

АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ
И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ЗРК ТИПА С-125

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ
ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК 2 ЦНИИ МО РФ
доктор технических наук
профессор

В.М. ЖИРКОВ

2 0 0 3

ВВЕДЕНИЕ

Данный экспертный анализ конструктивных особенностей и боевых возможностей различных модификаций ЗРК типа С-125 подготовлен на основании соглашения между 2 ЦНИИ МО РФ и Федеральным агентством по правовой защите результатов интеллектуальной деятельности военного, специального и двойного назначения при Министерстве юстиции Российской Федерации №46-с от 14.11.2002 года.

Целью экспертного анализа являлась подготовка исходных данных для определения общего уровня конструктивной преемственности зенитного ракетного комплекса С-125М2А.

Экспертный анализ проведен в соответствии с требованиями по правовой защите результатов интеллектуальной деятельности, определенными Постановлением Правительства РФ № 1132 от 29 сентября 1998 г. «О первоочередных мерах по правовой защите интересов государства в процессе экономического и правового оборота результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ военного и двойного назначения».

СОДЕРЖАНИЕ

1 Обзор терминов и определений, рекомендуемых для применения при проведении научно-технической экспертизы различных модификаций ЗРК типа С-125.....	6
1.1 Перечень терминов и их сокращений (аббревиатур) в алфавитном порядке	6
1.2 Словарь (тезаурус) терминов с определениями и комментариями.....	8
2 анализ структуры, принципов функционирования и конструктивных особенностей различных модификаций ЗРК типа С-125.....	12
2.1 Анализ общей структуры ЗРК типа С-125.....	12
2.1.1 Назначение и общая структура ЗРК типа С-125.....	12
2.2 Анализ назначения основных средств, входящих в состав ЗРК типа С-125 (штатных средств) и в состав средств боевого обеспечения (придаваемых средств).....	13
2.3 Классификация модификаций ЗРК типа С-125.....	16
2.4 Анализ жизненных циклов и характера преемственности модификаций ЗРК типа С-125.....	17
2.4.1 Жизненные циклы и преемственность основной номенклатуры модификаций ЗРК типа С-125.....	17
2.4.2 Жизненные циклы и преемственность ракет, входящих в состав ЗРК типа С-125.....	19
2.5 Анализ принципов построения базовой модификации ЗРК типа С-125 «Нева» (ЗРК С-125М1 «Печора»).....	21
2.5.1 Общие принципы построения ЗРК.....	21
2.5.2 Принципы построения станции наведения ракет С-125.....	23
2.5.3 Принципы построения зенитных управляемых ракет (ЗУР).....	60
2.5.4 Принципы построения стартового оборудования.....	67
2.5.5 Принципы построения средств энергоснабжения.....	70

2.6 Анализ принципов функционирования базовой модификации ЗРК С-125 «Нева» (ЗРК С-125М1 «Печора»)	71
2.6.1 Общие принципы функционирования ЗРК	71
2.6.2 Основные принципы функционирования наземных средств ЗРК	86
2.6.3 Основные принципы функционирования ЗУР	98
2.7 Анализ особенностей принципов построения и функционирования модификаций ЗРК типа С-125, поставляемых на экспорт (ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А»)	104
2.7.1 Анализ особенностей принципов построения и функционирования ЗРК «Печора-2М»	104
2.7.2 Анализ особенностей принципов построения и функционирования ЗРК «Печора-2А»	112
3 оценка эффективности боевого применения различных модификаций ЗРК типа С-125	117
3.1 Анализ особенностей боевого применения ЗРК типа С-125	117
3.2 Обоснование перечня показателей боевых возможностей ЗРК	123
3.3 Система моделирования, используемая для оценки эффективности ЗРК	126
3.3.1 Общие принципы построения системы моделирования	126
3.3.2 Принципы моделирования средств воздушного нападения (СВН)	130
3.3.3 Принципы моделирования зенитных ракетных средств	133
3.3.4 Принципы подготовки исходных данных	142
3.3.5 Принципы сбора и обработки результатов моделирования	145
3.4 Исходные данные по вариантам построению моделируемой группировки ПВО	156
3.5 Исходные данные по вариантам удара СВН	158
3.6 Результаты сравнительной оценки эффективности боевых действий группировок ПВО на базе ЗРК типа С-125, в том числе поставляемых на экспорт (ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А»)	161

3.6.1 Результаты сравнительного анализа тактико-технических характеристик ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А».....	161
3.6.2 Результаты оценки эффективности по отражению массированного удара СВН.....	163

1 ОБЗОР ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ЗРК ТИПА С-125

1.1 Перечень терминов и их сокращений (аббревиатур) в алфавитном порядке

АВС	антенно-волноводная система
АДА	автоматический дрейфующий аэростат
АДЦ	аэродинамическая цель
АПП	автоматический прибор пуска
АС	автоматическое сопровождение
АСУРК	автоматизированной системой управления ракетными комплексами
АУС	абонентский узел связи
АФУ	антенно-фидерное устройство
БТ	боевая трубка;
БЦ	баллистическая цель
БЧ	боевая часть
ВДМ	воспламенительно-детонирующий механизм
ВИКО	выносной индикатор кругового обзора
ДЭС	дизель-электростанций
зрдн	зенитный ракетный дивизион
ЗРК	зенитный ракетный комплекс
ЗУР	зенитная управляемая ракета
ИКО	индикатор кругового обзора
МИПЧ	механизм изменения передаточного числа
МП	маскирующий пост
НРЗ	наземный радиолокационный запросчик
ОЭС	оптико-электронная система

ПДУ	переднее дозирующее устройство
ПИМ	предохранительно-исполнительный механизм
ПКЗ	площадка контроля и зачехления
ПКУ	передвижная контрольная установка
ПКУ	передвижная контрольная установка
ПРД	пороховой ракетный двигатель
ПТП	передвижная трансформаторная подстанция
ПУ	пусковая установка
РД	радиолокационный дальномер
РЛК	радиолокационный канал
РПК	радиопередатчик команд
РС	ручное сопровождение
РУиВ	радиоаппаратура управления и визирования
СДЦ	аппаратура селекции движущихся целей
СНР	станция наведения ракет
СП	стартовая позиция
СРЦ	станция разведки и целеуказания
ССП	синхронно-следающий привод
СУА	система управления антеннами
СУС	систему управления стартом
СЧК	система стабилизации частоты клистрона
СЭС	средств электроснабжения
ТВК	телевизионный канал
тдн	технический дивизион
ТЗМ	транспортно-заряжающая машина
ТП	техническая позиция
ТПК	тепловизионный канал
ТСТ	технологическая стыковочная тележка
УВК	устройство выработки команд

УОК	устройство определения координат
УСУ	универсальное селектирующее устройство
ЦУ	целеуказание

1.2 Словарь (тезаурус) терминов с определениями и комментариями

В виду отсутствия в настоящее время общепринятой терминологии в области зенитного ракетного вооружения ниже изложены основные термины и определения, принятые при проведении экспертизы.

Зенитный ракетный комплекс (ЗРК) - совокупность функционально и технически связанных боевых и технических средств, обеспечивающих выполнение задач по обстрелу и уничтожению воздушных целей зенитными управляемыми ракетами (ЗУР).

Боевые средства ЗРК - конструктивно и функционально законченные изделия, осуществляющие операции по обстрелу и уничтожению воздушных целей ЗУР. Для ЗРК типа С-125 к боевым средствам относятся:

- ☐ станция наведения ракет (СНР), осуществляющий обнаружение и сопровождение целей, а также обнаружение и сопровождение ЗУР в полете. Кроме того, с СНР осуществляется связь с внешними абонентами, управление другими средствами ЗРК, а также управление ЗУР в полете;
- ☐ пусковые установки (ПУ), осуществляющие подготовку к старту и старт ЗУР по командам от СНР.

Кроме того, при проведении экспертизы к боевым средствам ЗРК отнесены и ЗУР.

Технические средства ЗРК - конструктивно и функционально законченные изделия, осуществляющие подготовку, проверку, заправку и транспортировку ЗУР, зарядание пусковых установок, а также электроснабжение, перевозку, топопривязку, техническое обслуживание и ремонт боевых средств.

Базовый комплект ЗРК - обычное количество боевых и технических средств, входящих в состав ЗРК. Для более эффективного выполнения задач ЗРК к его базовому комплекту придаются дополнительные средства.

Дополнительные средства ЗРК - конструктивно и функционально законченные изделия, придаваемые ЗРК сверх базового комплекта в вариантах его комплектации. Обычно дополнительные средства представляют собой специфические изделия, повышающие эффективность работы боевых и технических средств ЗРК.

Боевой комплект ЗУР - нормированное количество ЗУР, установленное для базовой комплектации ЗРК.

Дополнительный комплект ЗУР - ненормированное количество ЗУР, входящее в состав системы сверх базовой комплектации ЗРК.

Целевой канал – совокупность радиотехнических устройств, предназначенных для обнаружения, сопровождения и определения текущих координат целей.

Ракетный канал – радиотехнических устройств, предназначенных для пуска, захвата и наведения одной ракеты на цель.

Зона поражения (ЗП) ЗРК - часть воздушного пространства, в любой точке которого при определенных условиях стрельбы обеспечивается поражение одной ЗУР одиночной цели определенного типа с вероятностью, не менее заданной. Различают обычные ЗП, реализуемые ЗП и гарантированные ЗП. Кроме того, есть ЗП навстречу цели и ЗП вдогон. Основной характеристикой ЗП является местоположение ее ближней и дальней границ относительно точки стояния ЗРК, а также верхней и нижней границ относительно поверхности земли.

Система управления ракетами – совокупность устройств, определяющих положение ракеты и цели и обеспечивающих выработку команд управления и наведения ракеты на цель в течении всего времени полета до встречи с целью.

Огневое подразделение - основной элемент противоракетной обороны, решающий задачи огневого поражения воздушных (баллистических) целей. Как правило, огневым подразделением является зенитный ракетный дивизион.

Станция разведки и целеуказания (СРЦ) – РЛС, ведущая разведку и опознавание воздушных целей, данные которых используются для целеуказания.

Станция наведения ракет (СНР) – элемент ЗРК, предназначенный для сопровождения целей и наведения на них ЗУР. Для ЗРК типа С-125 СНР является нечто большим, чем просто РЛС. В качестве РЛС можно рассматривать только ее антенную систему и несколько блоков в кабинах, а остальное оборудование предназначено для подготовки и проведения стрельбы ЗУР, а также оценки ее результатов.

Антенная система СНР - антенны визирования цели и ракет и антенна радиопередатчика команд, смонтированные на кабине УНВ.

Стрельба ЗУР – совокупность операций на ЗРК, проводимых с участием операторов (автоматизированные операции) или без них (автоматические операции) для подготовки к пуску ЗУР, пуска ЗУР, наведения ЗУР, подрыва боевой части ЗУР и оценки результатов подрыва.

Прибор пуска – основная операция на ЗРК (автоматическая) на этапе подготовки к пуску ЗУР, заключающаяся в определении координат и времени прогнозируемой точки встречи ЗУР с целью. Для ЗРК типа С-125 данная операция является автоматической и выполняется так называемым автоматом прибора пуска (АПП).

Наведение ЗУР – процесс управления вектором скорости ЗУР путем воздействия на ее систему управления.

Метод наведения ЗУР – заданный закон сближения ЗУР с целью, который в зависимости от координат и параметров движения цели определяет требуемое движение ЗУР, обеспечивающее ее встречу с целью.

Метод наведения трех точек («трехточка») - метод наведения, при котором ЗУР в течение всего времени полета к цели находится на прямой, соединяющий СНР с целью (на линии визирования).

Метод упреждения - метод наведения, при котором ЗУР в течение всего времени полета к цели находится с некоторым угловым упреждением относительно прямой, соединяющий СНР с целью.

Операторы – лица из боевого расчета ЗРК, осуществляющие автоматизированные операции на автоматизированных рабочих местах (АРМ), состоящих из *индикаторов* и пультов (блоков) управления.

Индикаторы – средства отображения информации, осуществляющие преобразование электрических сигналов в визуальные, что позволяет операторам установить их наличие и определить (оценить) параметры, необходимые для анализа обстановки или принятия решений.

2 АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ, ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ЗРК ТИПА С-125

2.1 Анализ общей структуры ЗРК типа С-125

2.1.1 Назначение и общая структура ЗРК типа С-125

Передвижная система зенитного управляемого ракетного оружия С-125 «Нева», предназначенная для поражения низколетящих целей, разрабатывалась в соответствии с Постановлениями СМ СССР 1957 и 1959 годов.

Головной организацией по разработке системы С-125 в целом и разработке радаролокационной станции наведения является КБ-1 ГКРЭ (ЦКБ «Алмаз»). Генеральный конструктор РАСПЛЕТИН А.А.

Головной организацией по разработке ракеты 5В24 (5В27) является ОКБ-2 ГКАТ («Факел»). Генеральный конструктор ГРУШИН П.Д.

Совместные испытания проводились в период с июля 1960 года по март 1961 года.

Все модификации ЗРС типа С-125 разрабатывались в рамках единой системы (системы С-125) на базе технических решений, реализованных при разработке систем С-75 и [С-25](#). Целью этой работы являлось создание эффективных небольших мобильных комплексов, способных осуществлять борьбу с маловысотными целями.

Под системой типа С-125 понимается комплекс аппаратуры, обеспечивающей сборку, транспортировку, проверку, подготовку, пуск и наведение ракет на цель.

Основной тактико-огневой единицей системы типа С-125 является зенитный ракетный дивизион. Система предназначена для борьбы с аэродинамическими целями, летящими на предельно малых (от 60м) и средних (до 18км) высотах со скоростями до 560м/с, и обеспечивает

поражение воздушных целей на дальностях 3,5 – 28 км с эффективностью до 0,98 при стрельбе двумя зенитными управляемыми ракетами (ЗУР) 5В27 (5В24). В исключительных случаях (при самообороне или при отсутствии других средств борьбы) дивизион может привлекаться для уничтожения наземных (надводных) радиолокационно наблюдаемых целей.

На вооружении дивизиона имеются перевозимый зенитный ракетный комплекс (ЗРК) типа С-125 и средства разведки и целеуказания (СРЦ).

