки дальности \hat{D} и скорости \hat{V} необходима для самонаведения; формирует оценки $\hat{V}_{\text{ц}}$ собственной скорости цели, необходимые для экстраполяции её пространственного положения; рассчитывает период повторения $T_{\text{п}}$, обеспечивающий попадание отражённого сигнала в зону прозрачности $T_{\text{п}} - \tau_{\text{б}}$ (рисунок 3.2а,б); для выбранного периода повторения $T_{\text{п}}$ вычисляет длительность импульсов $\tau_{\text{ип}}$ передатчика, обеспечивающую постоянство средней энергии излучаемых сигналов.

Временной цифровой дискриминатор можно реализовать так:

$$\Delta D(n) = D(n) - D_3(n) = AK_{ад} \sigma_{тип} (n) / 2, \quad (3.3)$$

$$A = \frac{D_3(n) - D_1(n)}{D_3(n) + D_1(n)}. \quad (3.4)$$

Здесь $D(n)$ - дальность до цели, измеряемая на n -м цикле по времени запаздывания t_3 , отраженного сигнала (рисунок 3.2,б); $D_3(n)$ - код экстраполированной дальности, определяемой задержкой $t_{3э}$ строба $u_{ст2}$ (рисунок 3.2,в); $\Delta D(n)$ - код рассогласования реальной и экстраполированной дальности; $D_1(n)$ и $D_3(n)$ - коды, характеризующие время (дальность) перекрытия стробов $u_{ст1}$, и $u_{ст3}$ с отраженным сигналом; $\sigma_{тип}/2$ дискрет дальности, определяемый длительностью импульса $\tau_{ип}$; $K_{ад}$ - коэффициент преобразования АЦП, представляющий цену младшего разряда БЦВМ.

Безразмерная величина A (3.4) представляет относительное временное рассогласование Δt (рисунок 3.2в). Если отраженный сигнал $u_{прм}$ полностью совпадает со стробом $u_{ст1}$ ($D_1(n)=1$, $D_3(n)=0$), то $A = -1$. Когда отраженный сигнал совпадает со стробом $u_{ст3}$ ($D_1(n)=0$, $D_3(n)=1$), $A=1$. Во всех остальных случаях $-1 < A < 1$.

Оценки дальности \hat{D} и скорости $\hat{\dot{D}}$ формируются по алгоритму α - β -фильтрации:

$$D_3(n) = D(n-1) + T_T \hat{\dot{D}}(n-1), \quad \hat{D}(0) = D_0; \quad (3.5)$$

$$\hat{\dot{D}}(n) = D_3(n) + \alpha \Delta D(n); \quad (3.6)$$

$$\hat{D}(n) = \hat{D}(n-1) + \frac{\beta}{T_T} \Delta D(n), \quad \hat{\dot{D}}(0) = \dot{D}_0. \quad (3.7)$$

Начальные условия для D_0 и \dot{D}_0 (3.5) и (3.7) определяются в режиме захвата цели, а коды $\Delta D(n)$ формируются в процессе реализации (3.3) и (3.4). Алгоритм с α - β -фильтрацией базируется на использовании прогноза (экстраполяции) D и \dot{D} на основе гипотезы относительного движения с постоянной скоростью. Поскольку на практике дальность может меняться с переменной скоростью и имеют место ошибки экстраполяции, то результат прогноза дальности и скорости в (3.6) и (3.7) корректируется по результатам измерения дальности с

помощью РЛС. Постоянные коэффициенты α и β в (3.6) и (3.7), учитывающие вес корректирующих поправок АД (3) при формировании оценок \hat{D} и $\hat{\dot{D}}$, определяются исходя из требования устойчивости дальномера в целом.

По экстраполированной дальности (3.5) в БЦВМ вычисляются коды задержки стробов, поступающих в устройство задержки стробов УРС, которое определяет временное положение стробов $u_{ст1}$, $u_{ст2}$, $u_{ст3}$ на временной оси (рисунок 3.2 в,г). Сформированные в (3.5) - (3.7) оценки дальности \hat{D} и скорости $\hat{\dot{D}}$ используют в алгоритмах наведения на сопровождаемую цель.

Для прогнозирования пространственных эволюций цели необходимо знать не только значение (модуль), но и направление вектора скорости цели $V_{ц}$. Для его оценивания в БЦВМ вычисляются три проекции $\hat{V}_{цх}$, $\hat{V}_{цy}$, $\hat{V}_{цz}$, в невращающейся системе координат XYZ. Один из наиболее простых способов оценивания этих проекций основан на предположении равенства вектора относительной скорости $V_{отн} = V_c - V_{ц}$ и вектора оценки скорости сближения $V_{сб} = -\hat{\dot{D}}$. Тогда из векторного равенства $\hat{V}_{ц} = \hat{V}_c - \hat{V}_{сб}$ следуют скалярные тождества:

$$\hat{V}_{цх} = \hat{V}_{сх} - \hat{V}_{сбх}, \hat{V}_{цy} = \hat{V}_{сy} - \hat{V}_{сбы}, \hat{V}_{цz} = \hat{V}_{сz} - \hat{V}_{сбz}. \quad (3.8)$$

Для реализации (8) векторы собственной скорости и скорости сближения представляются в виде проекций в той же системе координат, что и вектор $V_{ц}$.

Расчет периода повторения $T_{п}$, обеспечивающего попадание отраженного сигнала в зону прозрачности (рисунок 3.2а,б), начинается с вычисления времени задержки

$$T_{зз} = 2D_0/c, \quad (3.9)$$

экстраполированного строба $u_{ст2}$ в следующем такте. В свою очередь

$$t_{зз} = N_{кр} T_{п} + \tau_{эн}, \quad (3.10)$$

где $N_{кр}$ – кратность неоднозначности, определяемая числом целых периодов $T_{п}$ входящих в состав интервала $t_{зз}$; $\tau_{эн}$ – временное (неоднозначное) запаздывание $u_{ст2}$ по отношению к предыдущему импульсу ПРД (рисунок 3.2, в). Из (3.10) следует, что при фиксированном значении $t_{зз}$ изменением $T_{п}$ и $N_{кр}$ можно реализовать значение $\tau_{эн}$, в том числе и такое, которое обеспечивает размещение строба $u_{ст2}$

примерно посередине зоны прозрачности (рисунок 3.2 а,в). Эта задача решается следующим образом.

В память ЦВМ закладывается массив значений T_{ni} , периодов повторения ($i=\overline{1, N}$), для каждого из которых вычисляется относительная задержка

$$Q_{zi} = t_{z3} / T_{ni} = N_{kpi} + t_{эни} / T_{ni} = N_{ki} + Q_i. \quad (3.11)$$

В (3.11) t_{z3} определяется (3.9), а Q_i относительная неоднозначная задержка. Кратность вычисляется по правилу $N_{kpi} = ENT[Q_{zi}]$, где ENT операция взятия наименьшего целого. Тогда из (3.11) следует, что $Q_i = Q_{zi} - ENT[Q_{zi}]$. Задавшись неоднозначным относительным положением строба Q_0 , которое соответствует середине зоны прозрачности, можно для каждого T_m вычислить разность

$$\Delta Q_i = |Q_i - Q_0|. \quad (3.12)$$

Период T_{ni} , для которого (3.12) будет наименьшей, обеспечивает попадание отраженного сигнала в зону прозрачности.

Длительность $\tau_{ини}$ импульсов, позволяющая при выбранном периоде T_{ni} обеспечить постоянство средней мощности передатчика, определяется по формуле $\tau_{ини} = T_{ni} / Q$, где Q - заданная скважность импульсов.

Вычисленные значения T_{ni} и $\tau_{ини}$ в виде цифровых кодов поступают из БЦВМ в синхронизатор (рисунок 3.1), который на следующем такте и формирует последовательность импульсов с соответствующим периодом повторения T_{ni} и длительностью $\tau_{ини}$.

Если в процессе функционирования РЛС имеют место кратковременные пропадания сигналов $u_{прм}$, то ΔD в (3.6) и (3.7) становится равным нулю и дальномер переходит в режим памяти. В этом режиме \hat{D} получается в результате экстраполяции (3.5) на основе значения скорости \hat{D} , имевшей место на момент пропадания сигналов.

При использовании СЧП алгоритм формирования оценок дальности и скорости (3.3) - (3.7) остается тем же, что и при ВЧП. Для дальномерного канала при СЧП специфично усложнение алгоритма выбора частоты (периода) повторения импульсов РЛС, поскольку при работе по низколетящим целям в спектре

отраженного сигнала отсутствуют зоны, свободные от мешающих отражений. Наибольшую интенсивность мешающие отражения имеют в альтиметровой зоне и в зоне главного лепестка ДН. В связи с этим при СЧП период следует рассчитывать так, чтобы исключить попадание отраженного сигнала как в мертвую зону, так в альтиметровую и зону главного лепестка ДН [1].

3.2 Измеритель скорости и ускорения РЛС

В режиме СОЦ измеритель скорости и ускорения, входящий в состав импульсно-доплеровской РЛС, позволяет непрерывно получать точную информацию о скорости и ускорении сближения с целью. Эта информация может быть использована в алгоритмах помехозащиты РЛС, самонаведения истребителя и целеуказания ракетам. Кроме того, она дает возможность высокоточно селектировать принимаемые сигналы по доплеровской частоте. Необходимость селекции обусловлена спецификой работы каналов автосопровождения по дальности и скорости при импульсных сигналах с ВЧП и СЧП. При использовании этих сигналов селекция по скорости (доплеровской частоте) осуществляется узкополосным фильтром после преобразования импульсов в непрерывные колебания. При такой процедуре селекции оценки скорости и ускорения формируются на основе измерения доплеровской частоты.

Отселектированный по доплеровской частоте сигнал поступает и в угломерный канал, что позволяет сопровождать по направлению единственную цель. Необходимость такой предварительной селекции цели обусловлена плохой разрешающей способностью РЛС по углам. При одновременном нахождении в пределах ДН нескольких целей сопровождение одной из них без предварительной селекции по доплеровской частоте становится затруднительным.

Структурная схема измерителя скорости и ускорения, в состав которого входит БЦВМ, приведена на рисунке 3.3. На этой схеме приняты обозначения, использованные на рисунке 1 при рассмотрении дальномера.

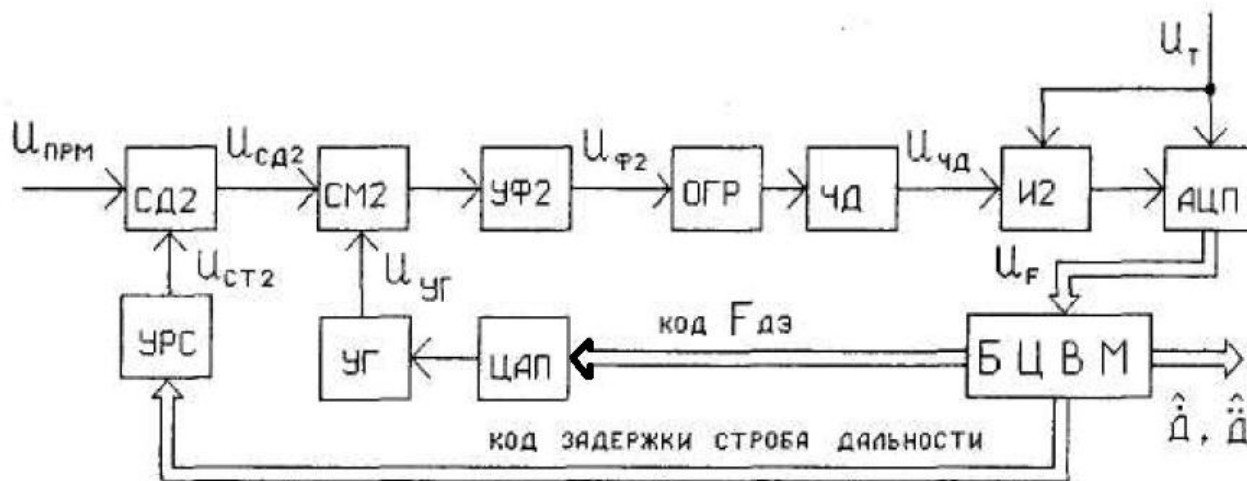


Рисунок 3.3 – Структурная схема измерителя скорости и ускорения

Сигналы $u_{\text{прм}}$ (рисунки 3.1; 3.2б) с выхода приемника на промежуточной частоте $f_{\text{пр1}}$ (3.1) поступают на селектор дальности СД2 (рисунки 3.1, 3.3), который отпирается импульсами $u_{\text{ст2}}$ (рисунок 3.2в). Временное положение $u_{\text{ст2}}$ определяется устройством расстановки стробов УРС в соответствии с кодом экстраполированной в БЦВМ дальности (3.5). Импульсы $u_{\text{сд2}}$ подаются на смеситель СМ2, где преобразуются в сигналы с частотой $f_{\text{пр2}}$ (3.2), которая при вариациях $F_{\text{д}}$ остается практически постоянной за счет изменения частоты $f_{\text{уг}}$ сигнала $u_{\text{уг}}$ управляемого гетеродина (рисунок 3.3) на приращение $F_{\text{д}}$. Соответствующие изменения $f_{\text{уг}}$ обусловлены функционированием специальной следящей системы.

Если частота $f_{\text{пр2}}$ (3.2) импульсного сигнала смесителя СМ2 отличается от заданной частоты $f_{\text{пр20}}$ на значение

$$\Delta f = f_{\text{пр20}} - f_{\text{пр2}}, \quad (3.13)$$

то на это же значение Δf будет отличаться от $f_{\text{пр2}}$ и частота вынужденных колебаний $u_{\text{ф2}}$ на выходе узкополосного фильтра УФ2. Процесс преобразования в УФ2 импульсных сигналов в непрерывный протекает аналогично преобразованию импульсов в фильтрах УФ1 и УФ3 дальномерного канала. Полоса пропускания $\Delta f_{\text{п}}$ узкополосного фильтра УФ2, составляющая обычно сотни - тысячи Герц,

определяет разрешающую способность РЛС по скорости $\delta V = \lambda \Delta f_n / 2$, зависящую и от длины волны λ . Рассогласование Δf_n (3.13) регистрируется частотным детектором ЧД (рисунок 3.3), вырабатывающим напряжение $u_{чд}(n) = k_{чд} \Delta f$ где $k_{чд}$ - коэффициент усиления ЧД, определяемый крутизной дискриминационной характеристики детектора; n - номер такта обращения к БЦВМ; Δf определяется (3.13). Для того, чтобы исключить влияние на $u_{чд}$ амплитуды входного сигнала $u_{ф2}$, последний перед подачей на ЧД ограничивается в ограничителе ОГР. В дальнейшем напряжение $u_{чд}$ накапливается в интеграторе И2 со сбросом, после чего поступает в АЦП. Накопленное напряжение сбрасывается тактовыми импульсами u_T с периодом повторения T_T , который представляет временной интервал обращения к БЦВМ. АЦП преобразует накопленное напряжение в цифровой код:

$$u_F(n) = k_{чнА} \Delta f(n),$$

где $k_{чнА}$ - обобщённый коэффициент передачи ЧД, накопителя и АЦП. Коды $u_F(n)$ подаются в БЦВМ, которая решает следующие задачи:

- преобразует код $u_F(n)$ с весом k_B в код рассогласования по частоте

$$\Delta F(n) = k_B u_F(n), \quad (3.14)$$

- формирует оценки доплеровской частоты \hat{F}_d и её производной $\hat{\dot{F}}_d$,

- формирует оценки скорости \hat{D} и ускорения $\hat{\dot{D}}$ сближения с целью,

- обеспечивает функционирование канала сопровождения по скорости в режиме памяти при кратковременным пропаданиях сигналов приёмника.

Оценки \hat{F}_d и $\hat{\dot{F}}_d$ формируются по алгоритму α - β -фильтрации в соответствии с уравнениями:

$$F_{дэ}(n) = \hat{F}_d(n-1) + T_T \hat{\dot{F}}_d(n), \quad F_{дэ}(0) = F_{д0}; \quad (3.15)$$

$$\hat{F}_d(n) = F_{дэ}(n) + \alpha_F \Delta F(n); \quad (3.16)$$

$$\hat{\dot{F}}_d(n) = \hat{\dot{F}}_d(n-1) + \frac{\beta}{T_T} F \Delta F(n), \quad \hat{\dot{F}}_d(0) = \dot{F}_{д0}. \quad (3.17)$$

Здесь $F_{дэ}(n)$ - экстраполированный для следующего такта код доплеровской частоты; α_F, β_F - коэффициенты усиления невязки изменения ΔF (3.14). Начальные

условия $F_{д0}$ и $\hat{F}_{д0}$ для (3.15) и (3.17) определяются в режиме захвата. Физический смысл алгоритма (3.15) – (3.17) идентичен смыслу алгоритма (3.5) – (3.7), который использовался в дальномерном канале.

Экстраполированный код $F_{дэ}(n)$ (3.15) обеспечивает режим слежения по частоте и доплеровскую селекцию сигналов (рисунок 3.3). В цифроаналоговом преобразователе (ЦАП) он преобразуется в сигнал управления, определяющий такое значение частоты $f_{ут}$ управляемого гетеродина, при котором промежуточная частота $f_{пр2}$ (3.2) будет весьма незначительно отличаться от частоты $f_{пр20}$ настройки узкополосного фильтра УФ2.

Оценки скорости и ускорения формируются по алгоритму:

$$\hat{D}(n) = -0,5\lambda\hat{F}_д(n)k_{ск}, \quad (3.18)$$

$$\hat{\ddot{D}}(n) = -0,5\lambda\hat{F}_д(n)k_{ус}. \quad (3.19)$$

Знак минус в (18) и (19) учитывает то обстоятельство, что при сближении истребителя с целью, когда $\hat{F}_д > 0$, $\hat{F}_д > 0$, дальность до нее уменьшается, т.е. $\hat{D} < 0$, $\hat{\ddot{D}} \leq 0$. С помощью размерных коэффициентов $k_{ск}$ и $k_{ус}$ безразмерные коды $\hat{F}_д$ (n) и $\hat{F}_д$ (n) пересчитываются в размерные значения скорости и ускорения.