Для централизованного управления боевой работой нескольких (до двенадцати) ЗРК комплекс может сопрягаться с автоматизированной системой управления огнем ракетных комплексов, которая обеспечивает автоматическое целеуказание (передачу данных о координатах цели) и наведение СНР на выбранную цель с командного пункта части или соединения ЗРВ.

2.2 Анализ назначения основных средств, входящих в состав ЗРК типа С-125 (штатных средств) и в состав средств боевого обеспечения (придаваемых средств)

Радиолокационная станция наведения ракет СНР-125

Радиолокационная станция наведения ракет СНР-125 предназначена для обнаружения цели, определения ее текущих координат, управления пусковыми установками зенитных ракету определения текущих координат выпущенных по цели ракет, выработки команд управления и передачи их на ракеты.

Станция СНР-125 осуществляет:

- обнаружение цели в заданном секторе поиска (по данным системы целеуказания);
- автоматическое сопровождение цели;
- ручное сопровождение одиночной или группой цели;
- наведение ракет на цель.

Станция обеспечивает сопровождение цели и наведение ракет на цель (в том числе и на постановщик помех) в условиях организованных активных и пассивных помех, а также случайных помех от метеофакторов и местных предметов.

Аппаратура станции рассчитана на непрерывную круглосуточную работу с общим одночасовым перерывом.

В аппаратной кабине станции размещается командный пункт огневого комплекса. Командный пункт оборудован:

- средствами управления огневым комплексом;
- средствами внутренней (громкоговорящая связь) и внешней (телефон) связи;
- средствами сигнализации о режимах работы станции СНР-125 и о готовности к стрельбе пусковых установок и ракет.

Станция СНР-125 конструктивно состоит из двух единиц:

- аппаратной кабины УНК;
- антенного поста УНВ.

Кабина УНК

Аппаратная кабина выполнена в виде прицепа, внутри которого размещена основная радиоаппаратура станции в составе:

- синхронизатора и индикаторов;
- устройства управления положением антенн;
- приемных устройств;
- устройства селекции движущихся целей;
- устройства определения координат;
- устройства выработки команд;
- устройства передачи команд;
- устройства функционального контроля и тренажера;
- пультов управления

Аппаратура устройств смонтирована в шкафах с выдвижными блоками. Большинство блоков выполнено на печатном монтаже. Шкафы в прицепе размещены двумя группами по бортам прицепа с выделением шкафов, содержащих индикаторы и пульта управления в отдельную группу – так называемый «командный пункт» ЗРК.

Кабина УНК с помощью кабелей электрически соединена с антенным постом УНВ, пусковыми установками и системой электроснабжения.

Антенный пост УНВ

Антенный пост состоит из антенных устройств, высокочастотной радиоаппаратуры и силовых приводов, скомпонованных на артиллерийской повозке.

В состав антенного поста входят:

- передающая антенна;
- приемные антенны;
- антенна передатчика команд;
- передающее устройство;
- высокочастотная часть приемного устройства;
- силовой привод по азимуту;
- силовой привод по углу места.

Электрические связи поста с аппаратной кабиной осуществляются через вращающееся контактное устройство.

Сборка и разборка антенного поста осуществляются с помощью собственного механизма подъема и применения подъемного крана не требуется. Перевозка антенн производится на специальной повозке.

Ракета 5В24 (5В27)

Ракета 5В24 (5В27) выполнена по двухступенчатой схеме с осевым ускорителем. Впервые в отечественной практике на зенитной управляемой ракете применены как стартовый, так и маршевый двигатели на твердом топливе.

Вторая ступень ракеты выполнена по аэродинамической схеме «Утка». Крылья и рули второй ступени, а также стабилизаторы ускорителя расположены «Х»-образно.

Стартовое оборудование

Стартовое оборудование огневого комплекса системы С-125 обеспечивает выполнение операций транспортировки ракет на огневую позицию, заряжания (или разряжения) пусковых установок, предстартовую подготовку и пуск ракеты по целям, сопровождаемым станцией наведения.

Электроснабжение стартового оборудования осуществляется автономно от подвижной электростанции или от промышленной сети.

В состав стартового оборудования входят:

- 4 пусковых установки;
- 8 транспортно-заряжающих машин;
- средства транспортировки пусковых установок.

2.3 Классификация модификаций ЗРК типа С-125

Зенитный ракетный комплекс С-125 «Нева» с ракетой 5В24, одноканальный по цели и двухканальный по ракете, принят на вооружение ЗРВ ПВО в 1961 году.

В 1970 году на вооружение ЗРВ ПВО был принят модернизированный комплекс С-125М «Нева-М» с пусковой установкой 5П73 и ракетой 5В27.

В 1971...1979 годах проведены дальнейшие исследования и испытания по совершенствованию характеристик ЗРК С-125 и С-125М. В 1978 году принят на вооружение модернизированный комплекс С-125М1 «Нева-М1» с новой модификацией ЗУР 5В27Д.

На базе модификаций ЗРК С-125М «Нева-М» и С-125М1 «Нева-М1» для поставки за рубеж были разработаны модификации ЗРК «Печора» и ЗРК «Печора-2» соответственно.

2.4 Анализ жизненных циклов и характера преемственности модификаций ЗРК типа С-125

2.4.1 Жизненные циклы и преемственность основной номенклатуры модификаций ЗРК типа С-125

После принятия на вооружение ЗРК С-125 с ракетой 5В24 полигоном совместно с ведущими конструкторскими организациями непрерывно проводились научно-исследовательские и испытательные работы, которые позволили значительно улучшить его основные тактико-технические характеристики.

В ходе испытаний комплекса С-125 выявилось недостаточное совершенство радиовзрывателя ракеты 5В24. Кроме того, зона поражения для двухступенчатой ЗУР массой почти в тонну уже представлялась явно недостаточной. Решение ВПК о проведении модернизации ЗУР и средств СНР-125 было принято в марте 1961 г.

В 1970 году на вооружение ЗРВ ПВО был принят модернизированный комплекс С-125М, обеспечивающий возможность сопровождения целей телевизионным оптическим каналом, более высокую производительность стрельбы за счет введения в его состав счетверенных пусковых установок 5П73 (вместо сдвоенных 5П71) и ракет 5В27 с уменьшенным временем подготовки к пуску (0,5 мин вместо 2 мин) при включении их на подготовку из холодного состояния. Счетверенная пусковая установка 5П73 обеспечила использование ракет 5В27 и 5В24.

В 1971...1979 годах проведены дальнейшие исследования и испытания по совершенствованию характеристик ЗРК С-125 и С-125М в условиях противодействия авиации вероятного противника по следующим основным направлениям:

уменьшение горизонтальной дальности до ближней границы зоны поражения с 6 км до 3,5 км и обеспечение стыковки с аппаратурой

тренировки расчетов КП зрдн (перечень доработок 1М для ЗРК С-125М и перечни 23, 26 для ЗРК С-125);

повышение точности наведения ракет на маневрирующие цели в условиях отсутствия помех в 2...2,5 раза (введение широкой полосы контура управления), повышение эффективности стрельбы вдогон (введена модернизированная ракета 5В27Д), обеспечение возможности ручного сопровождения маловысотных целей в режиме МВ (введение способа сопровождения РС-МВ), обеспечение обстрела целей, летящих ниже уровня стартовой позиции (до - 2°) в режиме МВ2 и обеспечение боевой работы комплекса в режиме «Больших дальностей» при включенной системе СДЦ (перечень 4МР для ЗРК С-125М и перечень 25 для ЗРК С-125);

улучшение условий ведения боевой работы расчетом зрдн за счет введения кондиционера КМ (перечень 7МР для ЗРК С-125М и перечень 24 для ЗРК С-125);

обеспечение защиты комплекса от активных помех за счет введения аппаратуры ГШН (перечень 2МР для ЗРК С-125М);

повышение живучести комплекса в условиях применения противником противорадиолокационных ракет за счет введения аппаратуры защиты комплекса от ПРР (изделие 5М99, перечень 3МР для ЗРК С-125М);

повышение надежности работы аппаратуры СНР, стыковка с новой системой электропитания ДЭС 5Е96-А и РКУ-Н (перечни 1Р, 6М для ЗРК С-125М);

повышение помехозащищенности канала радиоуправления и радиовизирования ЗУР за счет увеличения мощности УПК, сокращение времени приведения СНР к боевой работе до 2 мин, повышение живучести КП зрдн за счет его удаления от поста УНВ на 100 м, улучшение условий ведения боевой работы расчетом зрдн за счет перераспределения органов управления и сигнализации между рабочими местами лиц боевого расчета, сокращения

ручных операций и автоматизации выбора ряда режимов работы СНР (перечень 8МР для ЗРК С-125М);

обеспечение опознавания государственной принадлежности самолетов и кораблей за счет введения наземного радиозапросчика типа 75Е6 (перечень 9МР для ЗРК С-125М и перечень 9МА для ЗРК С-125).

В 1978 году принят на вооружение модернизированный комплекс С-125М1 с новой модификацией 5В27Д, основные характеристики которого аналогичны характеристикам ЗРК С-125М, доработанного по перечням 1М, 2МР, 3МР, 4МР, 6М, 7МР и 1Р. Этот комплекс может дорабатываться также по перечням 8МР и 9МР.

Основные характеристики комплексов С-125, С-125М и С-125М1 приведены в Табл. 2.1.

Табл. 2.1

№пп	Наименование характеристик	ЗРК С-125 с перечнями 23, 24, 25, 26, 29, 9МА с дополнением	ЗРК С-125М с перечнями 1М, 2МР, 3МР, 4МР, 6М, 7МР, 1Р, ЗРК С-125М1 с перечнем 9МР
1.	Высота нижней границы зоны поражения, м,	20	20
2.	Максимальный курсовой угол полета цели в зоне поражения на высотах более 500 м (менее 500 м), град.	160 Режим "Догон" (75)	160 Режим "Догон" (25)
3.	Горизонтальная дальность до ближней границы зоны поражения, км,	3,5	3,5
4.	Верхняя граница зоны поражения, км, РЛК, без помех, $V_{ц} \leq 300$ м/с; РЛК, активные помехи, $V_{ц} \leq 420$ м/с РЛК, пассивные помехи, СДЦ-2, $V_{ц} \leq 560$ м/с; ТВК	18 8 8 11	18 10 (ГШН) 8 11
5.	Максимальная горизонтальная дальность до дальней границы зоны поражения, км. РЛК без помех, ТВК; РЛК, активные помехи; РЛК, пассивные помехи, СДЦ-2.	17 13,2 13,2	17 17 (ГШН) 13,2

6.	Максимальная скорость поражаемых целей, м/с РЛК, без помех навстречу (вдогон); РЛК, активные помехи или ТВК; РЛК, пассивные помехи.	700 (300) 420 560	700 (300) 420 560
7.	Возможность поражения маневрирующих целей	Имеется, $n_{ц} \leq 6$ ед. режим "ЩП", без помех	Имеется, $n_{ц} \leq 6$ ед. режим "ЩП", без помех
8.	Аппаратура защиты комплекса от помех при использовании РЛК	СДЦ, МАРУ, переключение частоты, схема усреднения, АРУ-1, память, логика	То же и аппаратура ГШН
9.	Защита от противорадиолокационных ракет	Тактические способы, перестройка параметров излучения СНР	То же и аппаратура 5М99П
10.	Опознавание государственной принадлежности целей и блокировка цепей пуска ЗУР по своим самолетам	С помощью НРЗ СРЦ и НРЗ 75Е6	То же
11.	Возможность поражения целей, летящих под отрицательными углами визирования, а также наземных и надводных целей.	Режим "МВ-2" ($\square_{мин} = -2\square$) Режим "Земля"	То же
12.	Количество и тип пусковых установок	4-5П71 (сдвоенные)	4 – 5П73 (счетверенные)
13.	Время подготовки к пуску, с	30	30
14.	Возможность сопряжения с СРЦ	Имеется (РЛС П15, П12, или П19, П18)	То же

2.4.2 Жизненные циклы и преемственность ракет, входящих в состав ЗРК типа С-125

В ЗРК С-125 используются ракеты 5В24 и 5В27 различных модификаций.

Ракета 5В24 (базовая для всех модификаций) стала первой советской твердотопливной ЗУР. Ее внешний вид приведен на рис. 2.1.



Рис. 2.1 ЗУР 5В24 комплекса С-125 на ПУ

Постановлением 1961 г., наряду с принятием на вооружение ракеты 5В24, была официально задана разработка ее усовершенствованного образца, обозначенного 5В27. Основными направлениями работы по ЗУР стали разработка нового радиовзрывателя и маршевого двигателя на принципиально новом высокоимпульсном смесевом топливе повышенной плотности, что должно было поднять ее энергетические показатели, обеспечив расширение зоны поражения комплекса при сохранении габаритов ЗУР. Постановлением СМ СССР № 479-199 от 29 мая 1964 г. ракета 5В27 была принята на вооружение.

Основными отличиями новой ЗУР от ранее созданной 5В24 стал новый маршевый двигатель с вкладным зарядом из смесового топлива массой 151 кг, взрыватель, предохранительно-исполнительный механизм и боевая часть массой 72кг. Внешне ракеты 5В27 легко опознавались по 2 аэродинамическим поверхностям, установленным на переходном соединительном отсеке за верхней правой и нижней левой консолями,

обеспечивавшим уменьшение дальности полета ускорителя после его отделения. После разделения ступеней эти поверхности разворачивались, что приводило к интенсивному вращению и торможению ускорителя с отрывом всех или нескольких консолей стабилизатора и его беспорядочному падению

Были созданы следующие модификации ракеты:

- 5В27Г - герметичная;
- 5В27ГП - герметичная, с приближенной до 2,7 км ближней границей зоны поражения;
- 5В27ГПС - герметичная, с приближенной ближней границей зоны поражения, с селектирующим блоком, уменьшавшим вероятность срабатывания радиовзрывателя по отражениям от местных предметов при стрельбе по низколетящим целям;
- 5В27ГПУ - ракета 5В27ГП с ускоренной предстартовой подготовкой, что достигалось за счет подачи повышенного напряжения на бортовую аппаратуру от наземного источника питания в режиме предстартового прогрева аппаратуры (соответствующую доработку прошла и аппаратура предстартовой подготовки в кабине УНК).
- ЗУР 5В27Д с увеличенной скоростью полета (обеспечивает обстрел целей «вдогон»).