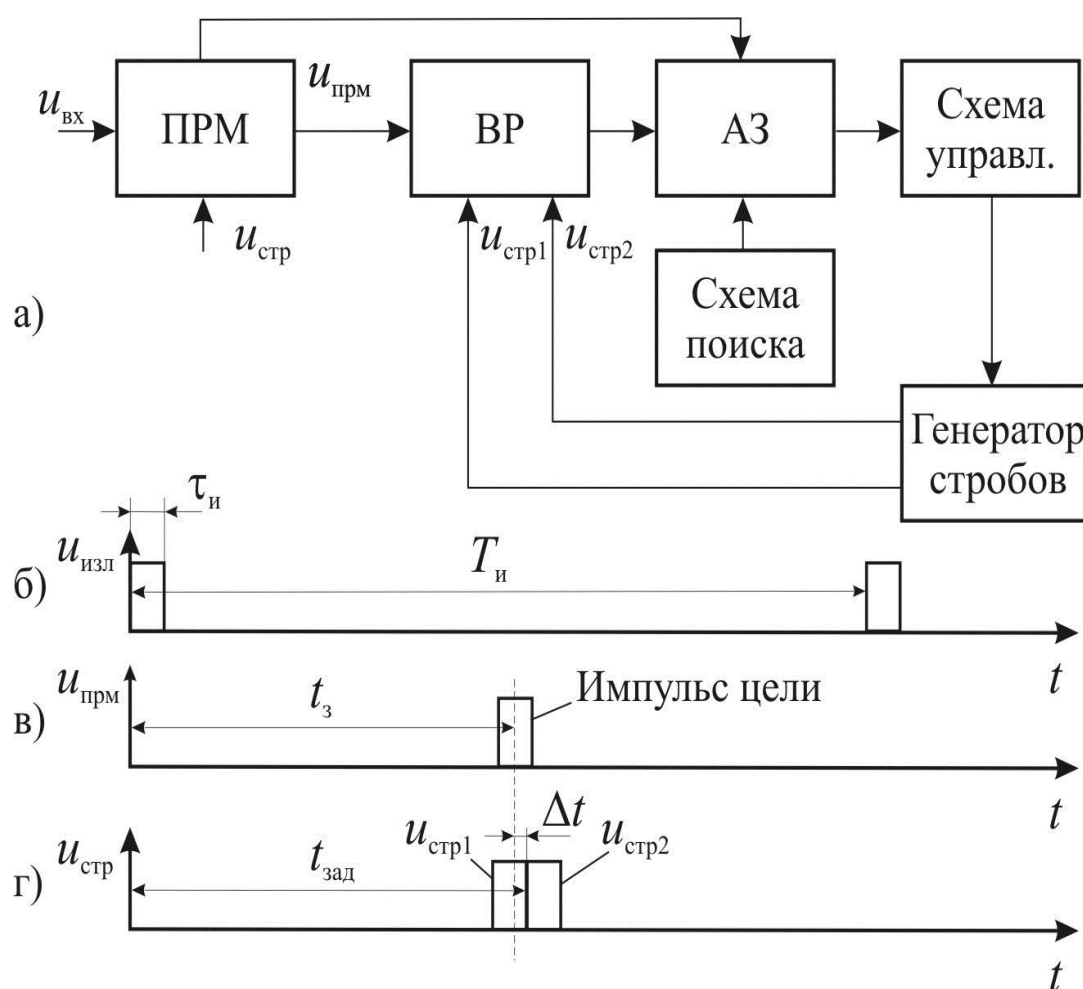
Необходимо отметить, что в алгоритмы α - β -фильтрации (3.15) – (3.17) заложен режим памяти по $\hat{F}_д$ при кратковременных пропадающих входных сигналах $u_{прм}$ (рисунок 3.3). В такой ситуации $\Delta F(n)$ в (3.16) и (3.17) приравняется к нулю и код $\hat{F}_д(n)$ изменяется с постоянной скоростью $\hat{F}_д(n)$, имевшей место на момент пропадания сигнала приёмника. В соответствии с изменением $\hat{F}_д$ будет продолжаться изменение частоты $f_{ут}$ управляемого гетеродина. В результате при появлении сигнала $u_{прм}$ процесс автосопровождения будет продолжен без перехода в режим захвата.

При сигналах с СЧП может иметь место неоднозначность отсчета скорости, которая отсутствует при сигналах с ВЧП. Во избежание этого в режиме СЧП необходимо применять специальные меры по устранению отмеченной неоднозначности [1].

4 Уводящие помехи. Способы устройства защиты дальности и скорости от помех

4.1 Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по дальности

На рисунке 4.1 изображена структурная схема системы автоматического сопровождения цели по дальности аналогового типа.

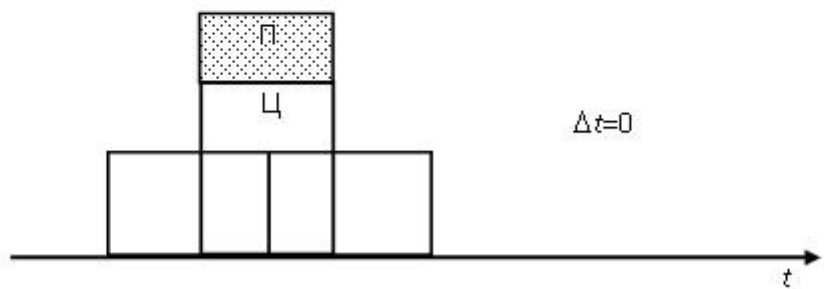
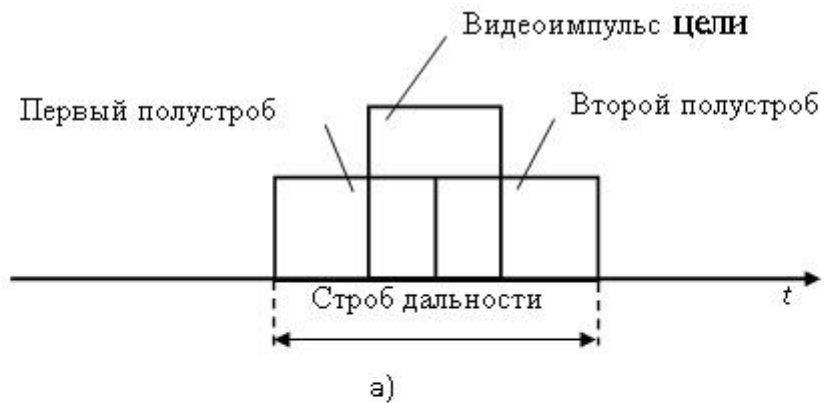


- а) структурная схема системы автоматического сопровождения цели по дальности аналогового типа;
- б) импульсы, излучаемые передатчиком с периодом $T_{и}$;
- в) импульс цели, принятый приемником (ПРМ);
- г) импульсы стробирования.

Рисунок 4.1 - Структурная схема системы автоматического сопровождения цели по дальности аналогового типа

Имитирующие помехи системам АСД применяются для подавления РЛС с импульсным излучением, имеющих канал поиска и автоматического сопровождения цели по дальности (времени задержки $t_3=2D/c$ отраженного от цели сигнала по отношению к зондирующему, где D - дальность до цели, c - скорость распространения радиосигнала). Структурная схема устройства сопровождения целей по дальности аналогового типа показана на рисунке 4.1а.

При обнаружении цели и принятии решения о ее сопровождении, автомат захвата (АЗ) подключает схему поиска, через схему управления, к генератору стробов. Генератор стробов под воздействием управляющего напряжения изменяет временное положение стробов $u_{стр1}$ (первый полустроб), $u_{стр2}$ (второй полустроб) (рисунок 4.1г) в пределах, задаваемых импульсом стробирования приемника $u_{стр}$. Длительность каждого из стробов выбирается равной длительности τ_n зондирующего импульса (рисунок 4.1б). При совпадении во временном различителе (ВР) импульса, отраженного от цели, с одним из стробов АЗ отключает схему поиска и переводит автодальномер в режим слежения за импульсом, отраженным от цели. На выходе ВР формируется напряжение, пропорциональное разности площадей перекрытия импульса, отраженного от цели, со стробирующими импульсами, т.е. $u = k_{ВР}(t_3 - t_{зад}) = k_{ВР}\Delta t$, где $k_{ВР}$ - коэффициент передачи ВР, $t_{зад}$ - задержка стробов. Это напряжение воздействует на схему управления и изменяет положение стробов генератора так, чтобы $t_{зад}$ - стало равным t_3 , тем самым обеспечивая процесс непрерывного слежения за импульсом цели.



а) взаимное положение стоба дальности (полустробов) и видеоимпульса цели при автоматическом сопровождении;
 б) процесс увода стоба дальности

Рисунок 4.2 – Пояснение действия уводящей помехи по дальности

Имитирующие помехи системам АСД, получившие название помех, уводящих по дальности, представляют собой последовательность ответных импульсов, задержанных относительно сигнала на величину, плавно изменяющуюся от нуля до некоторого заданного значения $\Delta t \gg 0$. Для подавления системы АСД необходимо, чтобы в момент включения передатчика ответных импульсных помех время задержки Δt помехового импульса (П) относительно импульса цели (Ц) было равно нулю (рисунок 4.2б). Так как амплитуда помехового импульса больше амплитуды импульса цели, то при увеличении времени задержки ($\Delta t > 0$) строб дальности начнет перемещаться за более мощным импульсом помехи (рисунок 4.2б). Дальнейшее увеличение задержки ($\Delta t \gg 0$) приведет к полному уходу строга дальности от реальной цели и срыву автосопровождения. Однако, несмотря на то, что РЛС будет сопровождать ложную цель по дальности, она будет получать неискаженную информацию об угловом положении цели от системы АСН. Для создания помех системе АСН необходимо после ухода строга дальности с импульса цели выключить передатчик помех. Система АСД при пропадании сопровождаемого импульса вынуждена перейти в режим поиска по всему диапазону возможных дальностей до цели. В течение времени поиска на вход системы АСН информация о цели не поступает, что может привести к значительным ошибкам в определении угловых координат цели. В случае повторного захвата цели на автоматическое сопровождение по дальности, необходимо начать новый цикл ухода.

Таким образом, помеха, уводящая по дальности, вызывает ошибки в измерении дальности до цели (а, следовательно, и скорости) и приводит к перерывам в получении информации о цели угломерным каналом РЛС [2].

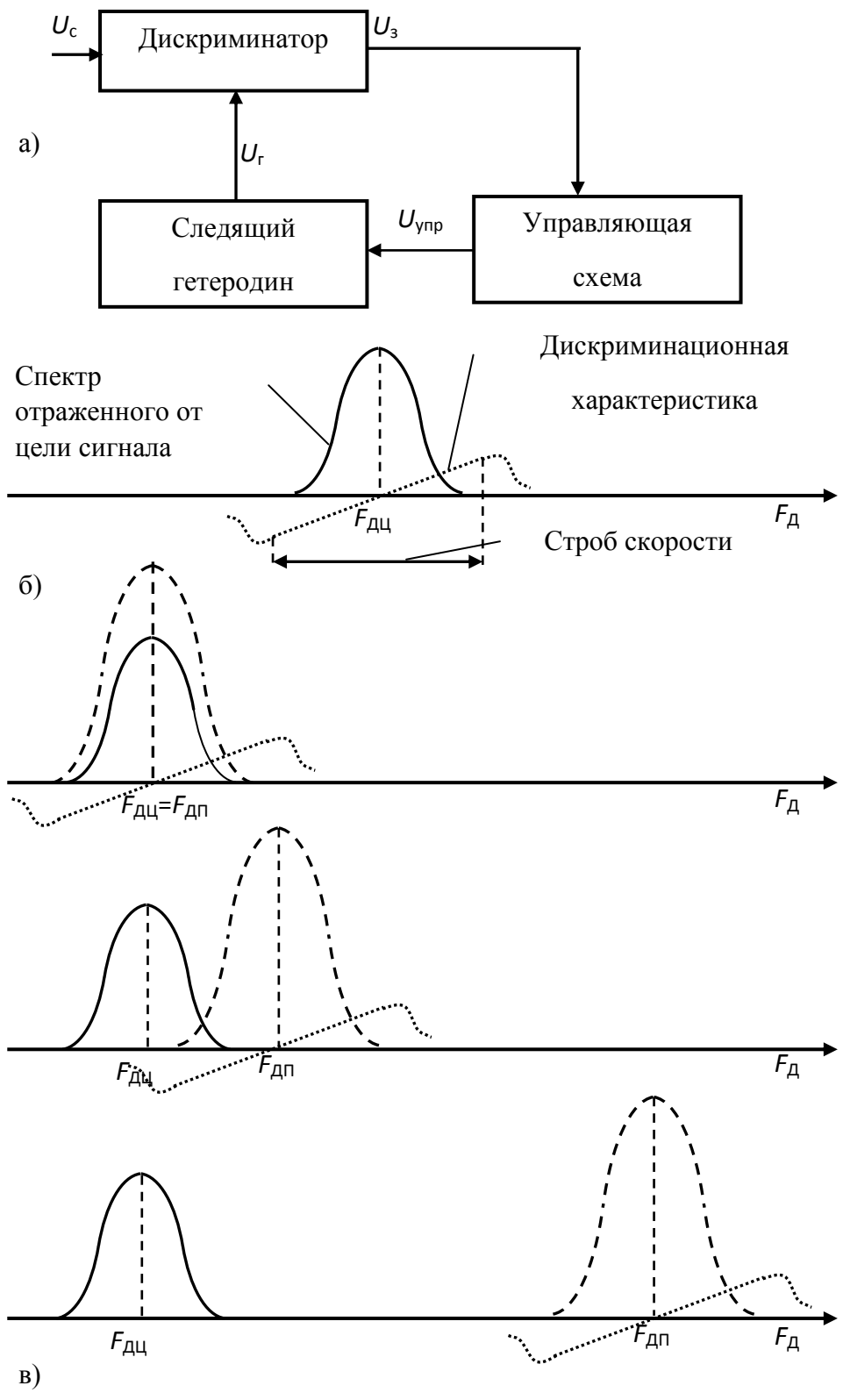
4.2 Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по скорости

Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по скорости (АСС) применяются для подавления РЛС с непрерывным или квазинепрерывным излучением, имеющих канал поиска и автоматического сопровождения по скорости (доплеровской частоте $F_d = 2V_r/\lambda$ сигнала, отраженного от движущейся цели с радиальной скоростью V_r ; λ – длина волны зондирующего колебания) (рисунке 3б). Эти помехи, получившие название помех, уводящих по скорости, представляют собой ретранслированные станцией помех зондирующие колебания с изменяемым во времени доплеровским смещением частоты.

Принцип действия уводящей по скорости помехи основан на использовании основных свойств системы АСС при сопровождении цели по скорости при отсутствии помеховых воздействий. Необходимо отметить, что принцип сопровождения цели по скорости аналогичен принципу сопровождения цели по дальности.

В системе АСС чувствительным элементом, фиксирующим смещение средней частоты доплеровского спектра отраженного сигнала, является дискриминатор, который представляет собой частотный или фазовый детектор (рисунок 4.3а).

Всякое смещение средней частоты спектра доплеровского сигнала относительно частоты сигнала следящего гетеродина приводит к появлению на выходе дискриминатора напряжения, амплитуда которого содержит информацию о величине смещения, а его знак указывает на сторону, в которую произошел сдвиг. Данное напряжение используется управляющей схемой для изменения частоты следящего гетеродина. Совпадение средней частоты спектра отраженного от цели сигнала с частотой следящего гетеродина указывает на то, что имеющаяся расстройка по частоте устранена, и нуль дискриминационной характеристики вновь совпадает со средней частотой спектра отраженного сигнала (рисунок 4.3б).



- а) структурная схема;
- б) положение дискриминационной характеристики относительно спектра отраженного от цели сигнала;
- в) процесс увода строба скорости

Рисунок 4.3 - Система автоматического сопровождения по скорости

Размеры линейной части дискриминационной характеристики определяют размеры строба скорости, понятие которого введено в специальной литературе по аналогии со стробом дальности. Возможности увода строба скорости основаны на особенностях воздействия двух сигналов (полезного и помехового) с различными амплитудами и частотами на дискриминатор системы АСС. При поступлении на дискриминатор системы АСС сигнала цели и более мощной помехи нуль дискриминационной характеристики будет смещаться в сторону частоты более мощного сигнала, т.е. помехи (рисунок 4.3в). Плавно изменяя частоту помехового сигнала, можно добиться, что строб скорости будет перемещаться вслед за частотой помехи. Дальнейшее изменение частоты приводит к полному переходу системы АСС на автосопровождение помехи. Пока длится цикл увода, система АСС выдаёт ложную информацию о скорости цели. Угловое сопровождение цели не нарушается, так как помеховый сигнал несет истинную информацию об угловых координатах цели, на которой находится источник уводящей по скорости помехи. Для внесения помеховых возмущений в систему АСН необходимо, как и для помехи уводящей по дальности, после увода строба скорости с сопровождения сигнала цели на сопровождение сигнала помехи выключить передатчик помех. Система АСС при пропадании сопровождаемого сигнала вынуждена переходить в режим поиска цели по всему диапазону возможных скоростей цели. В течение времени поиска на вход системы АСН информация о цели не поступает, что может привести к значительным ошибкам в определении угловых координат. В случае повторного захвата цели на автоматическое сопровождение по скорости, необходимо начать новый цикл увода.

Таким образом, помеха, уводящая по скорости, по аналогии с помехой, уводящей по дальности, вызывает ошибки в измерении скорости до цели (а, следовательно, и ускорения) и приводит к перерывам в получении информации о цели угломерным каналом РЛС[2].

4.3 Способы устройства защиты измерения дальности и скорости

4.3.1 Общие сведения

В условиях воздействия естественных и организованных помех на вход радиоэлектронного устройства поступает смесь полезного и помеховых сигналов. Задачей любого устройства является выделение требуемой информации, заключенной в характере изменения того или иного параметра полезного сигнала. Для получения такой информации входящие радиосигналы подвергаются определенным преобразованиям (гетеродинированию, фильтрации, детектированию, различным линейным преобразованиям и т. д.). Преобразование сигналов осуществляется, как правило, последовательно, в несколько этапов, называемых этапами обработки сигналов. Например, в радиолокации различают первичную, вторичную и третичную обработку.

На этапе первичной обработки получают низкочастотный сигнал (видеосигнал), несущий в себе информацию о координатах цели (или группы целей). В РЛС ОНЦ (обнаружения наведения и целеуказания) этот сигнал может использоваться непосредственно для индикации положения целей на экране локатора. В этом случае говорят, что радиосигнал подвергся только первичной обработке.

Например, в системах управления ракетами выходной сигнал пеленгатора (РГС), несущий информацию об угловых координатах цели, подвергается дальнейшей обработке, в результате которой формируются управляющие сигналы на рули ракеты. Этот этап называется этапом вторичной обработки.

Под третичной обработкой понимают совместную обработку информации в системах РЛС ОНЦ.