2.5 Анализ принципов построения базовой модификации ЗРК типа С-125 (ЗРК С-125М1)

2.5.1 Общие принципы построения ЗРК

ЗРК типа С-125 (С-125М) включает в свой состав:

- наземную радиолокационную станцию наведения ракет СНР - 125 (СНР – 125);
- боекомплект зенитных управляемых ракет;
- стартового оборудования;
- систему электроснабжения.

Структурная схема ЗРК С-125 и взаимодействующие средства представлены Рис. 2.2.

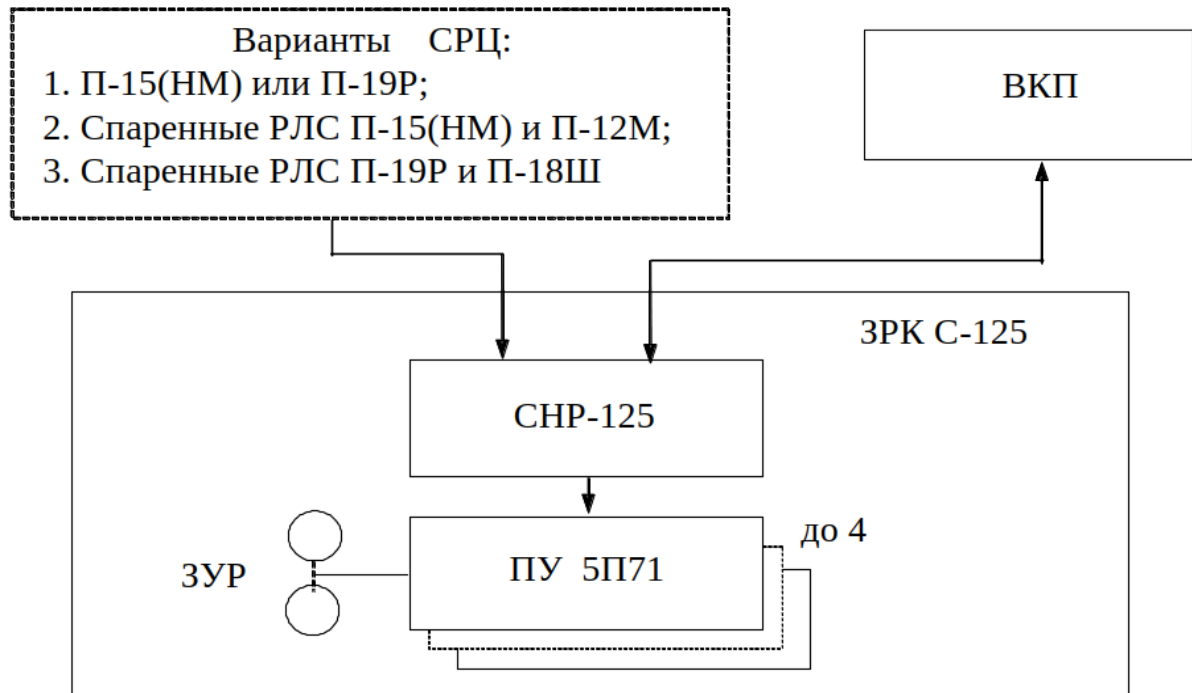


Рис. 2.2. Структурная схема ЗРК С-125

Структурная схема ЗРК С-125М(М1) и взаимодействующие средства представлены Рис. 2.3.

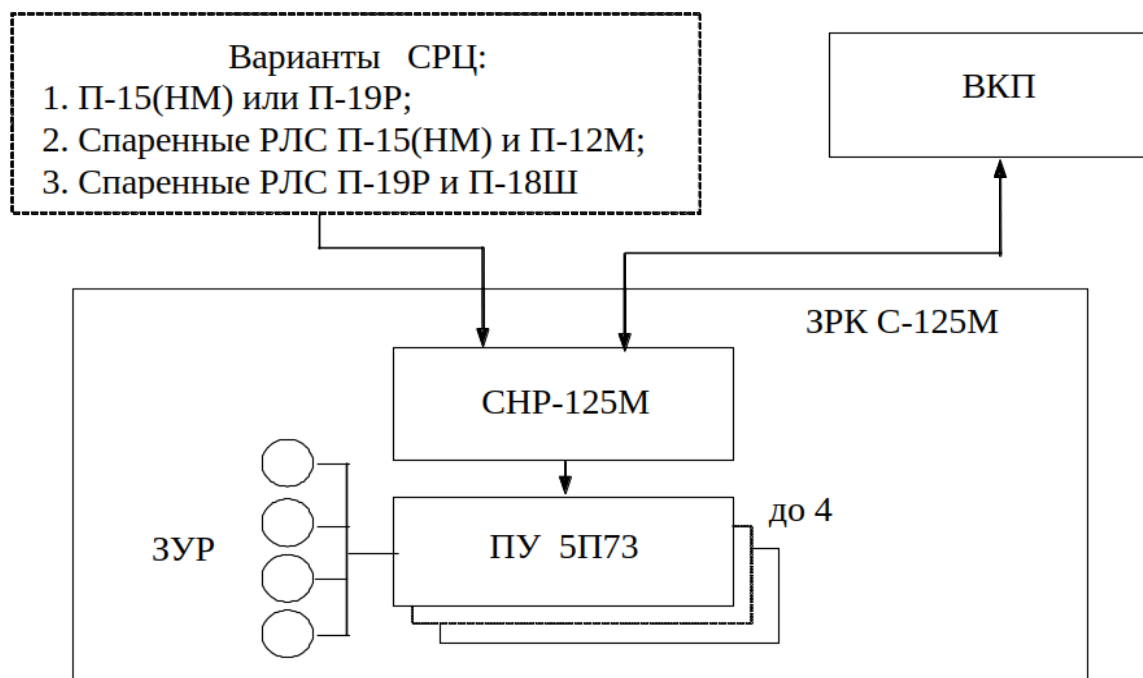


Рис. 2.3. Структурная схема ЗРК С-125М (М1)

ЗРК С-125(М, М1) могут вести стрельбу ракетами 5В24, 5В27 различных модификаций (см. раз. 2.4.2).

2.5.2 Принципы построения станции наведения ракет С-125

2.5.2.1 Назначение и состав станции наведения ракет С-125

Станция наведения ракет (СНР) С-125 выполняет следующие основные функции:

- ☐ по данным от внешних средств целеуказания обнаруживает цель;
- ☐ производит ручное или автоматическое сопровождение цели;
- ☐ производит пуск, захват и автоматическое сопровождение ракеты;
- ☐ выводит ракету на траекторию и наводит ее на цель;
- ☐ передает на ракету команду дистанционного взведения радиовзрывателя.

В СНР имеются следующие основные устройства:

- ☐ синхронизатор;
- ☐ передающее устройство (радиопередатчик визирования цели);
- ☐ антенно-фидерная система;
- ☐ приемное устройство;
- ☐ аппаратура селекции движущихся целей. Аппаратура селекции движущихся целей (СДЦ) предназначена для защиты станции от мешающего действия сигналов местных предметов и искусственных пассивных дипольных помех во всех режимах боевой работы станции, т. е. при обнаружении, ручном и автоматическом сопровождении целей. В аппаратуре СДЦ используется принцип когерентно-импульсной селекции;
- ☐ система индикации;
- ☐ выносной индикатор кругового обзора;

- ☐ система управления положением антенн и пусковых установок;
- ☐ устройство определения координат цели и ракет;
- ☐ устройство обеспечения режима малых высот;
- ☐ устройство выработки команд управления и прибор пуска;
- ☐ устройство передачи команд управления и радиопередатчик визирования ракет;
- ☐ аппаратура внутривизионной связи и сигнализации;
- ☐ аппаратура эксплуатационного контроля;
- ☐ аппаратура питания станции;
- ☐ пульта управления.

Вся аппаратура станции размещена на антенном посту УНВ (Рис. 2.4) и в кабине УНК (рис. 4, 5).

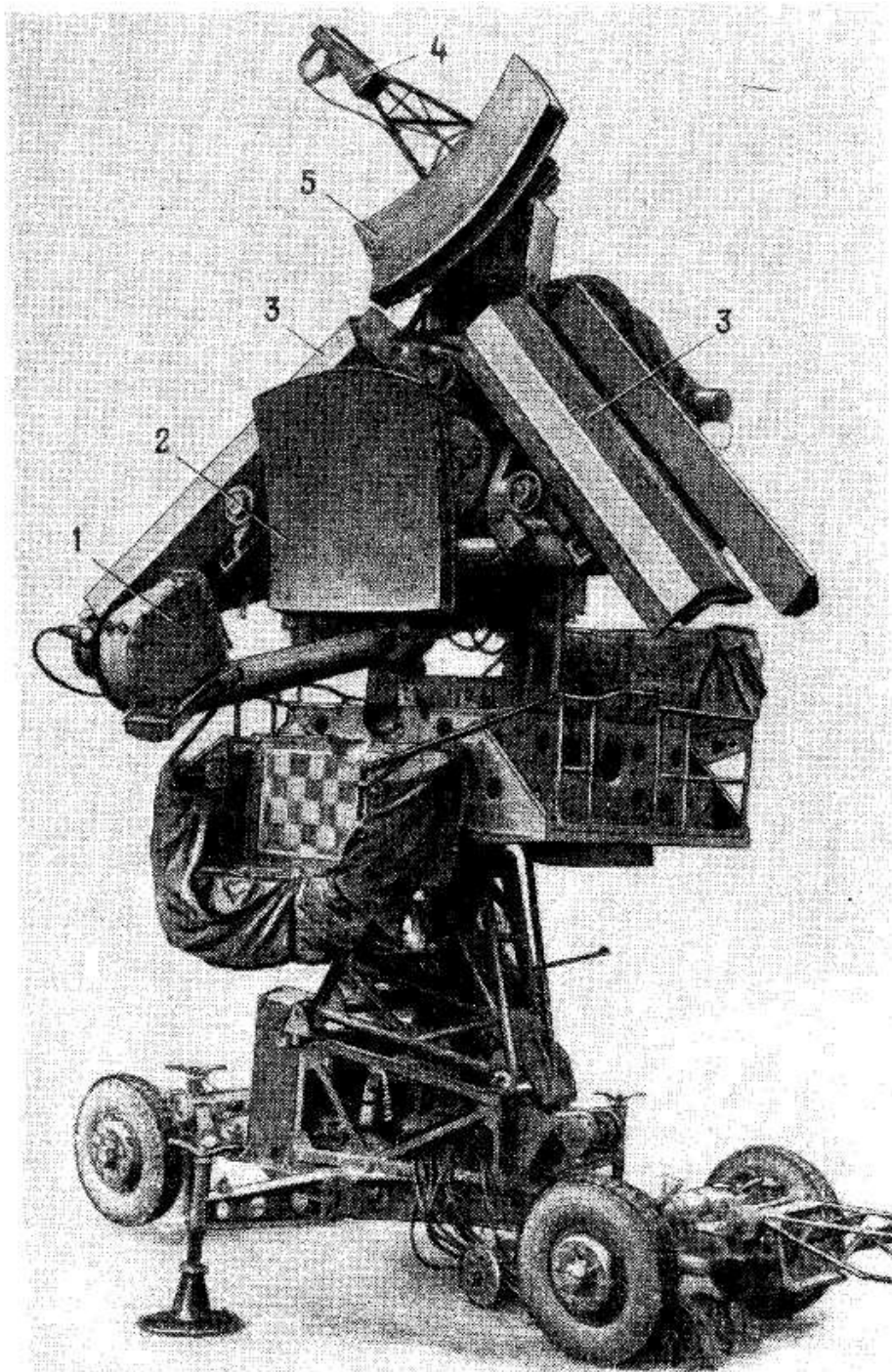


Рис. 2.4. а) Антенный пост УНВ. вид 1.

1- растровая головка антенны УВ10; 2 - антенна УВ10; 3 - антенна УВЧ; 4 - облучатель антенны УВ12; 5 — антенна УВ12

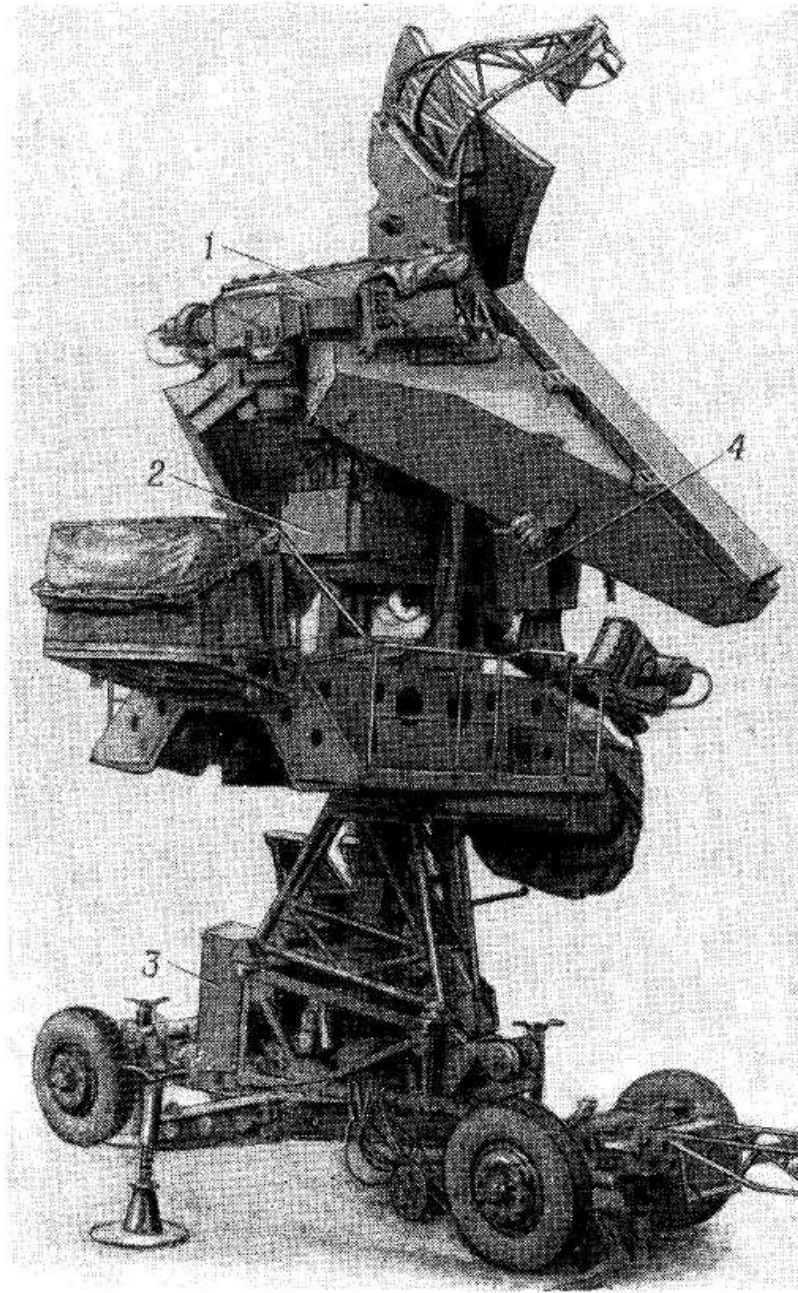


Рис. 2.4. б) Антенный пост УНВ. вид 2

1 — шкаф УВ40М; 2 — шкаф УВ20; 3 — блок УВ561; 4 — блок УВ100

На антенном посту размещены передающее устройство УВ20М, высокочастотная часть приемного устройства УВ40М, передающая антенна канала цели УВ10, приемная антенна каналов визирования цели и ракеты УВ11, антенна радиоуправления УВ12 и элементы силового привода угла места и азимута.