Максимальная помехоустойчивость радиоэлектронных средств достигается в том случае, когда защита от воздействия помех проводится на всех этапах обработки радиосигнала. При этом современные РЭС проектируются таким образом, чтобы максимально снизить влияние помех уже на этапе первичной обработки. На этом этапе существенное снижение влияния помехового сигнала достигается за счет использования

различных видов селекции (разделения) полезного и помехового сигналов. Необходимо подчеркнуть, что селекция сигналов может быть осуществлена только в том случае, когда имеются различия в их параметрах или структуре.

В зависимости от параметра радиосигнала, по которому осуществляется селекция, различают пространственную, частотную, фазовую, поляризационную, временную, амплитудную, структурную и комбинированную селекции.

Кроме различных видов селекции для уменьшения влияния радиопомех на этапе первичной обработки применяются такие методы, как компенсация радиопомех, предотвращение перегрузки приемника, комплексное использование информации радиотехнических и нерадиотехнических измерителей.

Уводящие помехи по дальности подавляют РЭС управления оружием (каналы АСД и АСН). Возможные способы защиты:

- амплитудная селекция;
- фазовая селекция;
- экстраполяция координат цели.

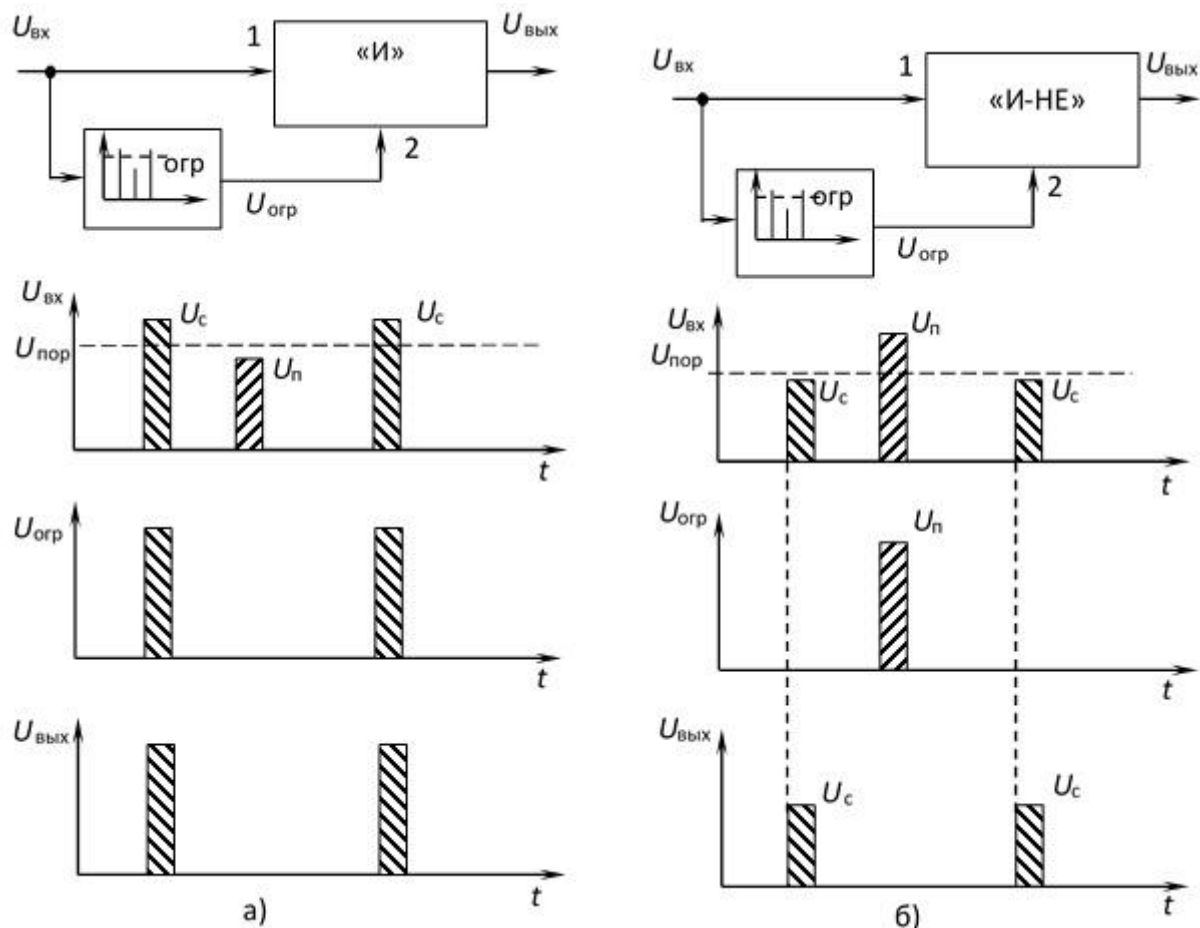
Уводящие помехи по скорости подавляют РЭС управления оружием (каналы АСС и АСН). Возможные способы защиты:

- фазовая селекция;
- экстраполяция координат цели.

4.3.2 Амплитудная селекция сигналов

При первичной амплитудной селекции разделение полезных и помеховых сигналов осуществляется по их интенсивности на входе приемника. Наиболее эффективным этот вид селекции будет в том случае, когда имеются значительные различия в уровнях полезного и помехового сигналов. При этом уровень полезного сигнала может быть как выше, так и ниже уровня помехи.

Реализация амплитудной селекции в импульсных РЭС (в том случае, когда помеховые импульсы и импульсы полезного сигнала не совпадают по времени) осуществляются с помощью амплитудного ограничителя и логических схем “И” или “И–НЕ” (рисунок 4.4).



а) для случая $U_c > U_n$, б) для случая $U_c < U_n$

Рисунок 4.4 - Структурные схемы и временные диаграммы, поясняющие принцип амплитудной селекции

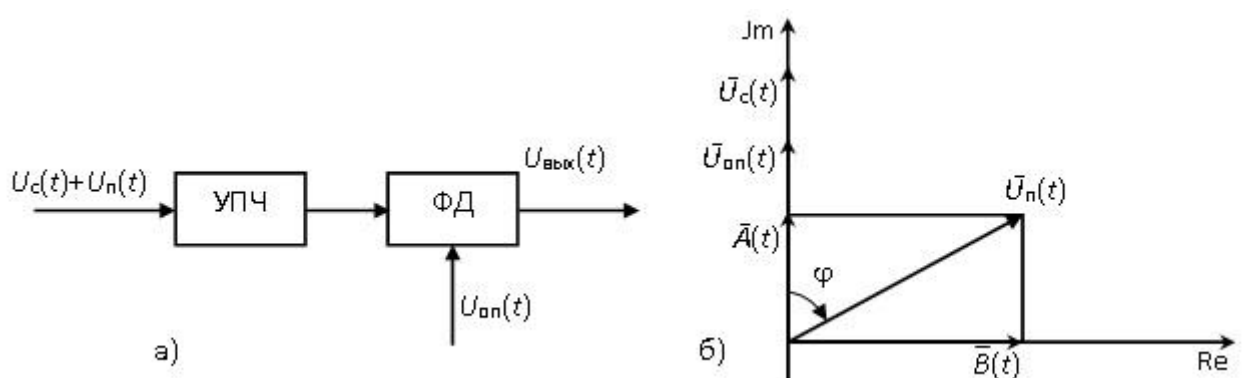
Ограничитель снизу пропускает на выход импульсы, уровень которых превышает установленное пороговое значение. Если известно, что амплитуда импульсов полезного сигнала больше амплитуды помехи, то используется схема «И». В этом случае на выходе этой схемы будут присутствовать только импульсы полезного сигнала (рисунок 4а). Если же известно, что амплитуда помехового сигнала превышает амплитуду полезного, то должна применяться схема «И-НЕ», которая пропускает сигнал U только в случае отсутствия напряжения на входе 2.

Амплитудная первичная селекция может применяться и при приеме непрерывных полезного и помехового сигналов. В этом случае селекция достигается методом накопления. Наибольшую эффективность селекция с использованием накопления имеет при выделении сигнала на фоне широкополосного шума. Этот метод применяется в обнаружителях сигналов РЛС автоматического сопровождения

целей для принятия решения о наличии полезного сигнала. Сущность метода накопления сводится к тому, что решение о наличии сигнала принимается не сразу после его поступления в приемник, а спустя некоторое время $T_{и}$. Накопление сигнала в системах с непрерывным излучением осуществляется интеграторами, а в системах с импульсным излучением – сумматорами. С выхода интегратора (сумматора) сигнал подается на пороговое устройство. Если выходное напряжение интегратора превышает пороговый уровень, принимается решение о наличии полезного сигнала. Применение накопителей приводит к увеличению отношения мощностей сигнала и шумовой помехи на выходе накопителя и, следовательно, к уменьшению эффективности широкополосных шумовых помех.

4.3.3 Фазовая селекция сигналов

При фазовой селекции уменьшение величины $k^* = (P_{п}/P_{с})_{\text{вых}}$ происходит за счет подавления составляющих помехового сигнала, фазы которых ортогональны фазам полезного сигнала. Подавление ортогональных составляющих помехового сигнала осуществляется путем синхронного детектирования смеси полезного сигнала и помехи. В качестве синхронного детектора используется фазовый детектор (ФД), осуществляющий операцию скалярного умножения сигналов, подаваемых на его входы (рисунок 4.5а).



а) структурная схема синхронного детектора;

б) векторная диаграмма, поясняющая принцип фазовой селекции.

Рисунок 4.5 - Пояснение принципа фазовой селекции сигнала

Для выполнения операции синхронного детектирования на ФД подается опорный сигнал $\bar{U}_{\text{он}}(t)$, совпадающий по фазе с полезным сигналом. Помеховый сигнал может быть представлен в виде двух квадратурных составляющих, одна из которых $\bar{A}(t)$ совпадает по фазе с полезным сигналом $\varphi=0^\circ$, другая $\bar{B}(t)$ смещена по фазе на $\varphi=90^\circ$. Векторная диаграмма, характеризующая взаимное расположение векторов полезного, помехового и опорного сигналов показана на рисунок 6б.

В результате выполнения операции скалярного умножения векторов $\bar{A}(t)$ и $\bar{U}_{\text{он}}(t)$, $\bar{B}(t)$ и $\bar{U}_{\text{он}}(t)$ в выходном напряжении пропадает составляющая, обусловленная вектором $\bar{B}(t)$.

$$\begin{aligned}\vec{A}(t)\vec{U}_{\text{он}}(t) &= \left| \vec{A}(t) \right| \cdot \left| \vec{U}_{\text{он}}(t) \right| \cos \varphi = \left| \vec{A}(t) \right| \cdot \left| \vec{U}_{\text{он}}(t) \right| \cos 0^\circ = \left| \vec{A}(t) \right| \cdot \left| \vec{U}_{\text{он}}(t) \right|, \\ \vec{B}(t)\vec{U}_{\text{он}}(t) &= \left| \vec{B}(t) \right| \cdot \left| \vec{U}_{\text{он}}(t) \right| \cos \varphi = \left| \vec{B}(t) \right| \cdot \left| \vec{U}_{\text{он}}(t) \right| \cos 90^\circ = 0.\end{aligned}$$

Следовательно, мощность помехового сигнала $P_{\text{п}}$ уменьшается, тогда как мощность полезного сигнала $P_{\text{с}}$ остается неизменной.

Фазовая селекция используется при защите от шумовых помех в том случае, когда спектры полезного и помехового сигналов совпадают. Однако необходимо отметить, что этот способ обеспечивает только частичное уменьшение мощности помехового сигнала [3].

4.3.4 Особенности защиты РЛС, работающих в режиме автоматического сопровождения цели

Как уже отмечалось ранее, в наземных и бортовых РЛС слежения за целью, а также в радиолокационных ГСН ракет осуществляется вторичная обработка информации с целью формирования сигналов управления антеннами РЛС или ракетой.

На этапе вторичной обработки применяются такие способы защиты, как угловое стробирование, а также экстраполяция координат движущихся целей в условиях возникновения перерывов информации. Наиболее простой реализацией способа углового стробирования является схема, осуществляющая отключение следящей системы угломерного канала в случае превышения сигналом рассогласования U_{Δ} установленной пороговой величины $U_{\text{пор}}$ (рисунок 4.6). Такая схема применяется в радиолокационных ГСН ракет и является достаточно эффективным средством борьбы с мерцающими помехами.

Схема работает следующим образом. При сопровождении одиночной цели (допустим Ц₁) определение угловых координат осуществляется сравнительно точно и выходной сигнал пеленгатора $U_{\Delta} = K_{\text{пел}} \Delta$ близок к нулю. Практически таким же он остается и при включении передатчика помех, совмещенного с пеленгуемой целью. Как только начинает работать как передатчик помех расположенный вне пеленгуемой цели (на Ц₂), величина сигнала рассогласования Δ и, следовательно, U_{Δ} резко возрастают.

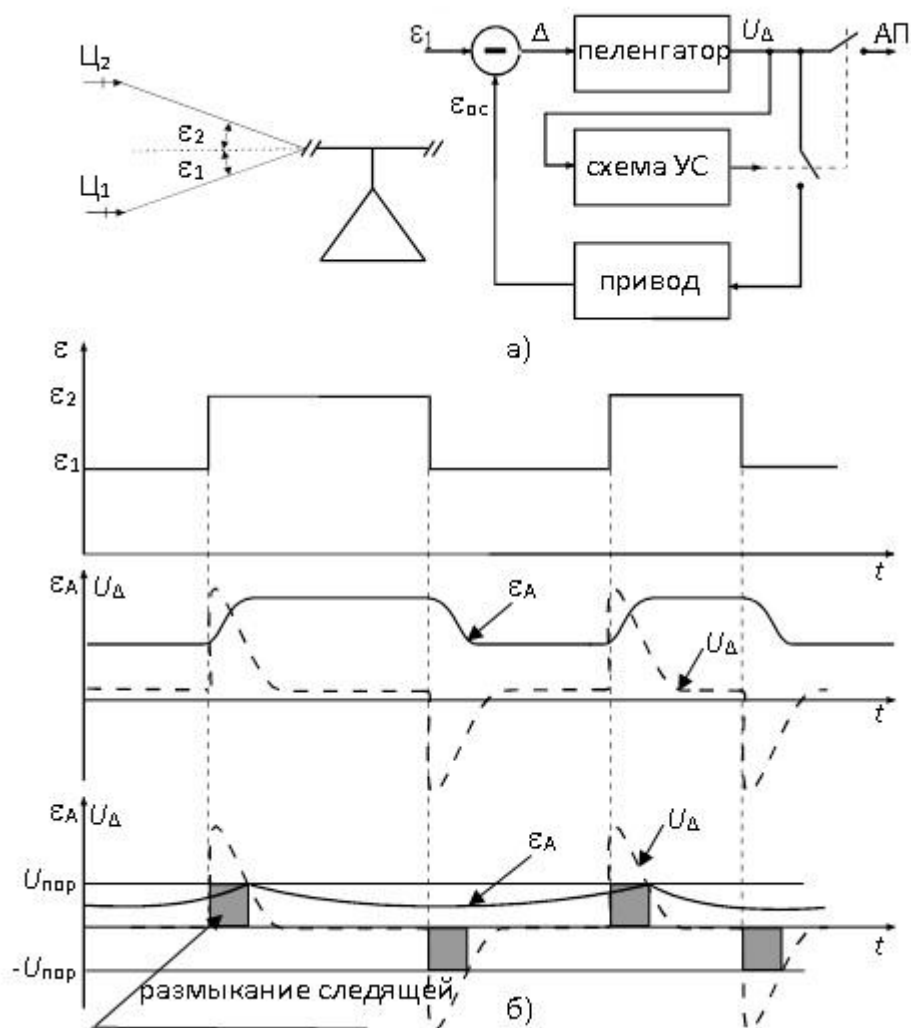


Рисунок 4.6 - Структурная схема (а) и временные диаграммы (б), поясняющие принцип действия системы углового стробирования

Схема углового стробирования (УС) при выполнении условия осуществляет размыкание следящей системы угломерного канала. После окончания работы передатчика на Ц2 сигнал рассогласования уменьшается и следящая система снова замыкается.

Из принципа работы схемы УС ясно, что в моменты, соответствующие включению передатчика помех на Ц2, прекращается поступление сигналов в автопилот (АП) и на привод антенны пеленгатора (перерывы информации). При достаточно больших перерывах информации сопровождаемая цель Ц1 может выйти за пределы основного лепестка ДН, т.е. произойдет срыв слежения по угловым координатам. Чтобы уменьшить вероятность срыва слежения по углу при отсутствии измерений, осуществляется вычисление предполагаемых координат цели

Ц1 по известным уравнениям ее движения и запомненным, в момент срабатывания схемы УС, значениям углов ε_1 и ε_2 (экстраполяция координат цели). Успехи в развитии цифровой техники позволяют достаточно успешно решать задачу экстраполяции координат цели с помощью БЦВМ. На рисунке 7б ε_{oc} – сигнал обратной связи, пропорциональный предыдущему угловому положению привода антенны РЛС, ε_A – сигнал, пропорциональный текущему угловому положению антенны.

4.4 Устройства защиты от уводящих помех

Анализ действия уводящих помех на следящие измерители, выполненный в пунктах 5.1 и 5.2, позволяет дать некоторые рекомендации, связанные с улучшением характеристик измерителей дальности и скорости. Довольно очевидным является требование индикации (обнаружения) мешающего сигнала, различения полезного и мешающего сигналов и последующей компенсации последнего теми или иными способами. Дальнейшее улучшение качества работы измерителей возможно при использовании априорно известных и изучаемых в процессе измерений различий в закономерностях изменения дальности (скорости) до цели и дальности (скорости), соответствующей мешающему сигналу.

Как будет ясно из дальнейшего изложения, в основе работы многих практических устройств ПХЗ от уводящих помех лежат обычно простые соображения. Для подтверждения данного заключения рассмотрим достаточно общий способ ПХЗ, касающийся функционирования систем авто сопровождения по дальности и скорости в целом. Так, для обеспечения сопровождения по скорости используется так называемый логический способ ПХЗ, позволяющий вернуть строб скорости РЛС, находящейся под действием уводящих по скорости помех, на истинную доплеровскую частоту сигнала цели за время, меньшее времени увода по скорости. При реализации этого способа решаются задачи обнаружения помехи и восстановления сопровождения полезного сигнала.

Отличить полезные сигналы от сигналов помех можно различными путями. Во-первых, логично предположить, что наибольший сигнал - сигнал помехи. Во-вторых, по результатам сравнения показаний измерителя скорости сближения и временной производной дальности до цели, оцененной измерителем дальности. В-третьих, путем текущего контроля второй и третьей производных отслеживаемой координаты, которые у помехи в определенные моменты будут отличаться от аналогичных производных цели. В-четвертых, применением систем, которые могут использовать результаты спектрального анализа как сигнала цели, так и сигнала помехи.

Весьма перспективным способом обнаружения является прием, основанный на оценивании параметров исходных моделей состояния, положенных в основу синтеза дальномеров и селекторов скорости. Необходимо, однако, отметить, что этот прием требует достаточно больших вычислительных затрат. Проще реализуется метод обнаружения уводящей помехи, основанный на анализе невязки измерений.

Обычно положение доплеровского строга в радиолокационном приемнике в процессе сопровождения изменяется под действием управляющего напряжения, подаваемого на генератор переменной частоты, который действует подобно гетеродину в обычном радиолокационном приемнике. При этом в следящем контуре выполняются следующие операции:

- при отсутствии уводящих помех автоселектор сопровождает сигнал цели по доплеровской частоте;
- при включении уводящей помехи начинается увод строга скорости сигналом помехи;
- радиолокационный приемник обнаруживает включение помехи для увода строга скорости. При этом осуществляется запоминание управляющего напряжения и контур сопровождения переходит в режим памяти. Режим повторного захвата не включен;
- с течением времени доплеровские частоты сигнала помехи и полезного сигнала цели расходятся;

– при расхождении доплеровских частот на определенное значение из памяти выбирается управляющее напряжение и в соответствии с ним устанавливается строб сопровождения по скорости;

– в случае необходимости включается режим под поиска до момента повторного захвата сигнала цели или сигнал цели захватывается сразу.

Аналогично решается задача сопровождения по дальности при наличии уводящих помех. Обнаружение факта действия помехи может выполняться также и другими способами. Один из этих способов основан на измерении скорости и (или) ускорения цели и ограничении их допустимых значений. Ограничения устанавливаются применительно к реальным целям, поэтому, когда они оказываются больше определенных значений, весьма вероятно, что это ложный сигнал (помеха). Другими словами, максимальные скорость и ускорение ограничиваются, чтобы устройства управления положением стробов скорости и дальности при наличии больших скоростей и ускорений возвращали РЛС в режим захвата цели.

Достаточно универсальным способом обнаружения является способ, при котором строб сопровождения по скорости и (или) дальности в РЛС защищен от уводящих помех посредством использования сторожевых стробов. Последние располагаются в фиксированных точках по обе стороны от основного строба РЛС. Эти стробы не являются дополнительными следящими стробами, они обеспечивают обнаружение сигналов до или после основного строба РЛС. Импульсно-доплеровские РЛС могут одновременно использовать сторожевые стробы как скорости, так и дальности. При уводе сигналом помехи основного строба сигнал цели появляется в одном из сторожевых стробов, что позволяет сделать заключение о наличии помехи.

Более сложным вариантом обнаружения помехи является способ, при котором стробы скорости и (или) дальности РЛС защищены от уводящих помех и других способов РЭП с помощью дополнительных (вспомогательных) стробирующих схем. Дополнительные стробы расположены около основного и, когда на РЛС

воздействуют помехи, могут двигаться в любом направлении относительно основного строба. Вспомогательные следящие схемы усложняют систему сопровождения по сравнению со случаем использования сторожевых стробов, но при этом дают дополнительную полезную информацию при воздействии уводящих помех.

Достаточно очевидной при работе измерителей в режиме памяти представляется целесообразность сопровождения цели с экстраполяцией. Исходя из предположения, что цель в это время не будет совершать маневр, режим работы следящей системы сопровождения, потерявшей цель, выбирается так, что имитируется движение цели с прежними параметрами, например скоростью изменения дальности, т.е. радиальной скоростью. Для этого запоминаются последние значения дальности и скорости сближения с целью перед потерей отраженного от нее сигнала. При относительно непродолжительном срыве сопровождения, когда скорость движения цели постоянна, после прекращения действия помехи следящий строб окажется совмещенным с отраженным от цели сигналом или рассогласование будет незначительным, что позволит быстро возобновить сопровождение. Если цель маневрирует, эффективность способа существенно снижается. В этом случае необходимо значительное время на поиск и захват цели на сопровождение.

Следует подчеркнуть, что с появлением сверхманевренных самолетов, способных выполнять маневры, приводящие к более сложным законам изменения отслеживаемых дальности и скорости, обнаружение уводящих помех по результатам вторичной обработки становится более затруднительным. В связи с этим необходимо использовать комбинированные приемы, которые дают возможность достоверно регистрировать факт увода по совокупности признаков, получаемых в результате как первичной, так и вторичной обработки сигналов.

Выше были приведены примеры наиболее общих идей, лежащих в основе многих конкретных способов ПМЗ. К настоящему времени из научно-технической литературы известно значительное число практических способов и устройств ПХЗ

от уводящих помех. Для получения конкретного представления о способах построения подобных устройств ниже даны примеры их практической реализации [4].

4.5 Практические способы устройства защиты от уводящих помех по дальности

Двойные импульсы передатчика РЛС. Этот способ используется в РЛС для защиты от помех, создаваемых самолетными импульсными передатчиками-ретрансляторами индивидуальной защиты. Способ основан на использовании «мертвого времени» передатчика станции помех, имеющего место после каждого излученного импульса помехи.

Ретранслятор помехового сигнала не может повторять импульс, следующий сразу же за предыдущим. Обычно «мертвое время» в несколько раз больше длительности полезного импульсного сигнала.

При реализации рассматриваемого способа РЛС вместо одного импульса излучает два близкорасположенных по времени импульса. Первый импульс в РЛС не используется, а на второй импульс пары ретранслятор отреагировать не успевает. В результате РЭП будет неэффективным. В приемном устройстве РЛС обрабатывается только последний импульсный сигнал.

Обнаружение работы ретранслятора. Этот способ используется в импульсных РДС для обнаружения работы передатчика-ретранслятора помех, совмещенного с целью. При наличии ретранслированной помехи строб дальности расположен под сложным сигналом, образованным из фактического импульса цели и импульса передатчика ответных помех. Поскольку ретранслятору необходимо время для приема, усиления и передачи повторяемого импульса, то импульс ретранслятора в приемнике РДС будет всегда запаздывать по времени относительно импульса цели. Значение общей задержки колеблется от 80 до 200 нс. Поэтому существует в принципе возможность отличить сигнал цели от сигнала передатчика помех, так как сигнал цели обычно появляется первым.

Для обнаружения сигнала ретранслятора два строб-импульса дальности ранний и поздний по времени относительно переднего фронта сигнала цели, формируются в приемнике так, чтобы первую и вторую половины отраженного импульса РЛС можно было разделить пополам. Сигнал, выделенный ранним строб-импульсом, задерживается на $1/2$ длительности импульса и подается на детектор вместе с незадержанным сигналом, выделенным поздним строб-импульсом. Когда сигнал ретранслятора отсутствует, два совмещенных входных сигнала детектора приблизительно равны и на выходе обнаружителя сигнал отсутствует. Когда же ретранслятор включен, сигнал, выделенный поздним строб-импульсом, будет больше и сигнал на выходе обнаружителя будет свидетельствовать о работе ретранслятора на борту цели. Отметим, что для РЛС, использующих сопровождение по дальности, рассматриваемый способ обнаружения работы ретранслятора может использоваться для обнаружения внезапного включения ретранслятора до того, как система сопровождения по дальности уравнивает составной сигнал с помощью двух строб-импульсов.

Определение наличия импульсов ретранслятора с помощью узких сторожевых стробов. Этот способ ПХЗ состоит в том, что выходные сигналы, выделяемые опережающим и отстающим сторожевыми стробами, вычитаются и сравниваются с эталонным напряжением для определения наличия на цели ретранслятора импульсов.

Сторожевые стробы установлены так, что один захватывает передний фронт, другой - срез импульсного сигнала. Так как имеется задержка во времени в любой системе повторения импульсов, передний край импульса РЭП появится позже, чем фактически отраженный импульсный сигнал. Если сигнал, выделенный отстающим сторожевым стробом, больше сигнала, выделенного опережающим сторожевым стробом, на значение установленного порога, то принимается решение о наличии ретранслированного импульса. Рассмотренная процедура должна использоваться до момента включения системы АСД, иначе система слежения по дальности сведет к нулю описанный эффект.

Измерение дальности с использованием одного сторожевого строба. Способ ПХЗ предназначен для импульсной РЛС сопровождения, когда сторожевой строб устанавливается на меньшей дистанции, чем обычный строб дальности.

Когда РЛС осуществляет сопровождение цели без помех, сторожевой строб пуст. Как только на борту цели создаются уводящие по дальности помехи, сильный сигнал помехи появляется в основном стробе. Система АРУ РЛС начинает работать по помехе. В пределах долей секунды в зависимости от параметров уводящей помехи помеховый импульс начинает двигаться в сторону большей дальности, уводя строб РЛС. В конечном итоге сигнал цели появляется в сторожевом стробе. Этот факт фиксируется РЛС, и логическая схема заставляет основной строб вернуться назад, чтобы «накрыть» сигнал цели. Описанный процесс повторяется в каждом цикле увода.

Выше рассматривался сторожевой строб дальности, расположенный лишь перед основным стробом РЛС. Этого во многих случаях и достаточно, потому, что большинство средств РЭП «уводят» импульс от РЛС в сторону увеличения дальности, а также потому, что РЛС может использовать способ ПХЗ «изменение рабочей частоты». Против РЛС с перестройкой частоты от импульса к импульсу способ РЭП «уводящие по дальности помехи» будет эффективным, если осуществляется запоминание частоты импульса в каждом периоде повторения сразу же после его приема. Но если в станции помех установлено, что подлежащая подавлению РЛС имеет фиксированные несущую частоту и частоту повторения импульсов, передатчик настраивается на эти частоты и применяется способ «уводящие по дальности помехи» для увода строба дальности по направлению к РЛС. При создании уводящих помех в сторону меньшей дальности необходимо иметь сторожевой строб, расположенный после основного строба дальности РЛС. Механизм защиты остается прежним.

Сопровождение по переднему фронту (срезу) импульса цели. Согласно этому способу ПХЗ обнаружение и сопровождение осуществляются по переднему фронту (срезу) принимаемых импульсов с целью снижения отрицательного эффекта помех

от ретрансляторов, установленных на цели, и других видов преднамеренных помех. Этот способ можно назвать сопровождением по фронту (срезу). Рассматриваемый способ предполагает использование сторожевых стробов до и после истинного строба дальности, чтобы помочь отличить находящийся возле этого строба сигнал цели от уводящих помех.

Радиолокационное сопровождение по дальности осуществляется по переднему фронту или срезу импульса, при этом используется формирователь переднего или заднего фронта. Стробы, которые должны генерироваться электронным генератором задержки, в этом случае значительно уже, чем при нормальном сопровождении по дальности. Но работа следящей системы РЛС сопровождения по дальности при сопровождении по переднему или заднему фронту идентична обычному режиму радиолокационного сопровождения.

Оба способа сопровождения (по переднему фронту и срезу) требуют для осуществления более широкой полосы пропускания приемного устройства, чем при обычном сопровождении данной радиолокационной станцией. Поэтому РЛС, использующая их, в большей степени подвержена воздействию шумовых помех.

Способ сопровождения по переднему фронту импульса иногда применяется совместно со способом бланкирования импульсов ретранслятора, когда в приемнике РЛС бланкируется та часть отраженного от цели импульса, которая совпадает с импульсом ретранслятора, находящегося на цели.

Сопровождение по переднему фронту с восстановлением импульса. Для того чтобы снизить эффект воздействия различного вида помех, создаваемых с помощью ретранслятора, расположенного на борту цели, используется передний фронт отраженного от цели сигнала для генерации импульса длительностью, равной длительности переданного РЛС импульса.

Данный способ направлен на поддержание длительности импульса сигнала в радиолокационном устройстве сопровождения, равной его длительности при нормальном функционировании РЛС. После обнаружения переднего фронта отраженного от цели сигнала и его стробирования запускается импульсный

генератор, создающий импульс длительностью, равной длительности излучаемого РЛС импульса, по которому ведется нормальное сопровождение по дальности. Сопровождение по углу должно осуществляться с помощью узкой передней части отраженного от цели сигнала.

При использовании этого способа уменьшается дальность радиолокационного обнаружения, что обусловлено использованием лишь части сигнала, отраженного от цели. Поэтому его применение возможно преимущественно в РЛС с небольшой дальностью действия.

Сопровождение по переднему фронту при несимметричных стробах. Этот способ ПХЗ используется в импульсных РЛС сопровождения по дальности, которые осуществляют сопровождение как по переднему фронту, так и по срезу отраженного импульса. При этом более предпочтительным является сопровождение по переднему фронту, так как оно позволяет снизить эффект воздействия помех от находящегося на борту цели ретранслятора.

Передний и задний стробы не равны, как в обычном подобном устройстве с разделением строба. Передний строб значительно короче заднего. Для компенсации снижения средней мощности сигнала, соответствующего переднему стробу, в РЛС вводится дополнительная схема усиления сигнала переднего строба перед вычитанием из сигнала заднего строба. Этот способ помогает более точно определить дальность по переднему фронту входного импульса сигнала.

Импульсный способ защиты от ретранслятора. Данный способ ПХЗ позволяет импульсной РЛС сопровождения работать при воздействии импульсов помехового ретранслятора.

При использовании в РЛС очень короткого импульса, длительность которого меньше, чем соответствующая задержка импульсного ретранслятора Ц, РЛС может работать с незначительным влиянием помех от ретранслятора, так как импульс помехи не может своевременно переизлучаться в сторону РЛС и накрывать импульс отраженного от цели сигнала.

Помеховые импульсы по амплитуде будут намного больше, чем импульсы сигнала, отраженного от цели. Если время задержки t_j помехового сигнала можно приблизительно измерить, то РЛС следует переключить на режим работы с коротким импульсом, длительность которого меньше td .

Этот способ может применяться в РЛС с импульсным фазо-кодированным сигналом, потому что в нем используются элементы сигнала, которые во многих случаях могут быть короче td . Вследствие того что средняя мощность сигнала, излучаемого РЛС, в этом случае уменьшается, данный способ может использоваться только при малых дальностях до целей. Целесообразно применять такой способ в РЛС сопровождения с дальностью действия от 37 до 93 км. Достаточно часто РЛС с малой длительностью импульса называются короткоимпульсными, или РЛС с высокой разрешающей способностью по дальности.

Бланкирование соседних каналов. Такой способ ПХЗ основан на бланкировании соседних каналов дальности, чтобы можно было использовать информацию о цели в нужном канале без искажений из-за воздействия помех по соседним каналам. При обнаружении цели в определенном канале дальности, остальные каналы бланкируются, чтобы предотвратить смешение мощных помеховых сигналов, поступающих по этим каналам, с сигналами от цели. Аналогично бланкируются соседние каналы по частоте.

Бланкирование по соседнему каналу в сторону большей дальности реализуется следующим образом. В состав РЛС входит две антенны, одна из которых имеет большое усиление и узкую ДН, а другая - малое усиление и широкую ДН. С выходом каждой антенны соединен логарифмический приемник, на выходе которого формируется логарифмическая функция принятого сигнала. Выходы обоих логарифмических приемников соединены с разностной схемой, осуществляющей вычитание сигналов, принятых антенной с малым усилением, из сигналов, принятых антенной с большим усилением. В результате нормировки полезные сигналы и сигналы помех выравниваются по амплитуде. Сигнал со схемы вычитания

задерживается линией задержки, после чего инвертируется и складывается с незадержанным сигналом вычитающей схемы. Суммарный сигнал подается на пороговую схему, пропускающую только положительные сигналы. Таким образом, если сигналы цели и уводящей помехи не разошлись во времени больше чем на длительность импульса, то происходит компенсация той части помехи, которая следует непосредственно за полезным сигналом, и в строб дальности попадает только сигнал, отраженный от цели [5].

4.6 Практические способы устройства защиты от уводящих помех по скорости

Сторожевые стробы по скорости. Способ заключается в том, что два сторожевых строба по скорости, низкочастотный и высокочастотный, используются для уменьшения эффекта воздействия уводящих по скорости помех.

На рисунке 8 показана структурная схема, реализующая данный способ.



Рисунок 4.7 - Структурная схема устройства защиты со сторожевыми стробами по скорости

Когда переключатель находится в разомкнутом положении, используется только основной (рабочий) узкополосный фильтр. Входной доплеровский сигнал на частоте f_D , проходит через смеситель, преобразуется и поступает в фильтр, настроенный на частоту f_0 , и далее в цепи сопровождения по углу' и частотный дискриминатор. Сигнал ошибки частотного дискриминатора управляет частотой генератора переменной частоты $f_0 + f_D$ который используется в качестве гетеродина.

Таким образом формируется цепь обратной связи (строб автоматического сопровождения по скорости).

Когда переключатель находится в положении «режим ПЗ» (режим помехозащиты), узкополосный фильтр с центральной частотой f_H создает низкочастотный строб, а узкополосный фильтр с центральной частотой f_B - высокочастотный строб. Сигналы от этих двух сторожевых стробов подаются в логические цепи контроля вместе с сигналом фильтра, центральная частота которого равна f_0 . Логическая цепь контролирует ситуацию путем обнаружения сигнала цели при уводе строба скорости уводящей помехой.

Если появляется сигнал уводящей помехи, значительно превышающий сигнал цели, при нахождении переключателя в положении «Режим ПЗ», то АРУ РЛС срабатывает по сигналу помехи, в результате уровень полезного сигнала падает. Затем частота помехового сигнала возрастает.

Сигнал выделяется высокочастотным стробом В и воспринимается логическими цепями РЛС. Сигнал обратной связи изменяет частоту гетеродина так, чтобы рабочий строб Р переместился в обратном направлении и снова захватил сигнал от цели. Строб 11 бланкируется на короткий период, чтобы предотвратить его срабатывание при нахождении частоты сигнала помехи в полосе фильтра Н. Описанный процесс повторяется при очередном применении уводящих по скорости помех. Следует отметить, что частота сигнала помехи может и уменьшаться и весь процесс защиты от увода строба будет аналогичным, за исключением того, что функции сторожевых стробов поменяются.

Обратим внимание на то, что данным способом необходимо пользоваться осторожно в условиях сопровождения многочисленных близкорасположенных целей, так как из-за их перемещения доплеровские сигналы будут накладываться один на другой и применение этого способа приведет к срыву сопровождения. Кроме того, в сторожевой строб может попасть доплеровская частота, обусловленная отражением от турбины двигателя цели или другим ложным сигналом от цели, с малым отношением сигнал/шум. В подобной ситуации вероятно

сопровождение помехи при низком отношении сигнал/шум. Иногда при использовании рассмотренного способа необходимо, чтобы в схему были добавлены два дополнительных строба: первый непосредственно перед, второй после рабочего строба. Эти стробы будут определять положение рабочего строба в начале увода, т. е. когда принято логическое решение вернуть «уведенный» строб к сигналу, отраженному от цели, и вместо поиска стробом происходит его быстрое возвращение на частоту сигнала.