Кабина УНК содержит синхронизатор, главные усилители сигналов цели и ракеты, аппаратуру СДЦ, систему индикации, блоки ручного сопровождения цели и управления ракетами, устройство автоматического определения координат цели и ракет, устройство выработки команд управления, радиопередатчик команд управления и прибор пуска, радиопередатчик визирования ракет (запроса ответчиков).

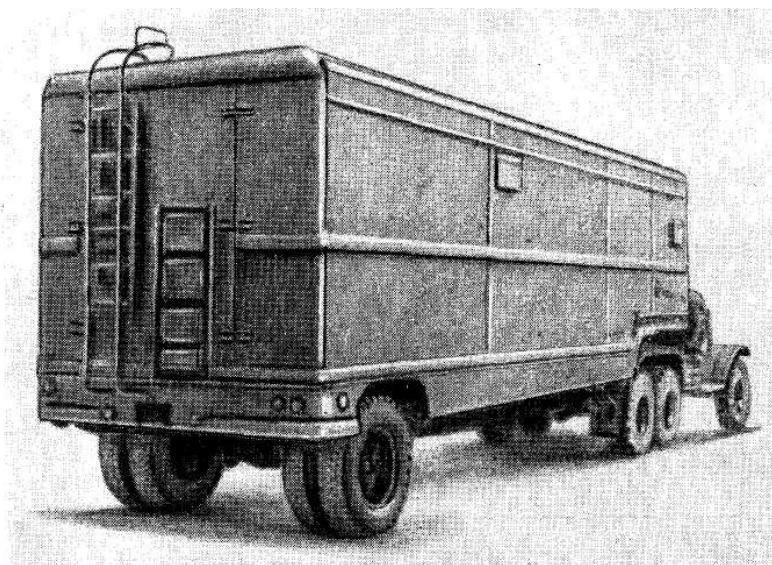


Рис. 2.5. Кабина УНК

Расположение основного оборудования в кабине УНК схематически показано на рис. 5.

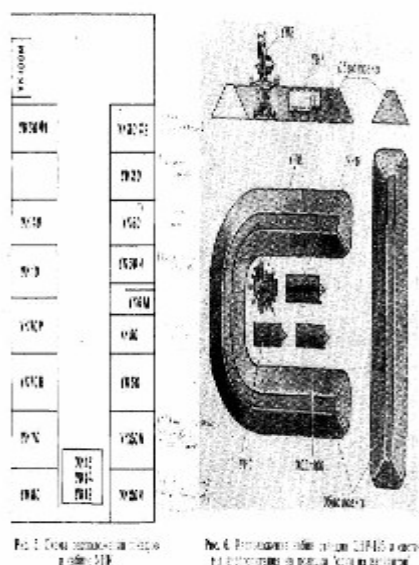


Рис. 2.6. Схема расположения шкафов в кабине УНК

Аппаратура преобразования и распределения питания установлена в кабине УНС, входящей в состав дивизиона.

Антенный пост УНВ установлен на артиллерийском лафете КЗУ-16. Для приведения в походное положение и транспортировки антенный пост УНВ расчленяется на антенную головку УВ500 и лафет с фермой и азимутальной колонкой при помощи специального механизма, установленного на антенном посту. Головка УВ500 перевозится прицепом УВ600.

Для транспортировки станции используются тягачи и автомобили соответствующей тяги и проходимости.

2.5.2.2 Функциональная схема станции

Состав и функциональная схема станции (Рис. 2.7) рассчитаны для работы только по одной цели с возможностью наведения на нее одной или двух ракет одновременно.

В станции в режиме сопровождения принят метод обзора пространства с помощью двух плоских лучей, сканирующих в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, расположенных под углом 45° к поверхности Земли.



Рис. 2.7. Функциональная схема СНР

Оба луча (диаграммы направленности) формируются двумя приемными антеннами визирования цели и ракеты, механически жестко связанными и съюстированными так, что линия пересечения их плоскостей сканирования совпадает с биссектрисой углов обзора каждой антенны. Обе антенны имеют общий облучатель, который обеспечивает поочередное сканирование двух лучей приемных антенн с частотой около 16 Гц.

Пространство облучается передающей антенной. В связи с тем, что прием отраженных от цели сигналов и сигнала ответчика производится по каждой плоскости поочередно, приемный тракт станции является общим для сигналов, принятых антенной, сканирующей как в плоскости $\Phi 1$, так и в плоскости $\Phi 2$.

Разделение сигналов по плоскостям сканирования, необходимое для выработки команд управления, производится в координатно-вычислительном устройстве.

Возможность наведения на одну цель одновременно двух ракет обеспечивается наличием двух комплектов следующей аппаратуры: приемников сигналов ответчиков ракеты, блоков определения координат ракеты, блоков устройства выработки команд управления ракетой, а также возможностью радиопередатчика команд (РПК) передавать одновременно две независимые группы команд на каждую ракету (по две команды управления полетом ракеты и по одной команде дистанционного взведения радиовзрывателя в каждой группе).

Оба комплекта аппаратуры приемников сигналов ракеты, координатных блоков (УОК.) и блоков управления (УВК) одинаковы

Ответчики, установленные на ракетах, имеют одинаковые рабочие частоты. Поэтому сигналы ответчиков от различных ракет, наводимых данной станцией, селектируются только по дальности. Для этого старт второй ракеты производится примерно через 4,7— 5 с после начала радиоуправления первой ракетой.

2.5.2.3 Синхронизатор

Синхронизатор станции (устройство опорных напряжений) предназначен для выработки опорных напряжений по дальности и по углам, необходимых для синхронизации работы всех основных элементов станции.

Опорное напряжение дальности представляет собой непрерывный ряд импульсов, частота повторения которых определяет частоту посылок станции. Опорные угловые напряжения — это напряжения, частоты которых равны частоте сканирования антенн, а временное расположение жестко связано с положением диаграмм направленности антенн в пространстве.

Синхронизатор станции делится на два функционально законченных узла: синхронизатор дальности (блоки УК77 и УК78) и синхронизатор угловых систем (блок УК79).

Основными узлами синхронизатора дальности являются две следящие системы для периодов T_1 и T_2 , задающий генератор, делитель частоты и

формирующие каскады, вырабатывающие импульсные напряжения с необходимыми параметрами. В качестве задающего генератора используется генератор LC.

Особенностью построения синхронизатора дальности является то, что период следования импульсов дальности определяется не самим устройством опорных напряжений, а величиной задержки ультразвуковых линий аппаратуры селекции движущихся целей. Иными словами, период следования импульсов дальности подстраивается под величину ультразвуковой линии задержки. Синхронизатор дальности вырабатывает импульсы стабилизации с переменной частотой повторения, которые поступают на блок линий задержки СДЦ. Импульсы стабилизации, пройдя линии задержки короткого и длинного периодов повторения (переменной частоты повторения), поступают на вход двух следящих систем. На следящую систему периодов T_2 и T_1 поступают соответственно импульсы, прошедшие длинное и короткое плечи линии задержки. Кроме того, на следящие системы поступают стробы стабилизации, вырабатываемые устройством определения координат дальности из импульсов стабилизации, прошедших прямой канал устройства СДЦ.

Синхронизатор угловых систем (блок УК.79) служит для формирования угловых опорных напряжений.

Блок содержит схемы формирования опорных напряжений плоскостей Φ_1 и Φ_2 и схему формирования импульсов местной синхронизации.

Для запуска схем формирования угловых опорных напряжений используются импульсы, вырабатываемые антенными индукционными датчиками. Использование импульсов антенных датчиков обеспечивает жесткую связь формируемых опорных напряжений с определенным угловым положением соответствующих антенн в секторе сканирования. Это устраняет необходимость периодического контроля и регулировки положения этих напряжений относительно истинного положения антенн, обязательного при

каком-либо косвенном методе формирования, что облегчает эксплуатацию аппаратуры и повышает точность ее работы.

Синхронизатор системы углов содержит:

- ☐ генераторы пилообразных напряжений плоскостей $\Phi 1$ и $\Phi 2$;
- ☐ генератор ключевых напряжений $\Phi 1$ и $\Phi 2$;
- ☐ генератор импульсов начала отсчета Φ_0 ;
- ☐ генераторы бланков $\Phi 1$ и $\Phi 2$;
- ☐ генератор импульсов директрисы;
- ☐ генератор бланков e (25 Гц).

Запускающими напряжениями перечисленных выше генераторов, кроме генератора бланков e и генератора импульсов директрисы, являются прямоугольные напряжения вспомогательного генератора либо импульсы, полученные путем дифференцирования этого напряжения.

2.5.2.4 Передающее устройство

Передающее устройство канала визирования цели

Передающее устройство канала визирования цели (шкаф УВ20М) предназначено для генерирования кратковременных высокочастотных импульсов большой мощности.

Передающее устройство является одноканальным и нагружена на передающую антенну УВ10.

В состав передающего устройства канала визирования цели (УВ20М) входят:

- ☐ модулятор (блок УВ21М);
- ☐ высокочастотный блок (блок УВ23М1);
- ☐ магнетрон;
- ☐ эквивалент антенны (блок УВ26);
- ☐ блок автоматической подстройки частоты магнетрона - АПЧМ (блок УВ24М);
- ☐ блок перестройки частоты магнетрона (блок УВ25М1);

- ☐ низковольтные выпрямители (блок УВ121М1);
- ☐ высоковольтный выпрямитель (блок УВ122М1);
- ☐ наружные вентиляторы (блок УВ27).

Упрощенная функциональная схема передающего устройства показана на Рис. 2.8.

Рис. 2.8. Упрощенная функциональная схема передающего устройства
Передающее устройство визирования ракет

Передающее устройство визирования ракет (шкаф УК20И) служит для выработки импульсов визирования и передачи их по радиолинии на борт ракеты.

В состав шкафа УК20И входят:

- ☐ импульсный модулятор (блок УК28);
- ☐ передатчик визирования (блок УК26);
- ☐ система автоматической подстройки частоты (блок УК24);
- ☐ низковольтный выпрямитель (блок УК122);
- ☐ высоковольтный выпрямитель (блок УК124).

Работа шкафа УК20И контролируется при помощи контрольного осциллографа (блок УК22) и волномера, расположенного в блоке автоматической подстройки частоты (АПЧ).

Кроме блоков, размещенных в шкафу УК20И, в состав передающего устройства визирования входят эквивалент антенны (блок УК14) и устройство сложения (блок УК12).

Блок УК 12, входящий как в передающее устройство визирования ракет, так и в передающее устройство команд управления, обеспечивает возможность одновременной работы этих устройств на общую антенну.

В передающем устройстве визирования ракет применена система автоматической подстройки частоты, аналогичная системе АПЧ радиопередатчика команд.

Высокочастотные импульсы с выхода передатчика визирования (блок УК26) поступают на антенный переключатель, коммутирующий выход передатчика на два вида нагрузок: устройство сложения (блок УК12) и эквивалент антенны (блок УК14). Между выходом передатчика визирования и высокочастотным переключателем включена коаксиальная вставка, на которой расположены диодные головки индикатора мощности и индикатора огибающей высокочастотных импульсов, а также два емкостных зонда связи, при помощи которых часть высокочастотной энергии ответвляется из высокочастотного тракта и подается на смеситель панели АПЧ и волномер.

Упрощенная функциональная схема передающего устройства визирования ракет показана на Рис. 2.9.

Рис. 2.9. Упрощенная функциональная схема передающего устройства визирования ракет

Для питания блоков в шкафу УК20И имеется блок питания (УК122).

Блок УК122 состоит из трех отдельных выпрямителей:

- ☐ стабилизированного выпрямителя +250 В,
- ☐ стабилизированного выпрямителя -250 В,
- ☐ стабилизированного выпрямителя +150 В.

Для питания модулятора (блок УК28) напряжением +850 В и плавно регулируемым напряжением 2—4 кВ в шкафу УК20И имеется блок УК124.

2.5.2.5 Антенно-фидерная система

Антенно-фидерная система станции СНР-125 состоит из трех отдельных антенных устройств:

- ☐ приемно-передающей антенны (УВ10), предназначенной для излучения высокочастотной энергии передатчика и приема отраженных от цели сигналов в режиме поиска и сопровождения;

- ☐ приемной антенны (УВ11), предназначенной для приема отраженных от цели сигналов и сигналов бортового ответчика и канализации их к приемнику станции в режиме сопровождения;
- ☐ антенны (УВ12) для передачи команд и сигналов запроса ответчика (канал визирования ракет).