Логика выделения меньшего (большого) по частоте доплеровского сигнала. Данный способ используется в РЛС сопровождения для уменьшения эффективности увода строба скорости станцией помех. При отсутствии помехи цепи устройства сопровождения цели по скорости с помощью переключателя П непосредственно подключаются к приемнику РЛС (рисунок 4.8).

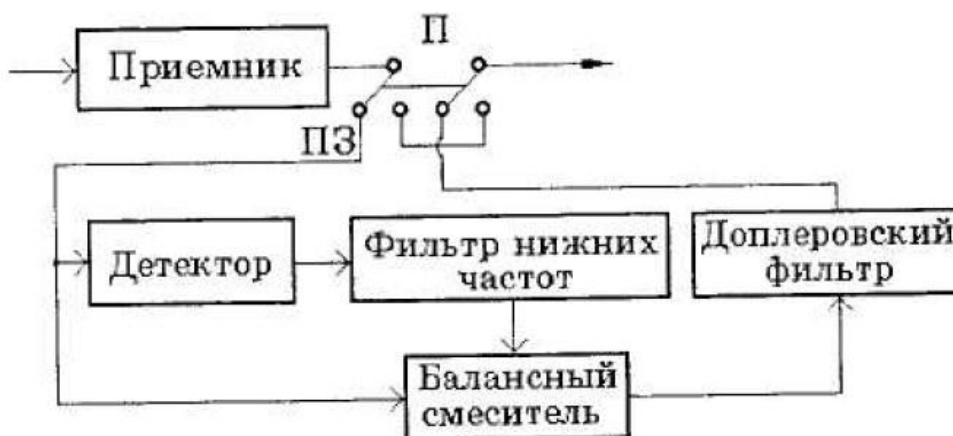


Рисунок 4.8 - Структурная схема устройства защиты при выделении меньшего (большого) по частоте доплеровского сигнала

При создании уводящей помехи переключатель П переводится в положение ПЗ. После усиления суммарный сигнал цели и помехи разделяется: одна его часть направляется к детектору, другая - к смесителю. Детектор служит в качестве смесителя сигналов, создавая напряжение разностной частоты, которое используется как гетеродинное в смесителе. Сигнал суммарной частоты устраняется фильтром нижних частот. В балансном смесителе спектр общего сигнала сдвигается

на значение разностной частоты в направлении, противоположном направлению изменения частоты помехи, тем самым сигнал помехи перемещается в положение фактически отраженного сигнала цели. За балансным смесителем следует доплеровский фильтр, пропускающий сигнал разностной частоты. Таким образом контур сопровождения по скорости будет отслеживать сигнал помехи и всегда оставаться на частоте сигнала цели во время всего цикла увода строга скорости. По окончании увода устройство ПХЗ выключается, а доплеровский контур сопровождения настраивается на доплеровскую частоту сигнала цели для продолжения слежения. Таким образом, когда сигнал помехи исчезает, в строге скорости появляется полезный сигнал.

Защита от увода по скорости с использованием быстрого преобразования Фурье. Это способ помехозащиты РЛС, позволяющий быстро определить параметры уводящей по скорости помехи и приступить к эффективной помехозащите. Сложный сигнал, полученный от передатчика помех, размещенного на цели, может обнаруживаться приемником доплеровской РЛС с быстрым преобразованием Фурье. Если сопровождаемая цель - движущийся реактивный самолет, то кроме сигнала от цели будут иметь место боковые полосы, обусловленные вращением турбины, и, возможно, другие паразитные сигналы. Как только станция помех включит устройство увода по скорости, на сигнал цели наложится мощный сигнал помехи.

Устройство увода по скорости, является ли оно ЛБВ или управляемым ВЧ-фазовращателем, создает свои собственные боковые полосы излучений. Расстояние между этими боковыми полосами будет увеличиваться по мере увеличения частоты увода. Тип боковых полос, характерных для устройства увода по скорости, типичен и уникален и существенно отличается от боковых составляющих спектра полезного сигнала. Поэтому с помощью сравнительного анализа спектров сигналов цели и помехи можно обнаружить наличие сигнала увода по скорости. В результате строб скорости доплеровского радиолокационного приемника можно переместить на истинный сигнал цели.

Защита от увода по скорости с помощью передачи двух сигналов одновременно на разных частотах (рисунок 4.9). Такой способ предназначен для РЛС сопровождения с использованием доплеровской частоты. Он основан на том, что один ретранслятор увода по скорости модулирует по фазе частоты всех принимаемых сигналов одной и той же частотой преобразования. Таким образом создается возможность отделить приемным устройством РЛС частоту эхо-сигнала истинной цели от сигнала увода по скорости путем передачи двух сигналов одновременно на разных частотах. Для простоты изложения полагаем, что сигнал подсвета цели в РЛС непрерывный.

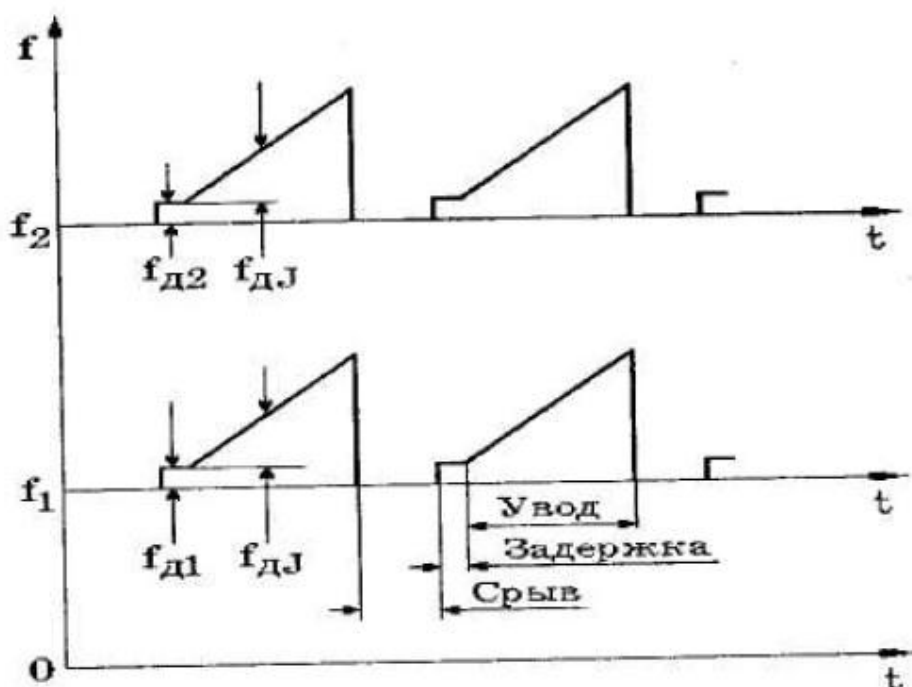


Рисунок 4.9 - Принцип защиты с помощью передачи двух сигналов одновременно на разных частотах

На рисунке 10 показано, как доплеровская РЛС непрерывного излучения сопровождает воздушную цель, используя частоту двух отдельных передатчиков с общей антенной. На борту воздушной цели установлена аппаратура РЭП увода по скорости, которая перекрывает ВЧ- диапазон, включая частоты передачи f_1 и f_2 . Частоты двух принятых сигналов без ложного сигнала увода выглядят следующим образом: $f_1 + f_{д1}$ и $f_2 + f_{д2}$,

где $f_{д1}=2f_1V/c$ и $f_{д2}=2f_2V/c$; $f_{д1}$ - доплеровская частота, соответствующая f_1 ; $f_{д2}$ доплеровская частота, соответствующая f_2 ; V - радиальная скорость сближения истребителя с целью; c - скорость света.

При фиксированных, а также и при изменяющихся радиальных скоростях отношение $f_{д1}/f_{д2}$ всегда будет равно отношению f_1/f_2 . То же самое отношение двух частот принятых сигналов при создании уводящих помех будет равно $(f_{д1}+f_J)/(f_{д2}+f_J)$, что не равно f_1/f_2 , где f_J - изменяемая аппаратурой РЭП частота сдвига. Это позволяет приемному средству РЛС обнаружить наличие увода по скорости и ложный сигнал. Следует заметить, что разработчик средств РЭП этому способу ПХЗ может противопоставить использование отдельного модулятора по фазе для каждой частоты передачи. Но это приведет к повышению стоимости и усложнению аппаратуры.

Защита от увода по скорости с помощью мерцания частоты сигнала. Концепция этого способа такая же, как и у предыдущего. Различие заключается лишь в следующем. Первый способ использует одновременные посылки, второй - последовательные. Используется также цепь памяти, в которой можно сравнить принятые доплеровские сигналы для обеих несущих частот. При отсутствии преднамеренных помех соотношение между частотами доплеровских сигналов будет иметь то же значение, что и соотношение между несущими частотами. Если на цели есть радиоэлектронное средство, создающее уводящие по скорости помехи, соотношение доплеровских частот двух сигналов помех не будет равно соотношению двух несущих частот.

Корреляция оценок измерителей дальности и скорости. Этот логический способ помехозащиты используется в импульсно-доплеровских РЛС или при наличии измерителей различной физической природы (например, радиолокационного и лазерного дальномеров). Применительно к импульсно-доплеровской РЛС он состоит в том, что скорость изменения измеренной дальности до цели сравнивается с измеренной скоростью, полученной от доплеровского измерителя, и в результате определяется, какое устройство помех работает на борту

цели: увода по скорости или увода по дальности. В частности, при отсутствии маневра цели работа только устройства увода по скорости заставит перемещаться только строб скорости, а изменение дальности во времени будет постоянным и наоборот.

Что касается компенсации уводящих помех, то она может быть обеспечена за счет совместной обработки сигналов измерителей дальности и скорости либо измерителей одного параметра, обеспечивающих оценивание на основе различных физических принципов.

Рассмотрим один из возможных вариантов защиты измерителя скорости от уводящих по скорости помех в импульсно-доплеровской РЛС, структурная схема которого приведена на рисунке 4.10.

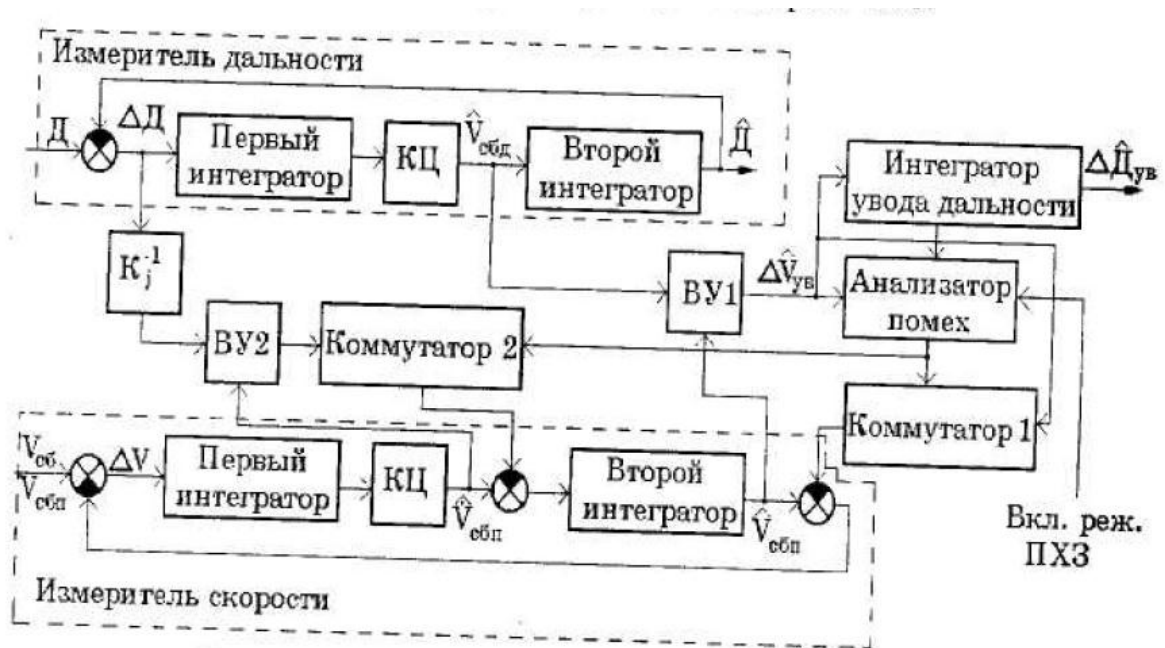


Рисунок 4.10 - Структурная схема устройства защиты при корреляции оценок измерителей дальности и скорости сближения

Дискриминаторы на рисунке показаны в упрощенном виде. Они формируют сигналы рассогласования по дальности ΔD и по скорости ΔV . Цепи сглаживания представлены в виде двух последовательно соединенных интеграторов. Корректирующие цепи (КЦ) обеспечивают устойчивость контуров сопровождения. Предполагается, что уводящая по дальности помеха отсутствует, а уводящая по

скорости помеха не сказывается на точности работы дальномера. Последнее означает, что как при отсутствии, так и при наличии уводящих по скорости помех в установившемся режиме сигнал на входе второго интегратора дальномера пропорционален оценке скорости сближения с целью $V_{сбд} = -\dot{D}$, полученная в дальномере. Для получения сигнала увода в режиме ПХЗ сигнал $V_{с5;l}$ с канала дальности поступает на вычитающее устройство ВУ1. С появлением уводящей помехи измеритель скорости переходит на ее сопровождение и отслеживает скорость $V_{сбд}$, задаваемую постановщиком уводящих помех с учетом движения цели. Сигнал на выходе второго интегратора канала скорости определяет оценку $V_{сбд}$, поступающую на второй вход вычитающего устройства ВУ1. В установившемся режиме сигнал на выходе вычитающего устройства $\Delta V_{ув} = V_{сбн} - V_{сбд}$ характеризует отклонение (рассогласование) скорости сближения истребителя с целью $V_{сб}$ от скорости уводящей помехи $V_{сбп}$, т. е. ту дополнительную скорость, которая задается генератором помех. В анализаторе помех по значению увода $\Delta V_{ув}$ обнаруживается факт наличия уводящей помехи и оценивается разница доплеровских частот сигналов, создаваемых самой целью в результате отражения радиосигнала и формируемой передатчиком уводящих помех. При достижении в процессе увода рассогласованием $\Delta V_{ув}$ определенного порогового значения $\Delta V_{ув0}$, соответствующего попаданию сигналов цели и уводящей помехи в отдельные доплеровские фильтры, создаются благоприятные условия для перевода измерителя скорости на сопровождение сигнала цели. При $\Delta V_{ув} \geq \Delta V_{ув0}$ анализатор уводящей помехи подает сигнал на коммутатор 1, который подключает рассогласование $\Delta V_{ув}$ к вычитающему устройству на выходе второго интегратора измерителя скорости. Тем самым осуществляется компенсация $V_{сбп}$ на значение $\Delta V_{ув}$, при этом оценка $V_{сбд}$ дальномера определяет новую частоту управляемого генератора. Управляемый генератор перестраивается, и в следящий строб попадает сигнал цели. Далее происходит повторный захват сигнала цели и восстановление его сопровождения.

Если цель во время действия уводящей помехи не маневрировала, то для уменьшения времени переходных процессов контура автосопровождения по

скорости при повторном захвате сигнала цели необходимо обнулить показания первого интегратора измерителя скорости, на выходе которого сформировалась оценка ускорения увода. В противном случае целесообразно задать ускорение сближения с целью, определяемое в дальномере. В принципе здесь можно поступить так же, как и при компенсации скорости увода. В установившемся режиме сигнал $\Delta D = k_j \ddot{D}$, снимаемый с дискриминатора дальномера, пропорционален \ddot{D} , где k_j - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров контура автосопровождения по дальности. В процессе увода определяется разность $V_{сбн} - (-\ddot{D})$, которая запоминается коммутатором 2 в момент принятия анализатором решения о прекращении сопровождения уводящей по скорости помехи. Здесь $V_{сбн}$ - оценка ускорения увода, формирующаяся на входе второго интегратора измерителя скорости. Далее эта разность вычитается из входного сигнала второго интегратора скорости. Рассмотренная компенсация необходима в аналоговых интеграторах. При использовании цифровых интеграторов можно вместо компенсации, осуществляемой путем вычитания, применить обычную операцию присвоения значений скорости и ускорения, измеренных дальномером, интеграторам канала скорости в момент принятия решения о переходе к повторному захвату сигнала цели. Таким образом измеритель скорости настраивается на прием сигнала цели.

При наличии уводящих помех по дальности можно использовать ту же самую идею корреляции оценок, формируемых измерителями, с последующей компенсацией, как описано выше. Однако теперь рассогласование по скорости $\Delta V_{ув}$, обусловленное скоростью увода сигнала помехи по дальности, необходимо проинтегрировать для получения сигнала рассогласования увода по дальности $\Delta D_{ув}$. В анализаторе помех оценивается величина $\Delta D_{ув}$ с тем, чтобы определить момент выхода сигнала цели из временного строба, следящего за сигналом уводящей помехи. После этого сигналами $\Delta V_{ув}$ и $\Delta D_{ув}$ компенсируются соответственно данные первого и второго интеграторов канала измерения дальности, что позволит настроить следящий строб дальности на прием сигнала, отраженного от цели.

Для нормального функционирования описанной схемы необходимо определение вида действующей в данный момент времени уводящей помехи: по дальности, скорости или совместно по дальности и скорости. Объясняется это тем, что использование выходного сигнала $\Delta V_{ув}$ разностной схемы различно при уводе по скорости и по дальности. Для определения вида помехи следует привлечь дополнительную информацию, имеющуюся в измерителях дальности и скорости.

Уводящая помеха имитирует выполнение какого-либо маневра цели. Как известно, любой маневр приводит к изменению в поведении ошибок следящих контуров. Например, при сближении с целью с постоянной скоростью в двухинтеграторном измерителе дальности динамическая ошибка в установившемся режиме равна нулю. При появлении уводящей по дальности помехи по квадратичному закону появляется постоянная динамическая ошибка, знак которой зависит от стороны увода. Если при этом в канале скорости никаких изменений динамических ошибок нет, то можно предполагать, что наблюдается действие уводящей по дальности помехи. Аналогичные рассуждения могут быть применены к каналу скорости и уводящей по скорости помехе. Таким образом, рассмотренные особенности в поведении динамических ошибок могут быть использованы для оценки вида помех. Однако следует отметить, что при цифровой обработке, когда осуществляется квадратурное фазовое детектирование радиосигналов, создание уводящей по дальности помехи при управлении задержкой зондирующего сигнала РЛС в станции помех без использования устройства запоминания радиочастоты автоматически приводит к изменению доплеровской частоты помехового сигнала, пропорционального скорости увода по дальности. В этом случае рассмотренный выше способ обнаружения и защиты от уводящих по дальности помех не срабатывает. Обнаружить уводящую по дальности помеху в указанной ситуации возможно, если противник одновременно с уводящей по дальности помехой создает и уводящую по скорости помеху, либо при комплексировании радиолокационного измерителя дальности с лазерным дальномером.

Рассмотренный вариант устройства ПХЗ можно использовать в сочетании со сторожевыми стробами, что позволит принимать более достоверные решения об окончании сопровождения уводящих помех. Действительно, как уже упоминалось, при применении сторожевых стробов весьма вероятно попадание в них мешающих сигналов, например сигналов других целей боевого порядка, что является серьезным недостатком данного способа ПХЗ. Именно поэтому целесообразно сопоставление данных со сторожевых стробов с оценками параметров увода $\Delta V_{ув}$ и $\Delta D_{ув}$, измерителей дальности и скорости.

5 Реализация модели в графической среде имитационного моделирования Simulink

В среде имитационного моделирования Simulink была создана модель, которая включает в себя следующие функциональные блоки: модель передатчика, модель ракеты, модель антенной системы, модель БЦВМ, модель обнаружения цели, модель САП, модель цели.

Для измерения дальности был реализован измеритель дальности (рисунок 5.1).

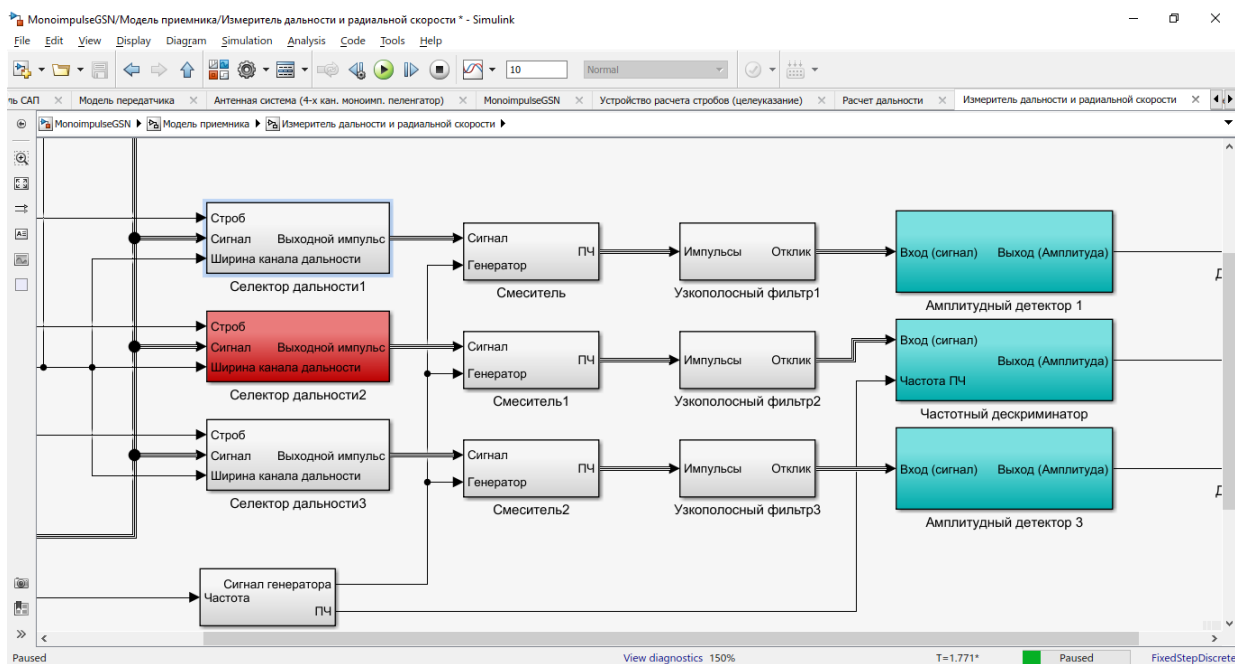


Рисунок 5.1 – Измеритель дальности

Измеритель дальности и скорости (его аналоговый вариант) был рассмотрен в подразделе 3.1. В модели же реализован его цифровой вариант.

В селекторе дальности 2 (СД2) реализовано сопровождение цели по дальности. Используется 100 каналов дальности. Мы отслеживаем положение цели в пространстве, дальность, мощность полезного сигнала (сигнала цели) и мощности сигнала уводящей помехи.

На рисунке 5.2 представлено устройство селектора дальности.

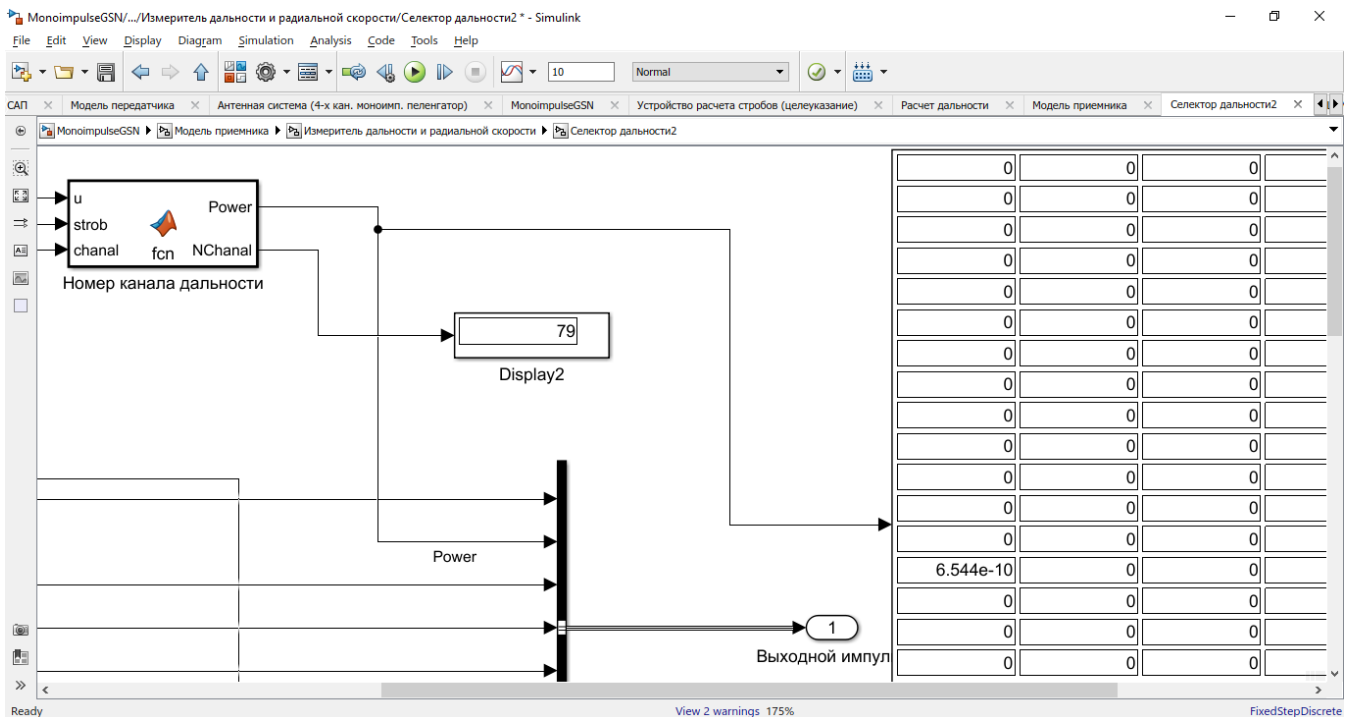


Рисунок 5.2 – Устройство селектора дальности

В селекторе дальности рассчитывается и отображается номер канала дальности (Display2), отображается мощность сигнала, за которым следит система.

Так же был реализован блок помехозащиты (рисунок 5.3).

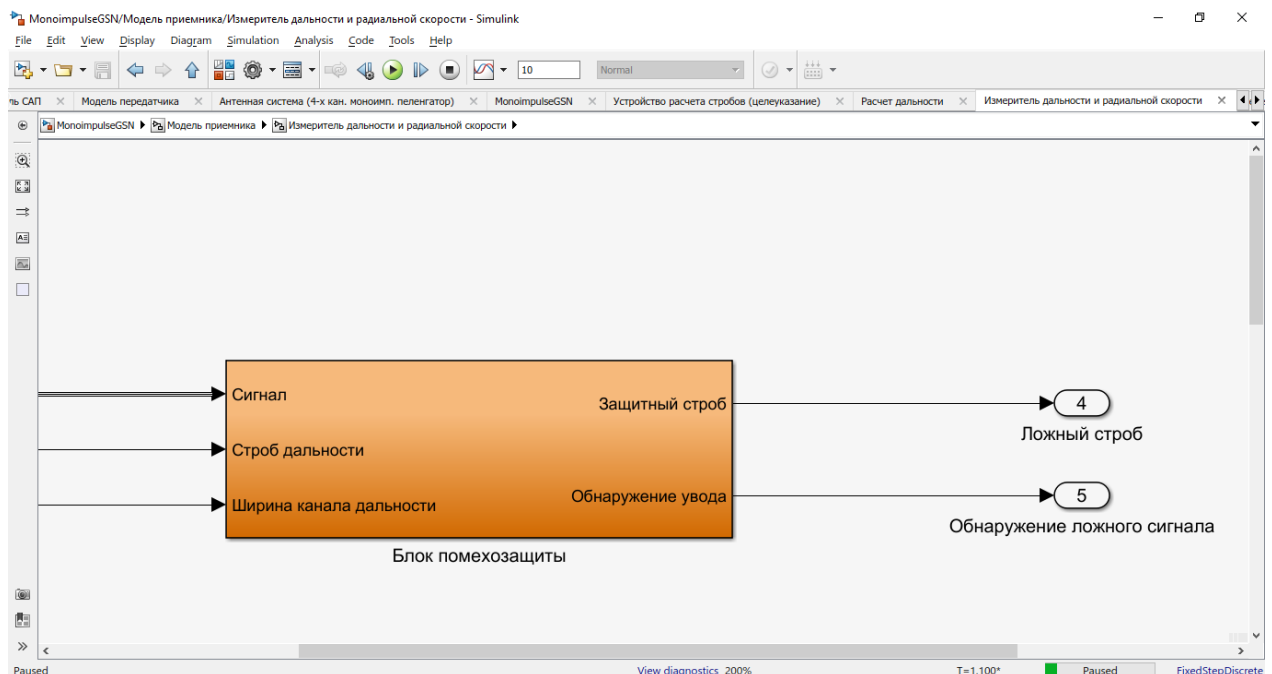


Рисунок 5.3 – Блок помехозащиты

Реализация блока помехозащиты (рисунок 5.4).

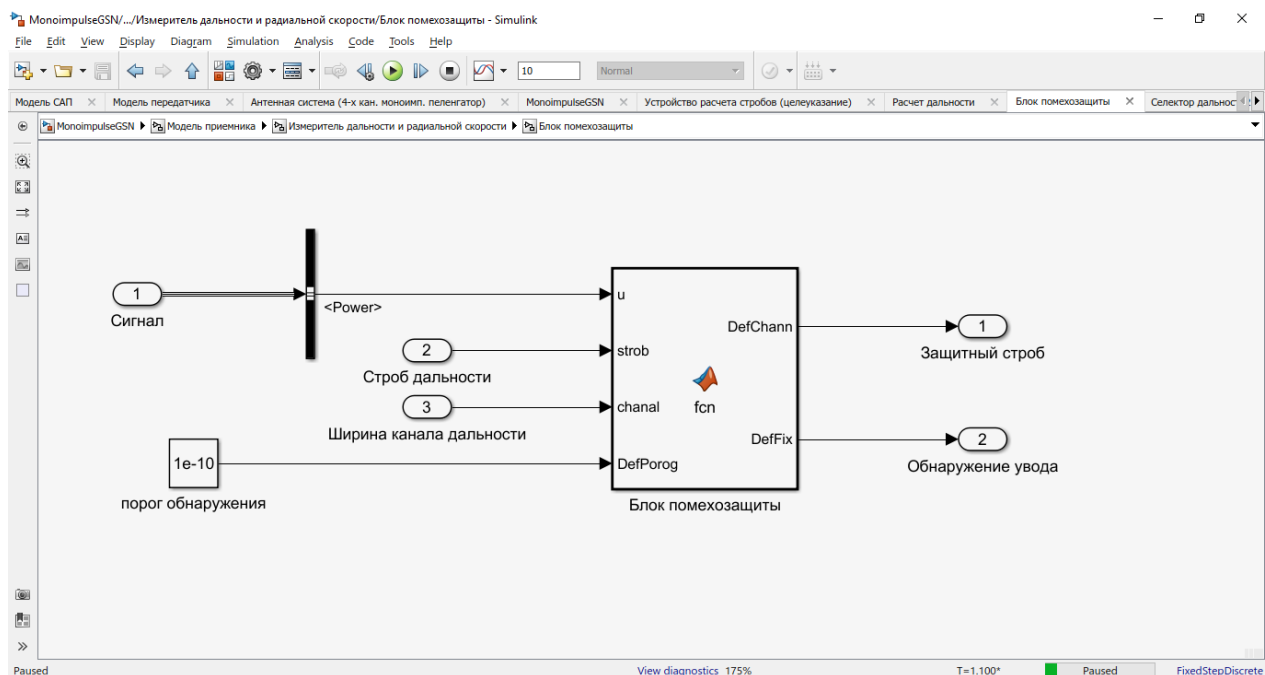


Рисунок 5.4 – Реализация блока помехозащиты

Для реализации помехозащиты используется метод сторожевых стробов по дальности и скорости. Сторожевые стробы располагаются в фиксированных точках по обе стороны от основного строба РЛС. Эти стробы не являются дополнительными следящими стробами, они обеспечивают обнаружение сигналов до или после основного строба РЛС. Как только превышен порог обнаружения, помеха обнаруживается и следящая система переключается на поиск сигнала цели.

6 Испытания и тесты реализованной модели; выводы

В начале испытаний произведём необходимые настройки для обнаружения уводящих помех. Для этого в блоке БЦВМ нужно включить схему защиты от уводов по дальности (рисунок 6.1).

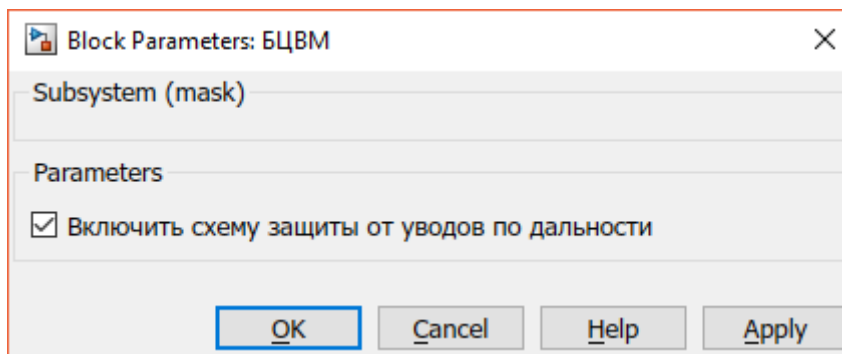


Рисунок 6.1 – Включение схемы защиты от уводов по дальности в блоке БЦВМ

Далее в блоке САП (станция активных помех) включаем уводящую помеху по дальности и скорости, задаём число уводящих отметок (рисунок 6.2).

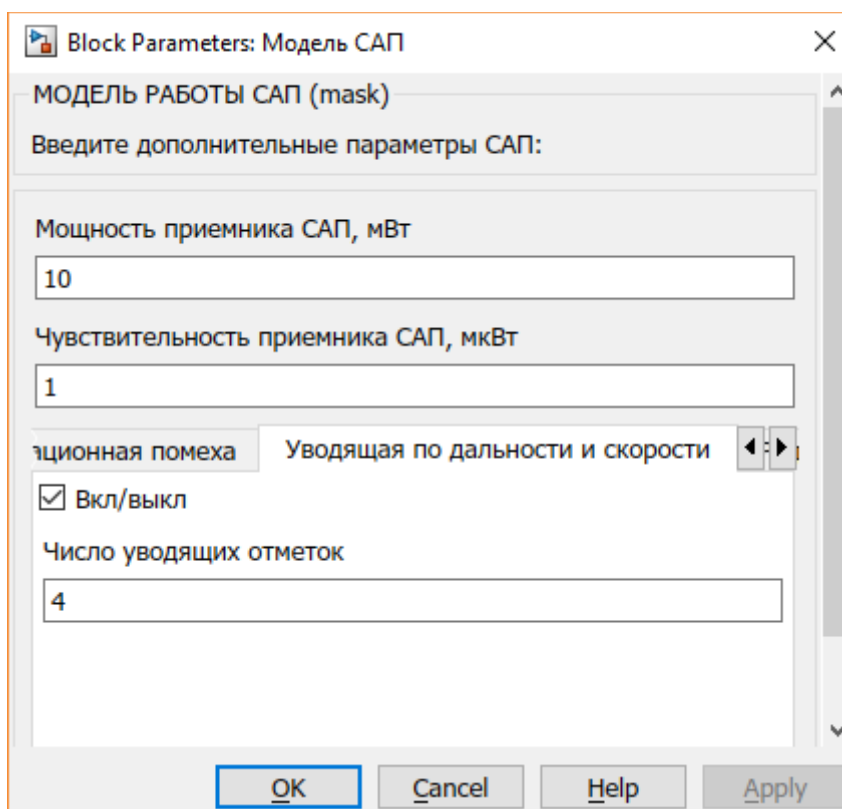


Рисунок 6.2 – Включение уводящих помех по дальности и скорости

После подключения всех настроек запускаем моделирование (рисунок 6.3).