Приемно-передающая антенна и антенна передачи команд крепятся к приемной антенне. Все вместе они составляют антенную головку и устанавливаются на основании антенного поста. Приемно-передающая антенна формирует диаграмму направленности игольчатой формы шириной около $1,5^\circ$ в обеих плоскостях. Уровень боковых лепестков не превышает 20 дБ в секторе $\pm 3^\circ$ и 17 дБ в секторе $\pm 5^\circ$. КСВ не более 1,6. Коэффициент усиления 10 000. Поляризация вектора электрического поля вертикальная.

Приемно-передающая антенна состоит из следующих узлов:

- ☐ рефлектора;
- ☐ кронштейна;
- ☐ растровой головки;
- ☐ волноводного тракта.

Приемное антенное устройство состоит из двух идентичных антенн, диаграммы направленности которых сканируют в плоскостях $\Phi 1$ и $\Phi 2$. Обе антенны объединены в одно устройство — антенну УВ11.

2.5.2.6 Высокочастотная часть приемного устройства

Высокочастотная часть приемного устройства станции СНР-125 предназначена для приема сигналов целей и ответчиков ракет, их частотной селекции, усиления и преобразования радиочастотных импульсов, бланкирования и регулировки усиления.

Высокочастотная часть приемного устройства конструктивно оформлена в виде шкафа УВ40М, входящего в антенный пост УНВ. Шкаф УВ40М имеет в своем составе следующие системы и блоки:

1. Приемный канал визирования цели, в который входят:

- ☐ усилитель высокой частоты (блок УВ42ФМ);
 - ☐ входное устройство (блок УВ43Ф);
 - ☐ предварительный усилитель промежуточной частоты (блок УВ51-1).
2. Антифединговый приемный канал цели, в который входят:
- ☐ входное устройство (блок УВ43М);
 - ☐ предварительный усилитель промежуточной частоты (блок УВ51-П).
3. Схема стабилизации частоты гетеродина цели с устройством быстрой автоматической подстройки частоты клистронов (БАПК), в которую входят:
- ☐ волноводный блок БАПК (блок УВ47),
 - ☐ электронный блок БАПК (блок УВ48М).
4. Приемный канал визирования ракеты, в который входят:
- ☐ усилитель высокой частоты (блок УВ42ФМ);
 - ☐ входное устройство (блок УВ43Ф);
 - ☐ усилитель высокой частоты (блок УВ42Р);
 - ☐ входное устройство (блок УВ43РМ);
 - ☐ предварительный усилитель видеосигналов (блок УВ52М).
5. Схема управления и функционального контроля, в которую входят:
- ☐ волноводный блок контроля (блок УВ342);
 - ☐ электронный блок контроля (блок УВ341).
6. Схемы бланкирования и ВРУ (блок УВ341).
7. Блоки питания УВ141 и УВ142М.

Высокочастотная часть приемного устройства имеет два приемных тракта: главный приемный тракт (канал визирования цели и канал визирования ракет), работающий с приемно-передающей (УВ10) и приемной

(УВ11) антеннами, и антифединговый канал, работающий только с антенной УВ10.

Сигналы от приемно-передающей антенны УВ10 передаются к высокочастотному устройству через ферритовый разделитель (блок УВ23М1), расположенный в передающем устройстве.

Блок УВ23М1 предназначен для передачи высокочастотной энергии передатчика в передающую антенну с одновременной защитой приемного устройства от мощных импульсов передатчика, для передачи в приемное устройство принятых сигналов, развязки между передающим устройством и антенно-фидерным трактом, а также для переключения высокочастотной энергии с передающей антенны на эквивалент.

В качестве блоков питания для высокочастотной части приемного устройства используются блоки УВ141 и УВ142М.

2.5.2.7 Система индикации

В состав системы индикации станции СНР-125 входят три типа индикаторных блоков:

- ☐ индикатор кругового обзора и зоны пуска — блок УК31М;
- ☐ индикатор наведения и ручного сопровождения по дальности — блок УК32;
- ☐ индикаторы ручного сопровождения по угловым координатам $\Phi 1$ и $\Phi 2$ — два блока УК33.

В кабине УНК расположен также выносной индикатор кругового обзора (ВИКО), работающий от станции обнаружения целей.

Блок УК31М, входящий в состав шкафа УК60, предназначен для наблюдения в режимах обнаружения и наведения отметок видеосигнала цели, в режиме сопровождения — отметок дальней и ближней границ зоны поражения по дальности, отметки траектории движения цели и отметки дальности до точки встречи ракеты с целью. Блок служит:

- ☐ для обнаружения целей и наведения антенного устройства на выбранную цель по азимуту;
- ☐ для установления возможности и определения момента пуска на основании данных прибора пуска.

Блок УК32, входящий в шкаф УКЗО, предназначен для наблюдения целей в режимах обнаружения, наведения и сопровождения и служит для выполнения следующих функций:

- ☐ наведения передающей антенны станции на выбранную цель по углу места;
- ☐ наведения следящих систем координатных блоков на выбранную цель по углу места и дальности;
- ☐ визуального контроля качества компенсации пассивных помех и сигналов от местных предметов;
- ☐ ручного сопровождения целей по дальности;
- ☐ контроля автоматического сопровождения целей по всем трем координатам;
- ☐ наблюдения за полетом ракеты и определения результатов ее пуска;
- ☐ контроля положения ждущих стробов по дальности.

Блоки УК33, входящие в состав шкафов УК30Ф1 и УК30Ф2, используются в режиме ручного сопровождения цели. Этот режим применяется в станции при сложной обстановке (наличие помех, групповых целей, слабо разрешаемых станцией и т. п.), когда сопровождение целей оператором вручную может оказаться надежней автоматического сопровождения. Наблюдая на экранах индикаторов УК33 отметки целей и совмещая с помощью штурвалов блоков управления эти отметки с вертикальными метками, оператор обеспечивает поступление на систему управления положением антенн напряжений, характеризующих угловые координаты цели в относительной системе координат.

Индикатор кругового обзора и зоны пуска (блок УК31М)

Индикатор кругового обзора и зоны пуска выполняет две самостоятельные функции:

- ☐ осуществляет индикацию отметки цели в режимах обнаружения и наведения;
- ☐ по данным прибора пуска в режиме сопровождения цели осуществляет индикацию отметок границ зоны поражения по дальности, траектории движения цели и отметки дальности до точки встречи ракеты с целью.

Индикатор наведения (блок УК32)

Блок УК32 содержит две электроннолучевые трубки с магнитным отклонением лучей — трубки И1 и И2, работающие как индикаторы телевизионного типа с развертками по дальности (вертикальная) и по углу (горизонтальная).

Индикаторы ручного сопровождения (блоки УК33)

В станции одновременно работают два одинаковых блока УК33 представляющие собой индикаторы телевизионного типа с развертками дальность (по вертикали) — угол (по горизонтали). Один из них служит для сопровождения целей по углу $\Phi 1$, другой — по углу $\Phi 2$.

Размеры растров этих индикаторов: по дальности (вертикали) — 80 мм и по углу (горизонтали) — 25 мм. В индикаторах применена трубка с электростатическим отклонением луча.

Выносной индикатор кругового обзора (ВИКО)

Выносной индикатор кругового обзора (ВИКО) предназначен для визуального наблюдения за целями, находящимися в зоне действия станции обнаружения целей, для определения наклонной дальности и азимута обнаруженных целей и для отличия своих самолетов от самолетов противника по сигналам опознавания. Выносной индикатор работает в комплексе со станцией обнаружения целей.

В состав ВИКО входят:

блок первичного повторителя УК34;

индикатор кругового обзора УК35;

блок усилителя следящей системы УК36;

блок питания УК133.

Аппаратура ВИКО размещена в шкафу УК3ОИ кабины УНК.

На блок УК35 от станции П-15 подаются импульсы запуска, импульсы отметок дистанции и азимута, сигналы опознавания и сигналы цели.

2.5.2.8 Система управления положением антенн

Система управления положением антенн предназначена для установки антенн в заданные угловые положения в режимах поиска и совмещения линии визирования антенн с направлением на цель в режимах наведения, ручного и автоматического сопровождения.

В боевой работе станции предусмотрены следующие основные режимы работы системы управления положением антенн:

- ☐ режим поиска цели;
- ☐ режим наведения (Н);
- ☐ режим ручного сопровождения (РС);
- ☐ режим автоматического сопровождения (АС);
- ☐ режим наведения в косых плоскостях (К);
- ☐ режим малых высот (МВ).

В режиме поиска (наведения) обзор пространства производится путем сканирования направленного луча передающей антенны УВ10, работающей на передачу и прием, в вертикальной плоскости (сканирование по ϵ) и путем поворота антенны по азимуту и углу места. Антенны поворачиваются силовыми приводами.

Передача (установка) угла осуществляется при помощи одношкальной сельсинной связи. Управление приводами производится из кабины УНК штурвалами ☐ и ☐ блока оператора наведения УК62.

Управление азимутальным приводом позволяет также автоматически осуществлять осмотр пространства в режимах кругового обзора (КО), большого секторного поиска (БСП) и малого секторного поиска (МСП). Работу системы управления в этих режимах обеспечивает механизм поиска. Режимы поиска переключаются рукояткой режимов поиска блока УК62. Качание антенн в режиме секторного поиска производится по закону синуса с амплитудой 10° и периодом 6,5 с (БСП) или с амплитудой $1,5^\circ$ и периодом 2,5 с (МСП).

В режиме кругового обзора (КО) система управления положением антенн обеспечивает вращение антенн по азимуту со скоростью 18 град/с.

В режиме наведения (Н) система управления положением антенн обеспечивает возможность грубого совмещения линии визирования антенн с направлением на цель с точностью, позволяющей перейти в режим сопровождения (ручного или автоматического).

В режиме ручного сопровождения (РС) управление приводами осуществляется от блоков ручного сопровождения УК68 и УК68М. При сопровождении рассогласование между направлением на цель и линией визирования определяется путем сканирования направленного луча двух приемных антенн УВ11 в так называемых косых плоскостях $\Phi 1$ и $\Phi 2$. Операторы ручного сопровождения оценивают это рассогласование по индикаторам в координатах « $\Phi 1$ —дальность» и « $\Phi 2$ — дальность» и поворотом штурвала выбирают его.

Для удобства работы операторов в системе управления предусмотрено управление от каждого из блоков РС одновременно двумя силовыми приводами с таким расчетом, что суммарный поворот линии визирования антенн происходит в соответствующей косой плоскости. Такую возможность управления обеспечивает наличие преобразователя координат.

Управление приводами в режиме ручного сопровождения полуавтоматическое и осуществляется по скорости с поправкой по положению.

В режиме автоматического сопровождения (АС) устройства управления положением антенн обеспечивают автоматическое слежение линии визирования антенн за положением цели. В этом режиме приводы управляются сигналами, вырабатываемыми угловыми координатными блоками. Величины этих сигналов пропорциональны рассогласованию между линией визирования и направлением на цель в косых плоскостях $\Phi 1$ и $\Phi 2$. Так как отработка этого рассогласования производится поворотом антенн приводами в плоскостях ρ и ϵ , сигналы с координатных систем поступают на входы приводов через преобразователь координат.

В режиме малых высот (МВ) антенная система по углу места устанавливается на постоянный угол, определяемый выставкой сельсина МВ блока УК.92. Подслеживание антенной по углу места за целью, летящей под углом визирования $+1^\circ$, производится штурвалом РС $\Phi 1$. Привод азимута находится в режиме АС.

В состав аппаратуры системы управления положением антенн входят следующие блоки кабины УН К:

- ☐ блок оператора наведения (блок УК62);
- ☐ блоки операторов РС (блоки УК68 и УК68М);
- ☐ блок преобразования и усиления напряжений (блок УК69М);
- ☐ блок усилителей силовых приводов (блок УК64М).

Кроме того, в блоке УК92 находится схема коммутации и сельсин малых высот, а на посту УНВ расположены блоки УВ103М, УВ210Б, УВ210Е, УВ250 $\Phi 1$ и $\Phi 2$ и два электромашинных усилителя, входящих в систему управления положением антенн.

Назначение их состоит в усилении мощности управляющего сигнала, поступающего с блока УК64М, вращении антенн по азимуту и углу места и выработке напряжений обратной связи.

2.5.2.9 Система управления положением пусковых установок

При слежении за целью угловые координаты пусковых установок содержат следующие составляющие, вырабатываемые аппаратурой станции СНР-125: текущую координату антенн визирования, поправки на упреждение, параллакс и провисание. Передача угла из кабины УНК на каждую из пусковых установок производится с помощью двухшкальной сельсинной связи по каждой из угловых координат (α и β).

Полный комплект системы управления пусковыми установками, в состав которого входят устройства выработки текущих координат азимута и угла места антенн визирования, устройства выработки углов упреждения $\alpha_{упр}$ и $\beta_{упр}$ и устройства выработки углов параллакса пусковых установок, отрабатывает координаты пусковых установок в виде углов поворота дающих сельсинов пусковых установок.

В состав аппаратуры системы управления положением пусковых установок входят:

- ☐ блок усилителей приводов текущих координат антенн визирования и приводов упреждения (блок УК66);
- ☐ блок усилителей привода параллакса (блок УК65);
- ☐ блок командира, в котором расположены электромеханические элементы всех приборных приводов (блок УК61М);
- ☐ блок обратного контроля положения пусковых установок (блок УК61А).

Блоки УК66, УК65, УК61М размещены в шкафу УК60. Блок УК61 расположен в кабине (по правому борту) у шкафа вентиляторов.

Так как координаты пусковых установок должны вырабатываться аппаратурой станции в виде углов поворота роторов дающих сельсинов, в

станции для выработки этих углов применены электромеханические следящие системы.

Устройства выработки текущих координат представляют собой приборные синхронно-следящие приводы, отрабатывающие углы поворота антенн визирования. Измерение угла производится с помощью сельсинной связи. Для повышения точности измерения угла в приводах текущих координат применена двухшкальная связь с передаточным отношением между грубым и точным сельсинами 1:15.