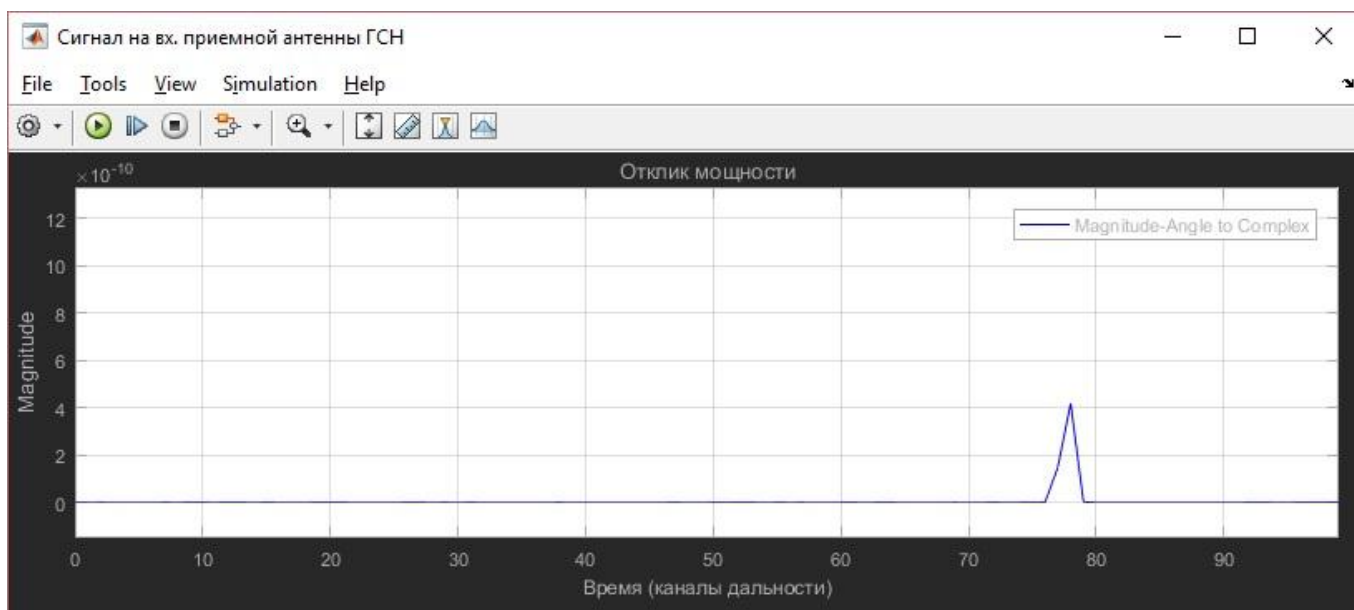


Рисунок 6.3 – Сигнал цели на входе приёмной антенны

С течением времени моделирования, возникает уводящая помеха (рисунок 6.4).

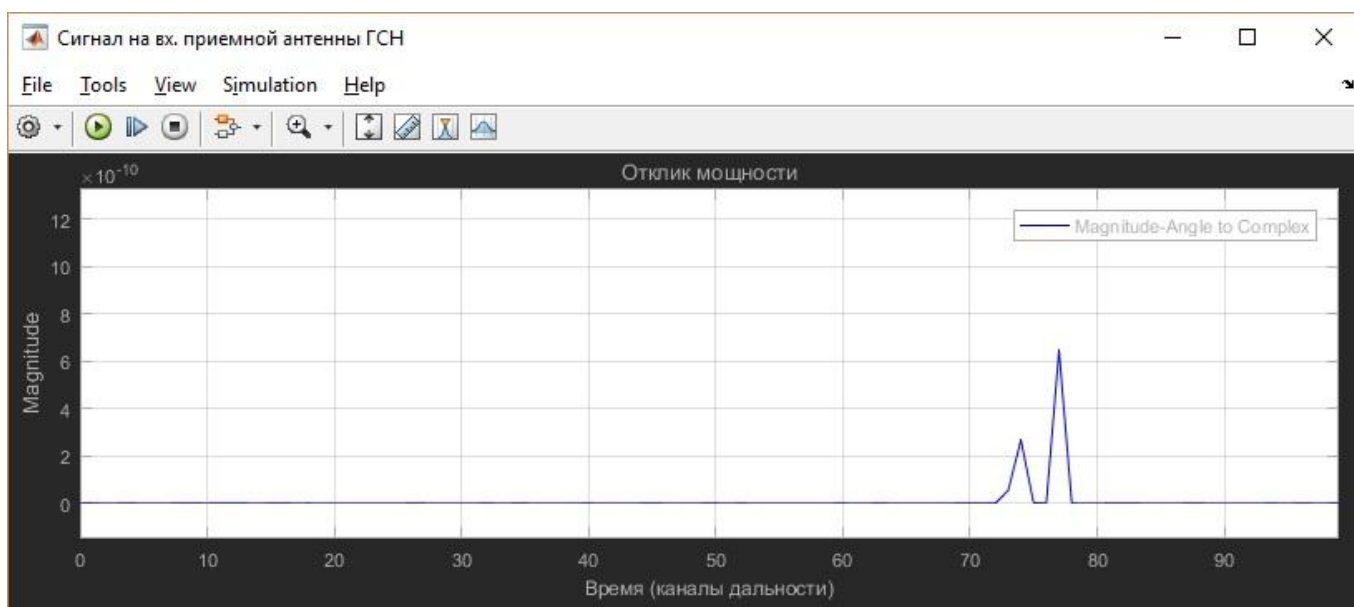


Рисунок 6.4 – Появление сигнала уводящей помехи на входе приёмной антенны (слева сигнал цели, справа сигнал помехи)

Поскольку в начале моделирования была включена защита от уводящих помех, в селекторе дальности можно наблюдать, за каким из сигналов следит система сопровождения по дальности (рисунки 6.5; 6.6).

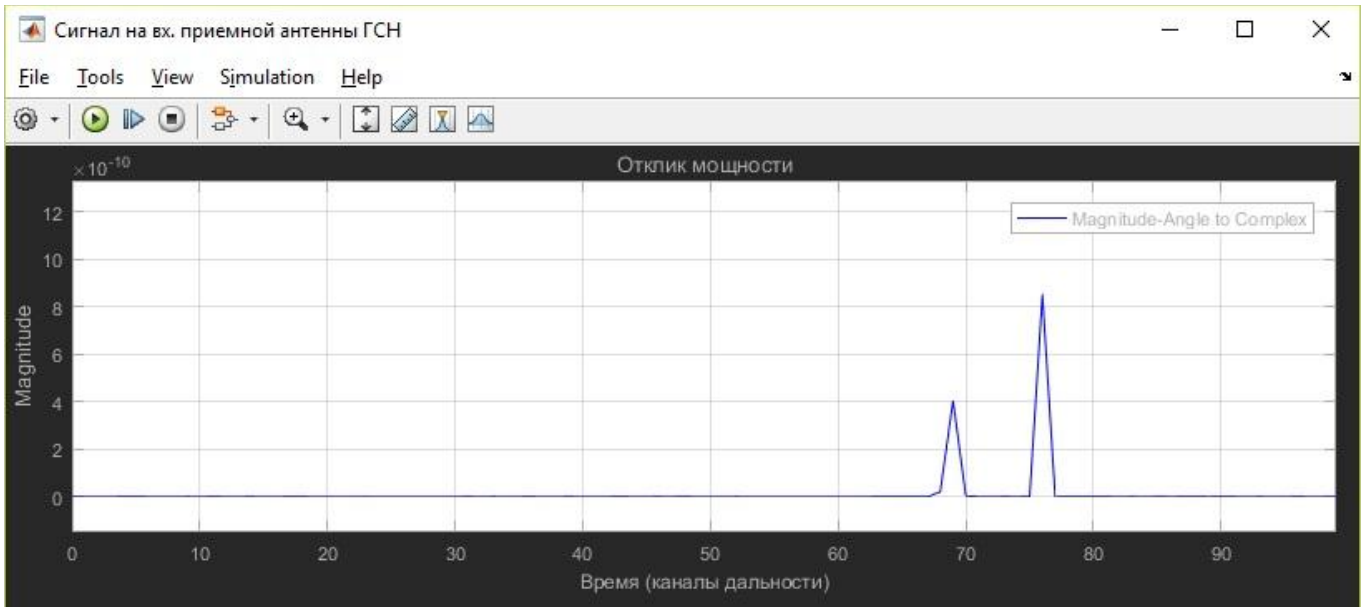


Рисунок 6.5 – Сигнал цели и сигнал помехи на входе приёмной антенны (слева сигнал цели, справа сигнал помехи)

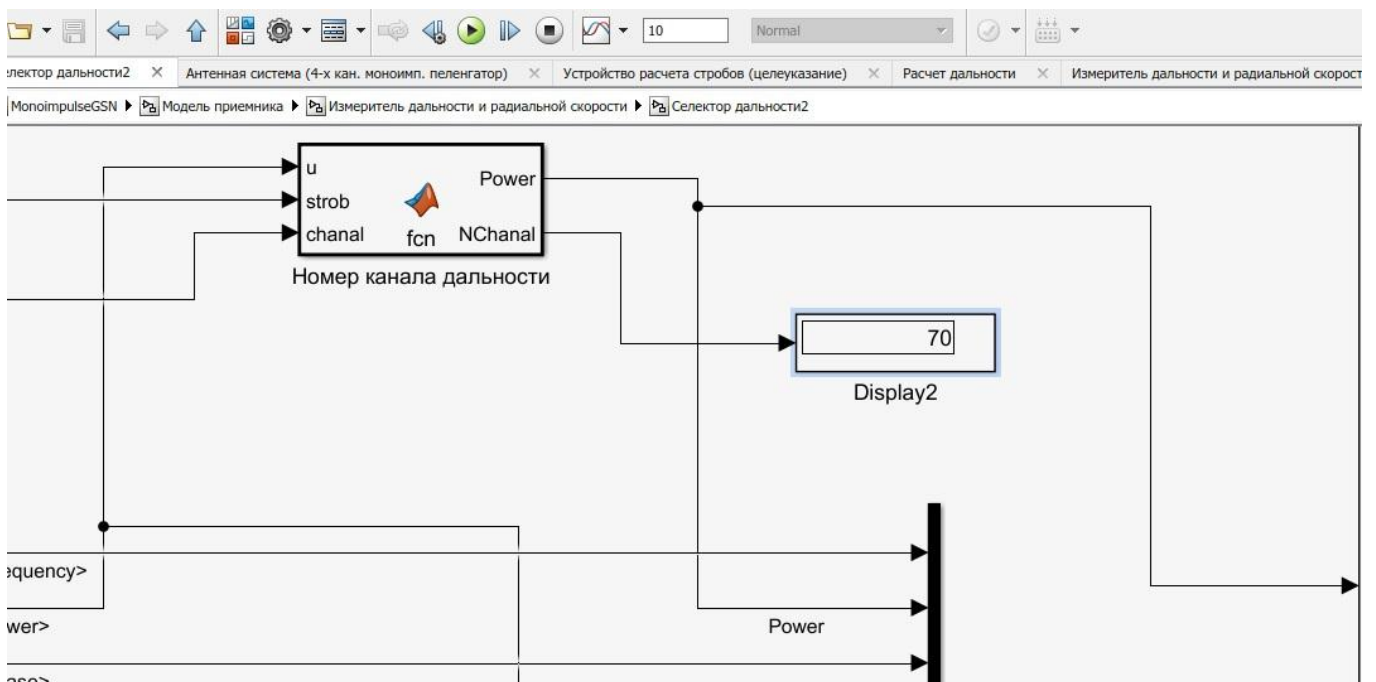


Рисунок 6.6 – Селектор дальности

В селекторе дальности, в блоке «Display2» отображается номер канала дальности за которым следит следящая система. Если посмотреть на рисунок 6.5, то видно, что в 70-ом строке дальности находится сигнал цели.

Исходя из выше сказанного делаем вывод о том, что система помехозащиты работает и полностью справляется с вводящей помехой.

7 Организационно-экономический раздел

В организационно-экономическом разделе работы проводится планирование опытно-конструкторских работ методом сетевого планирования, рассчитывается себестоимость выполняемых работ, стоимостная оценка результатов, а так же вычисляется срок окупаемости нового изделия.

7.1.1 Построение сетевого графика

Сетевое планирование широко применяется для оптимизации управления сложными разветвленными комплексами работ. Для построения сетевого графика составляется перечень работ, их параметров, а также численность исполнителей по категориям. В качестве исполнителей работ необходимо привлечь одного руководителя (рук.), двух инженеров (инж.) и одного лаборанта техника (лаб.). В таблице 7.1 приведен перечень работ сетевого графика дипломной работы с указанием кода работы, исполнителей, а также продолжительностью в днях каждой работы. При этом предполагается, что минимальная оценка соответствует наиболее благоприятным, а максимальная - наиболее неблагоприятным условиям работы.

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

Ожидаемая продолжительность каждой работы определяется по формуле

$$t_{ij} \text{ ож} = 0,6 t_{ij} \text{ мин} + 0,4 t_{ij} \text{ макс.}$$

Среднеквадратическое отклонение δ_{ij} продолжительности в двухоценочной методике рассчитывается по формуле

$$\delta_{ij} = 0,2 (t_{ij} \text{ макс} - t_{ij} \text{ мин}).$$

Таблица 7.1 - Перечень, параметры и вероятностные характеристики работ СГ

Код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн			Исполнители, чел.			Средне-квадратическое отклонение, дн	Дисперсия, дн ²
		мин.	макс.	ожид.	рук.	инж.	лаб.		
0--1	Получение темы. Анализ темы. Составление технического задания	3	12	7	1	2	0	1,08	3,24
1-2	Согласование и подписание технического задания	1	3	2	0	1	1	0,24	0,16
2-3	Подбор литературы для реализации проекта	2	5	3	0	2	1	0,36	0,36
2-4	Выбор САПРа для моделирования	1	3	2	0	2	0	0,24	0,16
2-5	Поиск аналогичных проектов по реализации защиты от уводящих помех	2	4	3	1	2	0	0,24	0,16
3-6	Анализ литературы	5	10	7	0	2	1	0,6	1,00
4-6	Подробное изучение функциональных возможностей САПРа	7	14	10	0	2	0	0,84	1,96
5-6	Изучение аналогичных проектов (моделей) защиты от уводящих помех	2	8	4	0	2	0	0,72	1,44

Продолжение таблицы 7.1

Код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн			Исполнители, чел.			Средне-квадратическое отклонение, дн	Дисперсия, дн ²
		мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.		
6-7	Математическое описание каждого элемента проекта	5	10	7	0	2	0	0,6	1,00
7-8	Подбор литературы по БЖД	2	4	3	0	2	0	0,24	0,16
7-9	Подбор литературы по экономической части	2	4	3	0	2	0	0,24	0,16
8-10	Анализ литературы по БЖД	3	5	4	0	1	1	0,24	0,16
9-10	Анализ литературы по экономической части	1	3	2	0	1	1	0,24	0,16
10-11	Математическое описание каждого элемента проекта	10	20	14	0	2	0	1,2	4,00
11-12	Реализация проекта в САПР	14	21	17	1	2	1	0,84	1,96
12-13	Анализ функциональной недостаточности	7	10	8	0	2	0	0,36	0,36
12-14	Выдвижение и проработка предложение по модернизации проекта.	5	8	6	1	2	1	0,36	0,36
13-15	Разработка критериев оценки функционирования проекта	3	5	4	1	2	1	0,24	0,16

Продолжение таблицы 7.1

Код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн			Исполнители, чел.			Средне-квадратическое отклонение, дн	Дисперсия, дн ²
		мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.		
14-15	Доработка проекта в соответствии с предложениями по его модернизации	4	6	5	0	2	0	0,24	0,16
15-16	Исследование методов защиты от уводящих помех в проекте, реализованном в САПР	4	7	5	0	2	0	0,36	0,36
16-17	Анализ данных, полученных при исследовании методов защиты от уводящих помех	7	10	8	0	2	0	0,36	0,36
17-18	Разработка мероприятий по БЖД	3	4	3	0	0	1	0,12	0,04
17-19	Составление сетевого графика	2	5	3	0	0	1	0,36	0,36
18-20	Составление обзора по литературе	2	4	3	0	0	1	0,24	0,16
19-21	Оформление пояснительной записки	3	7	5	0	1	0	0,48	0,64
20-22	Подготовка плакатов	1	3	2	0	0	1	0,24	0,16
21-22	Составление презентации для защиты проекта	3	5	4	0	0	1	0,24	0,16

Продолжение таблицы 7.1

Код работы	Наименование работы	Продолжительность, дн			Исполнители, чел.			Средне-квадратическое отклонение, дн	Дисперсия, дн ²
		мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.		
22-23	Написание речи	2	4	3	0	0	1	0,24	0,16
23-24	Защита проекта	1	1	1	1	2	0	0	0

Дисперсия определяется по формуле

$$D_{ij} = 0,04(t_{ij \text{ макс}} - t_{ij \text{ мин}})^2.$$

Рассчитанные значения заносятся в таблицу 1 по возрастанию кодов работ.

Ранний срок начала работы $T_{рнij}$ совпадает с ранним сроком свершения его начального события.

Поздний срок начала работы $T_{пнij}$ можно получить, если из позднего срока свершения её конечного события вычесть её ожидаемую продолжительность.

Ранний срок окончания работы $T_{роij}$ образуется прибавлением её продолжительности к раннему сроку свершения её начального события.

Поздний срок окончания работы $T_{поij}$ совпадает с поздним сроком свершения её конечного события.

Полный резерв времени работы $R_{пij}$ образуется вычитанием из позднего срока свершения её конечного события раннего срока свершения её начального события и её ожидаемой продолжительности.

Частный резерв времени первого рода $R^1_{пij}$ равен разности поздних сроков свершения её конечного и начального событий за вычетом её ожидаемой продолжительности.

Частный резерв времени второго рода $R^2_{пij}$ равен разности ранних сроков свершения её конечного и начального событий за вычетом её ожидаемой продолжительности.

Свободный резерв времени работы R_{cij} образуется вычитанием из раннего срока свершения её конечного события позднего срока свершения её начального события её ожидаемой продолжительности.

7.1.2 Расчёт параметров сетевого графика

Ранний срок свершения исходного (нулевого) события СГ принимается равным нулю. Ранний срок свершения данного промежуточного события рассчитывается путём сравнения сумм, состоящих из раннего срока свершения события, непосредственно предшествующего данному и длительности работы. Так как данное событие не может свершиться, пока не закончится последняя из непосредственно предшествующих ему работ, очевидно, что в качестве раннего срока свершения события принимается максимальная из сравниваемых сумм. Расчёт произведён в таблице 7.2

Таблица 7.2 - Параметров сетевого графика

В днях

Номер события	Сроки свершения		Резерв времени	Номер события	Сроки свершения		Резерв времени
	ранний	поздний			ранний	поздний	
0	0	0	0	13	74	74	0
1	7	7	0	14	72	73	1
2	9	9	0	15	78	78	0
3	12	14	2	16	83	83	0
4	11	11	0	17	91	91	0
5	12	17	5	18	94	98	4
6	21	21	0	19	94	94	0
7	28	28	0	20	97	101	4
8	31	31	0	21	99	99	0
9	31	33	2	22	103	103	0
10	35	35	0	23	106	106	0
11	49	49	0	24	107	107	0
12	66	66	0				

7.1.3 Расчёт параметров работ сетевого графика

Для работ, лежащих на критическом пути коэффициент напряжённости $K_{нij} = 1$. Коэффициент напряжённости всегда меньше либо равен 1, его величина подсчитывается как отношение суммы продолжительностей отрезков максимального пути, проходящего через данную работу, не совпадающих с критическим путём $t_{максij}$ к сумме продолжительностей отрезков критического пути, не совпадающих с максимальным путём, проходящим через эту работу $t_{криj}$. Расчёт произведён в таблице 7.3.