Входные данные для управления приводами текущих координат формируются в соответствии с углами поворота дающих сельсинов, кинематически связанных с антеннами.

Сигнал рассогласования сельсинов после предварительного усиления усилительным каскадом блока УК66 поступает на исполнительный элемент (двигатель типа АДП-123), который разворачивает роторы кинематически связанных с ним сельсинов-приемников в сторону уменьшения угла рассогласования. Одновременно двигатель поворачивает сельсины-датчики пусковых установок.

Оценка качества работы приводов текущих координат производится по напряжению рассогласования сельсинов точного отсчета.

2.5.2.10 Устройство определения координат

Устройство определения координат (УОК) предназначено для выработки данных о наклонной дальности и угловых координатах выбранной для поражения цели и двух наводимых на эту цель ракет.

В состав устройства определения координат цели входят следующие блоки:

- ☐ блок определения дальности цели (блок УК71М);
- ☐ блок определения углов цели (блок УК73);
- ☐ блок установки и контроля (блок УК75).

В состав устройства определения координат ракеты входят следующие блоки:

- ☐ блок определения дальности ракеты (блок УК72);
- ☐ блок определения углов ракеты (блок УК74).

В состав устройства обеспечения режима малых высот (УМВ) входят следующие блоки:

- ☐ блок формирования угловых селектирующих импульсов цели и сторожевых сигналов ошибки (блок УК91);
- ☐ блок формирования угловых бланков ракеты и задержек импульсов директрис (блок УК92).

Данные о координатах цели и двух ракет вырабатываются в виде импульсов, временное положение которых относительно опорных импульсных напряжений станции определяет положение цели и ракеты в относительной системе координат станции.

Источником информации о положении цели и ракеты в пространстве являются отраженные сигналы цели и сигналы ответчика ракеты, поступающие в координатное устройство с выхода приемного устройства станции. Характер сигналов цели и ракеты определяется методом обзора пространства, принятым в станции.

2.5.2.11 Устройство выработки команд управления

Устройство выработки команд, входящее в состав кабины УНК, предназначено для формирования команд управления К1, К2 полетом ракеты при наведении ее на цель, разовой команды дистанционного взведения радиовзрывателя К3 и команды К4.

Команды К1, К2, К3 и К4 передаются на ракету радиопередатчиком команд (УПК). Принятые аппаратурой ракеты команды управления К1, К2 и К4 через автопилот воздействуют на рули ракеты, а команда дистанционного взведения радиовзрывателя К3 обеспечивает приведение радиовзрывателя ракеты в состояние боевой готовности.

Устройство выработки команд содержит два одинаковых комплекта блоков. Наличие двух комплектов блоков обеспечивает возможность наведения на одну воздушную цель до двух ракет одновременно.

В каждый комплект входят блоки:

- ☐ блок выработки сигналов ошибки (блок УК81);
- ☐ блок упреждения (блок УК82);
- ☐ блок формирования команд (блок УК83);
- ☐ блок компенсации скручивания координат (блок УК86);
- ☐ блок формирования напряжений $\Phi_{\pm 6}$ (блок УК89), общий для обоих устройств выработки команд.

Кроме указанных блоков, в комплект устройств выработки команд входит блок УК381М (блок контроля).

Два комплекта блоков УК.81, УК82 и УК83 вместе с блоком питания УК181 размещены в шкафу УК80. Блок УК86 размещен в шкафу УК70Ц, блок УК381М — в шкафу УК70, а блок УК89 — в шкафу УК90.

Команды управления формируются путем соответствующих операций над входными данными, отображающими угловые координаты и наклонные дальности цели и ракеты, а также угловые скорости движения цели.

В устройстве выработки команд предусмотрена возможность наведения ракеты на цель двумя методами: методом упреждения и методом накрытия цели (методом «трехточка»).

2.5.2.12 Устройство передачи команд

Устройство передачи команд и запроса ответчика выполняет следующие функции:

- ☐ передачу на борт ракеты команд, управляющих движением ракет;
- ☐ передачу на борт ракет разовых команд взведения радиовзрывателя;
- ☐ передачу на борт ракет сигнала запроса ответчика.

При этом команды управления и сигналы запроса ответчика передаются одновременно на две ракеты, летящие к одной цели. Разовая команда взведения радиовзрывателя передается на обе ракеты последовательно.

Команды управления поступают на вход устройства передачи команд в виде постоянных напряжений, медленно изменяющихся в пределах $\pm 85\text{В}$. По радиолинии передаются только команды, соответствующие входным напряжениям от -50 до $+50\text{В}$. Напряжения, лежащие за этими пределами, ограничиваются.

Сигналы запроса ответчика передаются в виде высокочастотных импульсов, синхронных с зондирующими импульсами передатчика канала цели. Взаимное расположение по времени высокочастотных импульсов запроса ответчика и зондирующих импульсов канала цели определяется величинами задержки в трактах генерирования импульсов запроса, ответных импульсов и зондирующих импульсов канала цели.

Устройство передачи команд размещено в двух шкафах — УК20Н (непрерывный передатчик команд управления) и УК20И (импульсный передатчик запроса ответчика).

В состав шкафа УК20Н входят следующие блоки:

- ☐ шифратор и модулятор (блок УК23);
- ☐ передатчик команд (блок УК25);
- ☐ блок автоматической подстройки частоты (блок УК27);
- ☐ контрольный дешифратор (блок УК21);
- ☐ высоковольтный выпрямитель (блок УК121).

Кроме того, в состав устройства передачи команд и запроса ответчика входят:

- ☐ эквивалент (2 шт.) — блок УК14;
- ☐ устройство сложения — блок УК12;
- ☐ эквивалент антенный — блок УК15.

2.5.2.13 Прибор пуска ракеты

Автоматизированный прибор пуска предназначен для определения возможности обстрела выбранной цели и автоматической выдачи команды «Пуск» ракеты. Команда «Пуск» ракеты выдается автоматически или вручную оператором в момент, когда точка встречи ракеты с целью находится в зоне поражения станции. Задача пуска ракеты решается на основе определения текущей дальности до точки встречи и границ зоны поражения. Текущая дальность до точки встречи, а также ближняя и дальняя границы зоны поражения высвечиваются на индикаторе кругового обзора (блок УК31М) в виде концентрических окружностей, радиусы которых пропорциональны проекциям соответствующих наклонных дальностей на горизонтальную плоскость. Кроме того, на экране индикатора высвечивается горизонтальная дальность цели в виде точки, оставляющей след при своем перемещении.

Таким образом, на экране можно наблюдать траекторию движения цели в виде отрезка линии, что позволяет определить курс цели.

Текущее значение параметра, скорости и высоты цели отмечается соответствующими стрелочными приборами, установленными в блоке УК62.

В состав прибора пуска ракеты входят пять блоков:

- ☐ блок определения дальности до точки встречи и высоты полета цели (блок УК84М);
- ☐ блок определения момента пуска (блок УК85М);
- ☐ блок определения курсовой скорости цели и параметра цели (блок УК87);
- ☐ блок определения текущей наклонной дальности до цели в режиме «Трехточка» (блок УК88);
- ☐ блок индикации кругового обзора и прибора пуска (блок УК31М).

Блоки УК84М и УК85М размещены в шкафу УК70, блок УК87— в шкафу УК30Ф1, блок УК88 —в шкафу УК30Ф2 и блок УК31М — в шкафу УК60.

В основу решения задачи встречи ракеты с целью в зоне поражения положена гипотеза о равномерном, прямолинейном полете цели на постоянной высоте с постоянной скоростью с приближением к станции. Принято допущение, что ракета движется в точку встречи равномерно, прямолинейно, со скоростью V_p , величина которой зависит от дальности до точки встречи.

Для определения момента пуска ракеты, обеспечивающего встречу ракеты с целью в зоне поражения, прибор решает полученную на основании гипотезы формулу дальности до точки встречи и ряд уравнений, учитывающих ограничение зоны поражения.

2.5.2.14 Система электропитания станции

Аппаратура преобразования и распределения, расположенная в кабине УНС, получает электроэнергию трехфазного напряжения 220В 50 Гц от штатных электростанций или от промышленной сети. Часть ее преобразуется в электроэнергию повышенной частоты 400 Гц.

Энергия первичных источников питания (220В 400 Гц, 220В 50 Гц) в кабине УНС дивизиона распределяется по потребителям.

Во время развертывания и свертывания станции, а также в перерывах между основной работой распределительная аппаратура получает энергию от вспомогательной электростанции и выдает ее потребителям для обеспечения регламентных работ и для питания собственных нужд (освещение, отопление, вентиляция и т. п.), а также для непрерывного подогрева бортовых батарей ракет.

В состав аппаратуры преобразования и распределения входят следующие элементы:

- преобразователь частоты ВПЛ-50 для преобразования трехфазного напряжения 220В 50 Гц в напряжение 220В 400 Гц;
- блок регулирования напряжения БРН. Блок работает совместно с генератором преобразователя ВПЛ-50 и служит для установки и поддержания напряжения генератора на заданном уровне с точностью $\pm 2\%$;
- аппаратура приема электроэнергии (шкаф 1), состоящая из автоматов АВ1, АВ2, АВ3 и АВ5 для подключения основных электростанций и сети, автомата АВ4 для подключения вспомогательной электростанции, контрольно-измерительной аппаратуры, аппаратуры управления дизель-электростанциями и сигнальных ламп;
- аппаратура подключения и запуска двигателя преобразователя ВПЛ-50 (блок магнитных пускателей) для включения в сеть и ступенчатого запуска преобразователя с целью уменьшения пусковых токов;
- аппаратура распределения электроэнергии (шкаф 2), состоящая из выключателей АВ7 — АВ12 для включения питания кабины, поста и ПУ по 50 Гц (из них АВ8 резервный), контакторов КА1 — КА3 для включения питания кабины и поста по 400 Гц (из них КА3 резервный), пусковых кнопок, промежуточных реле, сигнальных ламп и контрольно-измерительной аппаратуры.

При автономной работе станции в полевых условиях аппаратура преобразования и распределения получает питание от одной или двух основных дизель-электростанций ЭСД-100. Включение и отключение электростанций производится вручную автоматами АВ1 и АВ2.

При работе от двух электростанций ЭСД-100 секционный автомат АВ5 может находиться во включенном и отключенном положении. В последнем случае электростанции работают раздельно. Станция наведения,

преобразователь и антенный пост питаются от второй секции шин, а пусковые установки — от первой секции шин шкафа 1.

Включение блоков питания всей станции, а также подъем высокого напряжения может производиться дистанционно (из кабины УНК с пульта блока УК.61М) или с передней панели соответствующего выпрямителя.

Все выпрямители сухого исполнения с воздушным охлаждением.

2.5.2.15 Система связи

Связь между всеми элементами огневого комплекса зенитного ракетного дивизиона С-125, а также центрального поста связи (кабины УНК) с командным пунктом осуществляется по системе ГТС (громкоговорящая связь). Центральным постом связи является кабина УНК.

Усилители ГТС, питание к ним и реле, коммутирующие абонентов дивизиона, размещены в блоке УК63 кабины УНК.

В системе ГТС использована одноканальная связь с центральным усилителем. Работа системы ГТС возможна по одному каналу, второй канал является запасным (аварийным). В связи с этим в блоке УК63 размещены два усилителя с соответствующими выпрямителями, которые питаются от сети 220В 50 Гц.

2.5.2.16 Пульты управления

На пультах управления станции сосредоточены элементы, позволяющие:

- ☐ контролировать готовность аппаратуры станции к централизованному включению;
- ☐ централизованно включать и выключать станцию и передатчик;
- ☐ устанавливать режимы боевой работы и контроля станции;
- ☐ осуществлять централизованный функциональный контроль видеотракта, РПК, СДЦ и радиотракта;

- ☐ включать ракеты на подготовку и производить выбор пусковой установки;
- ☐ выбирать нужный метод наведения;

производить пуск ракет и возврат в исходное состояние координатных блоков ракеты и УВК.

В качестве пультов управления используются передние панели блоков УК161, УК61М, УК63 (шкаф УК60), УК62, УК47 (шкаф УК30).

2.5.2.17 Конструктивное оформление СНР-125

Антенный пост УНВ

Антенный пост УНВ состоит из двух устройств: основания поста УВ550 и головки блоков УВ500.

В основание поста УВ550 входят следующие сборки и блоки:

- ☐ рама, установленная на лафете КЗУ-16К;
- ☐ ферма УВ554;
- ☐ механизм подъема УВ556 для подъема и опускания головки блоков;
- ☐ азимутальное основание с размещенным на нем азимутальным редуктором УВ210Б;
- ☐ токосъемник УВ110;
- ☐ вращающаяся платформа с откидными площадками;
- ☐ блок УВ561;
- ☐ входная и выходная коробки УВ101, УВ102 и блок УВ103М;
- ☐ основание УВ504 с угломестным редуктором УВ210Е, двумя пружинными амортизаторами и опорой.

На верхней части основания поста УВ550 закреплена головка блоков УВ500, в состав которой входят:

- ☐ приемно-передающая (антифединговая) антенна УВ10;
- ☐ приемная антенна УВ11;
- ☐ передающая антенна УПК УВ12;

- ☐ высокочастотная часть приемных устройств — шкаф УВ40М;
- ☐ передающее устройство — шкаф УВ20М;
- ☐ имитатор сигналов ответчика ракеты — блок УВ343М;
- ☐ распределительная коробка УВ100;
- ☐ демпфирующие гироскопы УВ250 по плоскостям $\Phi 1$ и $\Phi 2$.

Головка блоков с помощью азимутального редуктора УВ210Б

имеет возможность кругового вращения по азимуту вместе с вращающейся частью токосъемника УВ110 и вращающейся платформой. По углу места головка может поворачиваться в пределах рабочего сектора. При достижении границ сектора двигатель угломестного редуктора УВ210Е останавливается.

Для балансировки головки при повороте ее по углу места служат пружинные амортизаторы. Для горизонтирования основания поста служат домкраты, размещенные на раме КЗУ-16К. Горизонтирование производится по уровням. Когда пост находится в боевом положении, откидная платформа и лестница опущены.

При регламентных, аварийных и других работах, связанных с необходимостью осмотра или ремонта аппаратуры, головка, откидная площадка и лестница поднимаются, срабатывают их блокировочные контакты. При этом автоматически отключаются силовые приводы. Для регламентных работ со шкафами УВ20М и УВ40М необходимо предварительно установить головку в такое положение по углу места, при котором антенна УВ10 направлена в зенит. В этом случае шкафы УВ20М и УВ40М занимают положение, удобное для их обслуживания.

При транспортировке поста УНВ головка блоков УВ500 опускается на прицеп СМЗ-925Б при помощи подъемного винтового механизма, установленного на основании поста.

Перед укладкой головки блоков на прицеп с него снимаются антенны УВ10 и УВ12, волновод, соединяющий антенну УВ10 со шкафом УВ20М, и артиллерийская панорама.

Основание УВ553 с азимутальной колонкой и платформой транспортируются непосредственно на лафете КЗУ-16К.

Система наполнения воздухом состоит из блока УВ561, закрепленного на основании УВ550, и тракта подачи воздуха к антенне УВ10 и передатчику УВ20М. Избыточное давление создается в растровой головке антенны УВ10, в волноводном тракте, соединяющем растровую головку антенны УВ10 со шкафом УВ20М, а также в блоке УВ23М1 шкафа УВ20М.

Блок УВ561 расположен на ферме и представляет собой шкаф с герметически закрытыми дверцами. В шкафу установлены два баллона с осушенным сжатым воздухом.

Координатно-вычислительная кабина УНК

Аппаратура кабины УНК смонтирована в полуприцепе. В состав аппаратуры, размещенной в кабине УНК, входят следующие шкафы и блоки:

- ☐ шкафы УК30Ф2, УК30, УК60, УК30И, УК90, УК50, УК20Н, УК20И (по правому борту);
- ☐ шкафы УК30Ф1, УК40, УК70, УК70Ц, УК70Р, УК80, УК 10 (по левому борту);
- ☐ блок УК100М по левому борту в передней части кабины;
- ☐ блок УК61А по правому борту у шкафа вентилятора;
- ☐ блоки УК12, УКД4, УК15 в отсеке в полу задней части кабины.

Шкафы в кабине установлены на подставке, служащей воздухопроводом в системе вентиляции шкафов. Над шкафами по бортам установлены воздухопроводы. Система вентиляции шкафов позволяет забирать и выбрасывать воздух как из кабины, так и снаружи.

Для охлаждения кабины в крыше установлены четыре вытяжных вентилятора, а по бортам в передней части кабины имеются два окна для забора воздуха в кабину.

Для соединения кабины с антенным постом и системой электроснабжения имеются четыре входные коробки) расположенные в полу передней части кабины. Входные коробки имеют крышки, откидывающиеся вниз, на которых нанесена маркировка разъемов.

Блоки УК14, УК15 и устройство сложения расположены в отсеке в полу задней части кабины.

Кабина имеет десять плафонов белого света и два плафона синего света, включение которых сблокировано с открыванием дверей. Предусмотрено аварийное освещение двумя плафонами от аккумулятора 12В.

Перечень основной аппаратуры станции СНР-125 с указанием функционального наименования, шифра и количества на комплект приведен в Табл. 2.2.

Табл. 2.2

Перечень основной аппаратуры станции СНР-125

	Наименование	Шифр	Количество на комплект
АНТЕННЫЙ ПОСТ		УНВ	
I.	Основание поста	УВ550	1
	1. Основание	УВ553	1
	2. Азимутальный редуктор	УВ210Б	1
	3. Токосъемник	УВ110	1
	4. Блок	УВ103	1
	5. Блок сжатого воздуха	УВ561	1
	6. Электромашинный усилитель	ЭМУ-12А3а	2
II.	Головка блоков	УВ500	1
	1. Антенна	УВ10	1
	2. Растровая головка	УВ10-1	1
	3. Антенна	УВ11	1
	4. Головка сканирования	УВП-8	1
	5. Антенна	УВ12	1
	6. Угломестный редуктор	УВ210Е	1
	7. Демпфирующий гироскоп	УВ250	2
	8. Распределительная коробка	УВ100	1

	Наименование	Шифр	Количество на комплект
III	Передающее устройство канала визирования цели 1. Модулятор 2. Высокочастотный блок 3. Эквивалент антенны 4. Блок автоматической подстройки частоты магнетрона — АПЧМ (узел 1, узел 2, блок питания УВ124) 5. Блок перестройки частоты магнетрона 6. Низковольтные выпрямители 7. Высоковольтный выпрямитель 8. Блок вентиляторов	УВ20М УВ2Ш УВ23М1 УВ26 УВ24М УВ25М1 УВ121М1 УВ122М1 УВ27	1 1 1 1 1 1 1 1 1
IV	Высокочастотная часть приемного устройства 1. Усилитель высокой частоты приемного канала визирования ракеты 2. Усилитель высокой частоты приемного канала визирования цели 3. Входное устройство антифедингового канала 4. Входное устройство приемного канала визирования ракеты 5. Входное устройство приемного канала визирования цели 6. Волноводный блок стабилизации частоты 7. Электронный блок стабилизации частоты 8. ПУПЧ каналов цели 9. Предварительный усилитель видеосигналов канала ракеты 10. Блок питания 11. Блок питания 12. Волноводный блок управления и контроля 13. Электронный блок управления и контроля	УВ40М УВ42Р УВ42ФМ УВ43М УВ43РМ УВ43Ф УВ47 УВ48М УВ51 УВ52 УВ141 УВ142М УВ342 УВ341	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
V.	Блок регламентного контроля	УВ343М	1
КООРДИНАТНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ КАБИНА		УНК	
I	Шкаф ручного сопровождения 1. Блок стартовой автоматики 2. Индикатор ручного сопровождения 3. Блок ручного сопровождения 4. Блок определения $r_{ц}$ Т/Т 5. Блок питания	УК30Ф2 УК67А1 УК33 УК68М УК88 УК132М	1 2 1 1 1 1

	Наименование	Шифр	Количество о на комплект
II.	Шкаф оператора наведения	УК30	1
	1. Блок усилителей силовых приводов	УК64М	1
	2. Панель функционального контроля	УК47	1
	3. Индикатор наведения	УК32	1
	4. Блок оператора наведения	УК62	1
	5. Блок преобразования координат	УК69М	1
	6. Блок питания	УК131	1
III.	Шкаф командира	УК60	1
	1. Блок усилителей приводов	УК66	1
	2. Блок связи	УК63	1
	3. Индикатор кругового обзора и зоны пуска	УК31М	1
	4. Блок командира	УК61М	1
	5. Блок усилителей привода параллактера	УК65	1
	6. Блок питания	УК161	1
IV.	Шкаф выносного индикатора кругового обзора	УК30И	1
	1. Блок первичного повторителя	УК34	1
	2. Индикатор кругового обзора	УК35	1
	3. Усилитель следящей системы	УК36	1
	4. Блок питания	УК133	1
V.	Шкаф обеспечения режима малых высот	УК90	1
	1. Блок формирования сигналов $\Phi_{\text{д}} \pm \square$	УК89	1
	2. Блок формирования угловых селектирующих импульсов цели и сторожевых сигналов ошибки	УК91	1
	3. Блок формирования угловых бланков ракеты и задержек импульсов директрис	УК92	1
	4. Блок питания	УК191	1
VI.	Шкаф СДЦ	УК50	1
	1. Блок когерентного гетеродина	УК52	1
	2. Блок фазовых детекторов	УК53	1
	3. Блок линий задержки	УК54	1
	4. Блок первой ступени вычитания	УК55	1
	5. Блок второй ступени вычитания	УК51	1
	6. Блок селекторов	УК56	1
	7. Блок питания	УК151	1
VII.	Шкаф УПК	УК20Н	1
	1. Дешифратор	УК21	1
	2. Модулятор и шифратор	УК23	1
	3. Передатчик команд	УК25	1
	4. Блок АПЧ	УК27	1
	5. Высоковольтный выпрямитель	УК121	1

	Наименование	Шифр	Количество на комплект
VIII.	Шкаф передатчика визирования ракет	УК20И	1
	1. Панель включения	УК22	1
	2. Блок АПЧ и волномер	УК24	1
	3. Передатчик	УК26	1
	4. Модулятор	УК28	1
	5. Блок питания	УК122	1
	6. Высоковольтный выпрямитель	УК124	1
IX.	Шкаф ручного сопровождения	УК30Ф1	1
	1. Блок стартовой автоматики	УК67А1	2
	2. Индикатор ручного сопровождения	УК33	1
	3. Блок ручного сопровождения	УК68	1
	4. Блок определения V_u и P	УК87	1
	5. Блок питания	УК132М	1
X.	Шкаф функционального контроля и тренажера	УК40	1
	1. Блок формирования напряжений промежуточной частоты и сигналов помех	УК41	1
	2. Блок формирования видеосигналов цели	УК42	1
	3. Блок формирования сигналов углов цели	УК43	1
	4. Блок формирования сигналов дальности цели	УК44	1
	5. Блок имитации сигналов ракеты	УК45	1
	6. Блок преобразования координат	УК46	1
	7. Блок питания	УК141	1
XI.	Шкаф контрольно-записывающей аппаратуры	УК10	1
	1. Блок согласующих устройств	УК18	1
	2. Блок питания	УК19	1
XII.	Шкаф определения координат ракет	УК70Р	1
	1. Блок определения дальности ракеты	УК72	2
	2. Блок определения углов ракеты	УК74	2
	3. Главный усилитель сигналов ракеты	УК59	2
	4. Блок питания	УК171	1
XIII.	Шкаф определения координат цели	УК70Ц	1
	1. Блок установки и контроля	УК75	1
	2. Блок определения дальности цели	УК71М	1
	3. Блок определения углов цели	УК73	1
	4. Автомат переключения частоты	УК57М	1
	5. Главный усилитель сигналов цели	УК58М	1
	6. Блок компенсации углов скручивания	УК86	1
	7. Блок питания	УК171	1
XIV.	Шкаф опорных напряжений	УК70	1
	1. Панель контроля	УК381М	1
	2. Блок определения дальности точки встречи	УК81М	1
	3. Блок определения момента пуска		
	4. Синхронизатор дальности	УК85М	1
	5. Синхронизатор угловых систем	УК77, УК78	1 компл.
	6. Блок питания	УК79	1
		УК173	1

	Наименование	Шифр	Количество на комплект
XV.	Шкаф выработки команд	УК80	1
	1. Блок выработки сигналов ошибки	УК81	2
	2. Блок выработки сигналов упреждения	УК82	2
	3. Блок формирования команд управления	УК83	2
	4. Блок питания	УК181	1

2.5.3 Принципы построения зенитных управляемых ракет (ЗУР)

Назначение

Двухступенчатая зенитная управляемая ракета 5В24 (5В27) входит в состав зенитного ракетного комплекса С-125 (С-125М, М1) и предназначена для поражения пилотируемых и беспилотных средств воздушного нападения, летящих с дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями в диапазонах малых и средних высот на встречных и догонных курсах. Поражение целей осуществляется осколочно-фугасным действием боевой части ракеты.

Ракета 5В24 (5В27) выполнена по двухступенчатой схеме с осевым ускорителем. Впервые в отечественной практике на зенитной управляемой ракете применены как стартовый, так и маршевый двигатели на твердом топливе.

Состав, компоновка и основные данные ракеты

Состав ракеты.

В ракету входят следующие основные функциональные части: планер, стартовый двигатель, маршевый двигатель, боевое снаряжение, аппаратура управления полетом, воздушная система, электросистема, источник электропитания.

Планер ракеты включает в себя корпус, крылья, рули, стабилизаторы, тормозные плоскости, механизмы управления рулями, элеронами и механизм раскрытия стабилизаторов. Планер служит для размещения всех бортовых систем ракеты и образует требуемую аэродинамическую форму. Отдельными

частями корпуса ракеты являются корпуса боевой части, радиовзрывателя и двигателей.

Стартовый двигатель обеспечивает старт ракеты с пусковой установки и быстрый ее разгон до сверхзвуковой скорости, при которой обеспечивается необходимая эффективность аэродинамических органов управления полетом ракеты.

Маршевый двигатель обеспечивает дальнейшее увеличение скорости полета ракеты, позволяя получить требуемые высоту, и дальность полета при заданном времени для поражения цели.

Боевое снаряжение ракеты обеспечивает поражение цели и состоит из боевой части, радиовзрывателя и предохранительно-исполнительного механизма (ПИМ).

Боевая часть осколочно-фугасного действия поражает цель осколками, а при подрыве на близком расстоянии оказывает на нее и фугасное действие.

Радиовзрыватель импульсного принципа действия при подлете ракеты к цели обеспечивает выдачу сигнала срабатывания на ПИМ.

ПИМ обеспечивает по сигналам срабатывания РВ подрыв БЧ у цели, а в служебном обращении предохраняет от случайного земле и в полете ПИМ имеет три независимых ступени предохранения.

Аппаратура управления полетом обеспечивает управляемый полет ракеты к точке встречи с целью в соответствии с выбранным методом наведения. Аппаратура состоит из радиоаппаратуры управления и визирования (РУиВ) и автопилота.

Радиоаппаратура РУиВ принимает импульсы запроса и команды управления станции наведения, передает на станцию наведения сигналы, позволяющие определять положение ракеты в пространстве, и преобразует команды станции наведения в управляющие электрические сигналы, которые поступают на автопилот.

Автопилот преобразует управляющие сигналы РУиВ в сигналы управления рулевыми машинами, которые отклоняют рули, что приводит к выполнению маневра ракеты в соответствии с командами станции наведения.

Наведение ракеты на цель обеспечивается управлением ею в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, совпадающих с плоскостями крыльев, которые называются плоскостями I и II каналов управления. Автономный канал стабилизации ракеты по крену условно назван III каналом.

Воздушная система обеспечивает питание воздухом рулевых машин автопилота и турбоэлектрогенератора в течение всего времени полета. Воздушная система состоит из воздушно-арматурного блока, распределительных узлов, воздухопроводов и потребителей.

Электросистема ракеты объединяет все бортовое оборудование в единый автоматизированный комплекс, обеспечивающий питание, коммутацию электрических цепей при подготовке, пуске и полете ракеты. Электросистема состоит из коммутационной аппаратуры, пиротехнических устройств, бортовой электросети с электроразъемами и контактными колодками.