В зависимости от коэффициента напряжённости все работы попадают в одну из трёх зон напряжённости:

- а) критическую, $k_{нij} > 0.8$;

б) промежуточную, $0,5 \leq k_{nij} \leq 0,8$;

в) резервную, $k_{nij} < 0,5$.

Результаты расчётов представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 - Параметры работ сетевого графика

Код работы	Ожидаемая продолжительность	Сроки начала		Сроки окончания		Резервы времени				В днях Коэффициент напряжённости
		ранний	поздний	ранний	поздний	полный	частный 1 рода	частный 2 рода	свободный	
0-1	7	0	0	7	7	0	0	0	0	1,00
1-2	2	7	7	9	9	0	0	0	0	1,00
2-3	3	9	9	12	14	2	2	0	0	0,83
2-4	2	9	9	11	11	0	0	0	0	1,00
2-5	3	9	9	12	17	5	5	0	0	0,58
3-6	7	12	14	21	21	2	0	2	0	0,83
4-6	10	11	11	21	21	0	0	0	0	1,00
5-6	4	12	17	21	21	5	0	5	0	0,58
6-7	7	21	21	28	28	0	0	0	0	1,00
7-8	3	28	28	31	31	0	0	0	0	1,00
7-9	3	28	28	31	33	2	2	0	0	0,71
8-10	4	31	31	35	35	0	0	0	0	1,00
9-10	2	31	33	35	35	2	0	2	0	0,71
10-11	14	35	35	49	49	0	0	0	0	1,00
11-12	17	49	49	66	66	0	0	0	0	1,00
12-13	8	66	66	74	74	0	0	0	0	1,00
12-14	6	66	66	72	73	1	1	0	0	0,91
13-15	4	74	74	78	78	0	0	0	0	1,00
14-15	5	72	73	78	78	1	0	1	0	0,91
15-16	5	78	78	83	83	0	0	0	0	1,00
16-17	8	83	83	91	91	0	0	0	0	1,00
17-18	3	91	91	94	98	4	4	0	0	0,66
17-19	3	91	91	94	94	0	0	0	0	1,00
18-20	3	94	98	97	101	4	0	0	-4	0,66

Продолжение таблицы 7.3

Код работы	Ожидаемая продолжительность	Сроки начала		Сроки окончания		Резервы времени				Коэффициент напряжённости
		ранний	поздний	ранний	поздний	полный	частный 1 рода	частный 2 рода	свободный	
19-21	5	94	94	99	99	0	0	0	0	1,00
20-22	2	97	101	103	103	4	0	4	0	0,66
21-22	4	99	99	103	103	0	0	0	0	1,00
22-23	3	103	103	106	106	0	0	0	0	1,00
23-24	1	106	106	107	107	0	0	0	0	1,00

Количество событий $n_c = 24$. Количество работ $n_p = 29$.

Коэффициент сложности СГ, равный отношению количества работ к количеству событий в СГ: $K_c = 1,2$. Критический путь $L_{кр} = 107$ дней.

Дисперсия срока наступления завершающего события определяется в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей как сумма дисперсии работ критического пути:

$$D = 15,6.$$

Вероятность свершения завершающего события в срок, равный продолжительности критического пути, равна $p(t_{св} \leq t_{кр}) = 0,5$. Если директивный срок T_d установлен меньше продолжительности критического пути, вероятность свершения события к директивному сроку меньше 0,5 и может быть рассчитана с помощью функции распределения нормального отклонения (нормированная функция Лапласа) $\Phi(i) + 0,5$. Нормальное отклонение "и" равно разности между директивным сроком и продолжительностью критического пути (с учётом знака), отнесённой к среднеквадратическому отклонению продолжительности критического пути.

Если вероятность свершения завершающего события меньше 0,35, считается, что опасность нарушения директивного срока настолько велика, что необходимо

повторное планирование с перераспределением или дополнительным привлечением ресурсов на работы критического пути. Если эта вероятность больше 0,65 (что имеет место при директивном сроке, превышающем продолжительность критического пути), целесообразно перепланировать весь СГ, так как на всех работах, включая критические, имеются избыточные ресурсы.

Среднеквадратическое отклонение продолжительности критического пути определяется по формуле

$$\sigma_{кр} = \sqrt{D_{tкр}} = 3,94,$$

где $D_{tкр}$ - дисперсия срока наступления завершающего события, равная сумме дисперсий работ критического пути.

Директивный срок написания диплома 106 дня с момента выдачи задания на преддипломной практике до сдачи пояснительной записки на кафедру для утверждения и прохождения нормоконтроля. Результаты в таблице 7.4.

Таблица 7.4 - Вероятности свершения завершающего события в директивный срок

Наименование показателя	
Критический срок	107,00
Среднеквадратическое отклонение	3,95
Директивный срок	106,00
Нормальное отклонение	-0,25
Вероятность свершения	0,40

Полученная вероятность больше 0,35 и меньше 0,65, что значит что оптимизация сетевого графика не требуется.

7.2 Расчёт затрат на проведение НИОКР

Дипломный проект относится к НИОКР (научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа). Сметная стоимость НИОКР складывается из следующих статей затрат:

- материалы;
- контрагентские расходы;
- покупные изделия;
- заработная плата;
- накладные расходы;

- смета затрат.

Рассмотрим каждую статью затрат более подробно. Затраты на материалы приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5

Наименование	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Папка для сшивания листов	1	120	120
Зажимы для бумаги	6	20	120

Итого: 240 руб.

Контрагентские расходы включают стоимость работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями по заказу данной организации, результаты которых используются в данной НИР. При выполнении данной работы в качестве контрагентских расходов выступает вывод графического материала. Подробнее в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Затраты на контрагентские расходы

Наименование	Количество, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Печать А4	100	2,5	250
Печать А1	6	80	480

Итого: 730 руб.

Рассчитаем расходы на заработную плату. Ее можно рассчитать, разделив месячный должностной оклад на среднее число рабочих дней в месяце, установленное в законодательном порядке (22 дня), и умножив на количество дней, в которых занят специалист (трудоемкость).

К итоговой сумме необходимо прибавить 30% это затраты на фонд оплаты труда.

Затраты на заработную плату представлены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Расчет основной заработной платы

Категории работников	Оклад, руб.	Трудоёмкость, дн	Однодневная з/п, руб.	Полная з/п, руб.
Руководитель	30000	38	1360	51680
Инженеры	25000	247	1130	279110
Лаборант	10000	63	450	28350
			Итого	359140
			Итого +ФОР	466882

Покупные изделия или покупные программные продукты, лицензии.

Лицензия Matlab 2016b – 12000 руб.

Итого: 12000 руб.

Накладные расходы (НР). Накладные расходы связаны с затратами на управление и хозяйственное обслуживание, и составляют 10% от суммы затрат по предыдущим пунктам (479852 руб). Накладные расходы равны 47985 руб. Смета представлена в таблице 7.8.

Таблица 7.8 - Смета затрат на НИОКР

Наименование	Стоимость, руб.
Материалы	240
Контрагентские расходы	730
Покупные программные продукты	12000
Заработные платы и начисления	466882
Накладные расходы	47985
Итого	527837

7.3 Анализ технико-экономической эффективности

В ходе дипломного проектирования была разработана модель, стоимость разработки модели в сторонней организации 1500 рублей за 1 час работы. Для опытных специалистов на разработку данной модели при 8 часовом рабочем дне потребовалось бы около 2,5 месяцев работы (55 рабочих дня). Таким образом получаем 660000 руб. Так же данную модель нужно тестировать и проверять. Тестирование и устранение неполадок заняло бы в сторонней организации около двух недель (10 рабочих дней). Инженеры по тестированию получают 1000 руб. за час своего рабочего времени. Рассчитав стоимость получим 80000 руб. Сложив все затраты для разработки данного проекта в сторонних организациях получаем минимум 740000 руб, что значительно превышает наши затраты на разработку данного проекта (527837 руб).

8 Безопасность жизнедеятельности

8.1 Анализ потенциально опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ)

В дипломном проекте разработана и исследована модель защиты от уводящих помех по дальности и скорости. Работы по реализации проекта проводились на кафедре Инфокоммуникационных технологий. В данной главе будут рассмотрены вопросы соблюдения норм безопасности при моделировании и использовании модели.

Проанализируем потенциально опасные и вредные производственные факторы при моделировании проекта.

Физические:

- неблагоприятные параметры микроклимата;
- недостаточная освещённость рабочей зоны;
- шум:

психофизиологические:

- нервно-психические;
- неправильная рабочая поза.

8.2 Требования к помещению в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при наличии расчетов, обосновывающих соответствие нормам естественного освещения и безопасность их деятельности для здоровья работающих.

(п. 3.1 в ред. Изменения N 1, утвержденного Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.04.2007 N 22)

Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. 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.

Не допускается размещение мест пользователей ПЭВМ во всех образовательных и культурно-развлекательных учреждениях для детей и подростков в цокольных и подвальных помещениях.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м², в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м².

При использовании ПЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4-х часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м² на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования).

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.

Полимерные материалы используются для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ при наличии санитарно-эпидемиологического заключения.

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.

8.3 Требования к микроклимату

В соответствии с требованиями СанПиН 2.2.4.3359-16 необходимо создать оптимальные условия производственной среды в рабочей зоне в зависимости от

времени года, категории работ по энергозатратам, избытка явного тепла. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха с учетом периода года и категории работ приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1— Нормированные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость ветра, м/с	
	Опт-ая	Доп-ая	Опт-ая	Доп-ая	Опт-ая	Доп-ая
Холодный	22...24	21...25	40...60	75	0,1	≤0.1
Тёплый	23...25	22...28	40...60	70 (при 25 °С)	0,1	0,1...0,2

Время года включает: холодный и переходный периоды с температурой наружного воздуха ниже плюс 10°С; теплый период с температурой плюс 10°С и выше. Параметры метеорологических условий должны контролироваться на рабочих местах.

Требование к аэроионному составу воздуха в соответствии с требованиями СанПИН 2.2.4.1294-03 в таблице 8.2.

Таблица 8.2 - Требование к аэроионному составу воздуха

Нормируемые показатели	Концентрация аэроионов, r (ион/см ³)		Коэффициент униполярности U
	положительной полярности	отрицательной полярности	
Минимально допустимые	$r^{+3} \geq 400$	$r^{-3/4} > 600$	0,4 ≤ U < 1,0
Максимально допустимые	$r^{+} < 50000$	$r^{-3/4} \leq 50000$	

8.4 Требования к освещению согласно СанПин 2.2.2/2.4.1340

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.

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/м².

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/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

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.

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 (Кз) 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.

8.5 Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах пользователей, а также в помещениях образовательных, дошкольных и культурно-развлекательных учреждений, представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
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 на рабочем месте оператора		15 кВ/м

8.6 Требования к уровням шума и вибрации на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать 80 дБА, согласно СанПиН 2.2.4.3359-16.

В помещениях всех образовательных и культурно-развлекательных учреждений для детей и подростков, где расположены ПЭВМ, уровни шума не должны превышать допустимых значений, установленных для жилых и общественных зданий.

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.

В помещениях всех типов образовательных и культурно-развлекательных учреждений, в которых эксплуатируются ПЭВМ, уровень вибрации не должен превышать допустимых значений для жилых и общественных зданий в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

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

8.7 Требования к рабочему месту

Условия труда соответствуют основным требованиям (СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электро-вычислительным машинам и организации работы»):

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.

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 углом наклона вперед до 15 град. и назад до 5 град.;
- высоту опорной поверхности спинки 300 +/- 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах +/- 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 +/- 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.

8.8 Анализ собственного рабочего места.

Окна помещения, где производилось моделирование и реализация проекта ориентированы на север. На окнах присутствуют жалюзи. Схема помещения приведена на рисунке 8.1.

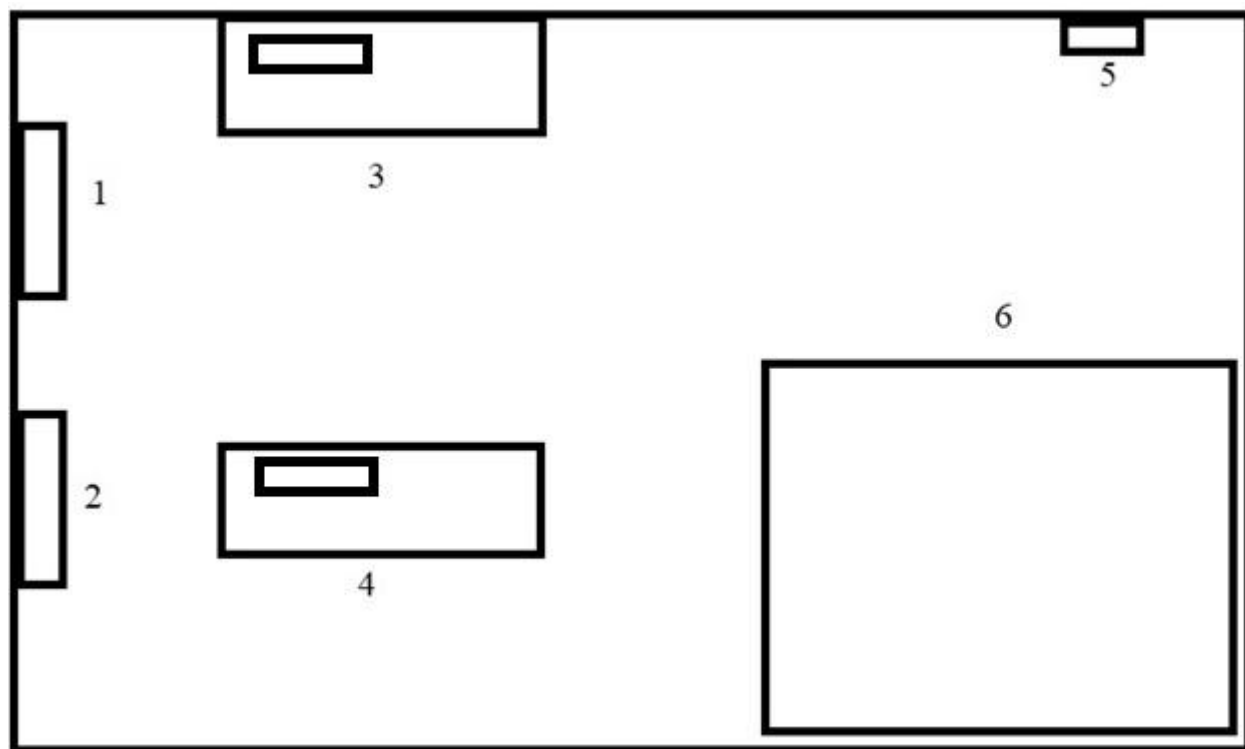


Рисунок 8.1 – Схема помещения

1 и 2 – окна, 3 и 4 – рабочие места, оборудованные ПЭВМ, 5 – дверь, 6 – стеллаж с лабораторным оборудованием (осциллографы, генераторы). ПЭВМ

Площадь помещения 15 м². Рабочие места в помещении занимают более 4,5 м², следовательно требование к рабочим местам, где используются ПЭВМ выполняется. Источниками шума в помещении являются системные блоки компьютеров. Прочая оргтехника находится вне рабочего помещения.

Освещение в помещении комбинированное. Рабочий стол стоит левым боком к окну, естественный свет падает слева. Искусственное освещение осуществляется светодиодными светильниками, расположенными на потолке, по 49 светодиодов в светильнике. В помещении два светильника.

Рабочий стол соответствует требованиям к размерам, пространству для ног. Стул соответствует требованиям частично. Площадь для сидения не менее 400 мм, передний край сидения закруглён. Высота сидения не регулируется, но находится в пределах в пределах 400...550 мм. Положение спинки не регулируется. Требования к микроклимату соблюдены. Температура воздуха в помещении 22...24 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель устройства защиты от уводящих помех по дальности и скорости в графической среде имитационного моделирования Simulink позволяет смоделировать различные ситуации воздействия уводящих помех по дальности и скорости на ракету. Реализованные алгоритмы защиты от уводящих помех в блоке помехозащиты успешно преодолевают воздействия уводящих помех на ракету.

Сложность реализованных алгоритмов помехозащиты позволяет моделировать ситуации, максимально приближенные к настоящим.

Разработаны мероприятия по охране труда при эксплуатации изделия.

Рассчитаны экономические показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.И. Меркулов, А.И. Канащенко Защита радиолокационных систем от помех. Радиотехника, 2003.
2. С.Н. Даровских , А.Ю. Кудрявцев, А.Ю. Карманов, Н.В. Вдовина, А.Н. Николаев. Основы теории систем и комплексов радиоэлектронной борьбы. Учебное пособие. Издательский центр ЮУрГУ, 2017.
3. А.В. Блакришан Теория фильтрации Калмана,; Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.
4. В.Г. Небабин, В.В. Сергеев Методы и техника радиолокационного распознавания. – М.: Радио и связь, 1984.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. Учебник для вузов – М.: Радио и связь, 1983.
6. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М.: Советское радио, 1968.
7. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. М.: Военное издательство, 1989.
8. Сетевые методы планирования и управления: Методические указания к курсовому проекту для студентов приборостроительного факультета / Составители: В.С. Зинкевич, Л.А. Баев, Н.П. Мешковой. - Челябинск Изд. ЮУрГУ, 1998. - 22с.
9. Организационно-экономический раздел дипломного проекта конструкторского направления: Учеб. пособие для студентов приборостроительного факультета / Мешковой Н.П., Закиров Р.Ш., Зинкевич В.С., Попов Г.С.; Под ред. Н.П. Мешкового. - Челябинск: ЧГТУ, 1990. - 53 с.
10. Методические указания по дипломному проектированию для студентов приборостроительного факультета. (Раздел «Безопасность жизнедеятельности») / Составители: Н.В. Глотова, И. С. Окраинская; Под ред. А.И. Сидорова. - Челябинск: ЮУрГУ, 1999. - 16 с.