Источником электропитания на ракете является турбоэлектрогенератор, приводимый в действие энергией сжатого воздуха.

Компоновка ракеты.

Ракета скомпонована по аэродинамической схеме «Утка», т. е. рули находятся впереди крыльев. Крылья и рули расположены Х-образно под углом 45° к вертикальной плоскости. На двух крыльях, верхнем правом и нижнем левом по полету, имеются элероны для стабилизации ракеты по крену.

Стартовый двигатель (ускоритель) расположен сзади маршевого двигателя на одной оси с ним. Ускоритель отделяется в полете. Общий вид ракеты полностью в собранном состоянии (первая ступень) показан на Рис. 2.1.

Компоновка ракеты без ускорителя (вторая ступень) приведена на Рис. 2.10.

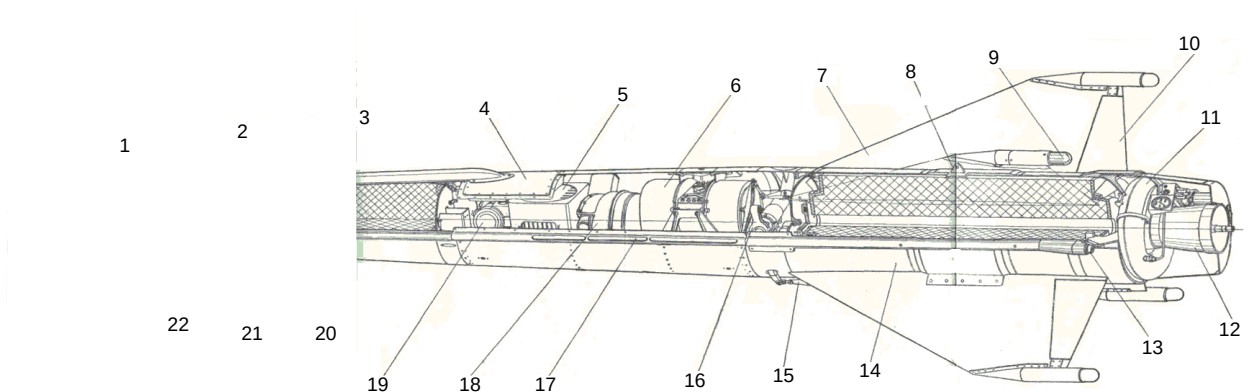


Рис. 2.10. Компоновка ракеты без ускорителя (вторая ступень)

1 — передающая антенна радиовзрывателя; 2 — руль; 3 — предохранительно-исполнительный механизм; 4 — центральная распределительная коробка; 5 — ампульная батарея; 6 — блок аппаратуры радиуправления и радиовизирования; 7 — крыло; 8 — такелажный узел; 9 — передающая антенна аппаратуры радиуправления; 10 — элерон; 11 — воздушно-арматурный блок; 12 — сопло маршевого двигателя; 13 — отрывной электроразъем к ускорителю; 14 — маршевый двигатель; 15 — тяга управления элероном; 16 — механизм управления элеронами; 17 — приемная антенна радиовзрывателя; 18 — блок автопилота; 19 — преобразователь; 20 — боевая часть; 21 — механизм управления рулями; 22 — блок радиовзрывателя.

Корпус второй ступени ракеты, в котором размещены боевое снаряжение, аппаратура управления полетом, воздушная и электрическая системы разделен на пять отсеков.

Отсеком № 1 является радиовзрыватель. Передняя часть корпуса радиовзрывателя изготовлена из радиопрозрачного материала, в ней расположена передающая антенна. Приемные антенны размещены вдоль корпуса ракеты и связаны с блоком РВ высокочастотными кабелями.

Отсек № 2 предназначен для установки рулей ракеты и механизмов управления рулями. Механизм состоит из двух независимых кинематических цепей, обеспечивающих раздельное управление каждой парой рулей,

расположенных в одной плоскости. Кроме того, в отсеке размещаются селектирующий блок радиовзрывателя, устройство КЗ и блок задержки, которые на рисунке не показаны. У заднего торца отсека на специальной плате устанавливается предохранительно-исполнительный механизм.

Отсеком № 3 является боевая часть. После стыковки отсеков № 2 и 3 детонатор ПИМ располагается у промежуточного детонатора боевой части, что обеспечивает надежный подрыв БЧ при срабатывании ПИМ. До установки БЧ ракета комплектуется фальшотсекком, который имитирует боевую часть по габаритам и стыковочным местам.

Вдоль внешней поверхности корпуса БЧ под верхним обтекателем проложены воздухопровод к рулевым машинам, жгуты электропроводки к радиовзрывателю, рулевым машинам и ПИМ. Под боковыми обтекателями расположены кабели приемных антенн радиовзрывателя.

Отсек № 4 предназначен для размещения радиоаппаратуры управления и визирования, блока автопилота, турбоэлектрогенератора, основной части электрооборудования, воздушно-арматурного блока и механизма управления элеронами, связанного с элеронами наружными тягами. Для удобства монтажа и эксплуатации элементы электрооборудования собраны в блоке реле и центральной распределительной коробке. Кроме того, в корпусе отсека № 4 установлена розетка бортового электроразъема, через который осуществляется электрическая связь с наземными устройствами контроля готовности к пуску ракеты. По бортам отсека в специальных углублениях корпуса под обтекателями установлены приемные антенны радиовзрывателя.

Отсеком № 5 является маршевый двигатель. В корпусе двигателя устанавливается пороховой заряд. Сопло маршевого двигателя закрыто обтекателем.

На корпусе двигателя крепятся крылья, на двух из них размещены элероны. На левом верхнем крыле (по полету) расположены передающая антенна и приемная антенна радиоаппаратуры РУиВ. Для аэродинамической

симметрии на концах остальных трех крыльев установлены имитаторы передающей антенны, а на правом нижнем крыле приклепана пластина симметрично приемной антенне. Вдоль корпуса маршевого двигателя проложены жгуты электропроводки, связывающие узлы электросистемы второй ступени с ускорителем. Жгут, идущий к ускорителю слева по полету, оканчивается отрывным разъемом. Под правым обтекателем расположен концевой выключатель. Сверху и снизу на корпусе МД приварено такелажное ухо.

Компоновка ускорителя показана на Рис. 2.11. Основной частью ускорителя является стартовый двигатель, снаряжаемый пороховым зарядом.

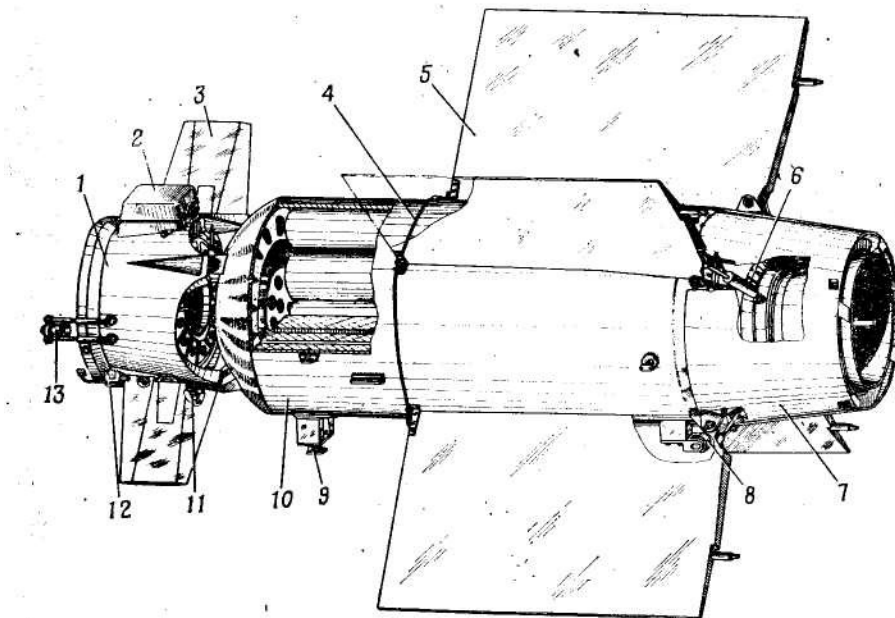


Рис. 2.11. Компоновка ускорителя

1 — упорный конус; 2 — сигнализатор перегрузок; 3 — тормозная плоскость; 4 — стяжка; 5 — стабилизатор; 6 — демпфер; 7 — задний конус; 8 — роликовая опора; 9 — бугель; 10 — стартовый двигатель; 11 — толкатель; 12 — механизм стопорения; 13 — отрывной разъем

Кроме стартового двигателя в состав ускорителя входят стабилизаторы, задний конус, упорный конус.

Упорный конус служит для соединения ускорителя со второй ступенью ракеты. Конус опирается посадочными местами на обечайку корпуса и сопло

маршевого двигателя. Срезные болты надежно удерживают вторую ступень и ускоритель в состыкованном состоянии.

На упорном конусе в плоскости левого нижнего и правого верхнего крыльев имеются поворотные тормозные плоскости с пружинными толкателями и механизмами стопорения. Снаружи на конусе установлены сигнализатор перегрузок под защитным кожухом и вилка отрывного разъема.

Стабилизаторы крепятся в шарнирных узлах на заднем днище корпуса стартового двигателя. Они шарнирно связаны с гидравлическими демпферами, крепящимися к корпусу стартового двигателя. Для уменьшения габаритов ракеты до момента схода ее с пусковой установки стабилизаторы находятся в сложенном состоянии и крепятся стяжкой. На корпусе двигателя расположены узлы опоры ракеты на ПУ: передний бугель и две задние роликовые опоры.

Основные весовые данные и геометрические размеры ракеты

Масса	955 кг
в том числе:	
вторая ступень	425 кг
ускоритель	530 кг
Длина первой ступени (со сложенными стабилизаторами)	5948 мм;
Длина второй ступени	4132 мм
Положение центра масс снаряженной ракеты (от носка)	3984 мм

2.5.4 Принципы построения стартового оборудования

Стартовое оборудование огневого комплекса системы С-125 (С-125М, М1) обеспечивает выполнение операций транспортировки ракет на огневую позицию, заряжания (или разряжания) пусковых установок, предстартовую подготовку и пуск ракеты по целям, сопровождаемым станцией наведения.

Электроснабжение стартового оборудования осуществляется автономно от подвижной электростанции или от промышленной сети.

В состав стартового оборудования входят:

- 4 пусковых установки;
- 8 транспортно-заряжающих машин;
- средства транспортировки пусковых установок.

Пусковая установка

Пусковая установка предназначена для установки на ней двух (ПУ 5П71) или четырех (ПУ 5П73) ракет, синхронного слежения за антенной системой станции наведения и обеспечения автоматического цикла пуска ракет по команде оператора станции наведения. Общий вид ПУ 5П73 представлен на Рис. 2.1.

Основные тактико-технические данные пусковой установки

Вес установки в походном положении	12500 кг
Вес в боевом положении	9700кг
Максимальная длина в походном положении	9125 жм
Максимальная высота	3625 мм
Максимальная ширина	2640 мм
Время перехода из походного положения в боевое не более	1,5 часа
Угол заряжания	3°30'
Углы наведения электроприводом:	
по углу места	т 3° до 64°30
по азимуту	без ограничения
Максимальная скорость наведения от электроприводов:	
по углу места	
по азимуту	5 град/с
	13 град/с

Пусковая установка включает следующие основные части:

- качающаяся часть - для установки двух ракет, опирающихся своими бугелями и роликами ускорителей на направляющие балок качающейся части;
- станок с кожухами (вращающаяся часть) - для размещения аппаратуры и механизмов пусковой установки и опоры для качающейся части ;
- горизонтируемая платформа станка;
- основание - служащее опорой установки в боевом положении и повозкой при транспортировке;
- ходовые части;
- газоотражатели - для защиты грунта около установки от размывания газовой струей при старте ракет ;
- электрооборудование.

В состав электрооборудования входит аппаратура и кабели системы управления стартом ракет и аппаратура синхронного следящего привода.

К аппаратуре системы управления стартом относятся блоки автоматики (БА), имитаторы борта и источники наземного питания бортовой аппаратуры ракет. К системе управления стартом относятся также блоки подготовки ракет, размещенные в кабине станции наведения.

Аппаратура системы управления стартом обеспечивает дистанционную подготовку и проведение пуска ракет в необходимой последовательности с любой установки; при возникновении случайных неисправностей в цепях ракеты или пусковой установки, аппаратура системы управления стартом обеспечивает автоматическое отключение неисправной аппаратуры с выдачей соответствующих сигналов на пульты СНР.

Синхронные следящие привода обеспечивают дистанционное наведение всех пусковых установок из кабины УНК в необходимом направлении и возврат установок в исходное положение заряжания после пуска последней ракеты или при снятии с нее режима готовности.

Цепи блокировки делают невозможным пуск ракеты при рассогласовании ПУ и антенного поста СНР на величины более 25' и в зоне запрета.

Транспортно-заряжающая машина

Транспортно-заряжающая машина обеспечивает транспортировку ракет и зарядание (или разрядание) ими пусковой установки.

Транспортно-заряжающая машина смонтирована на автомобильном шасси повышенной проходимости. Ракеты крепятся на левой и правой балках передней частью в самозахватывающих каретках, сзади - захватами на тележках балок.

В транспортном положении балки крепятся специальными стяжками; вся машина с уложенными ракетами прикрывается тентом, позволяющим производить операции зарядания и разрядания без его снятия.

Для зарядания транспортно-заряжающая машина заезжает на подъездные мостики, расположенные около пусковой установки и строго фиксирующие положение ТЗМ относительно ПУ.

Максимальная скорость транспортировки ракет по шоссе до 50 км/час и грунтовыми дорогами до 30 км/час.

2.5.5 Принципы построения средств энергоснабжения

Средства огневого комплекса системы могут обеспечиваться энергопитанием как автономно от специальной подвижной электростанции, так и от промышленной энергосети напряжением 220В частотой 50 Гц.

В соответствии с этим в состав энергетического оборудования комплекса входят:

- распределительно-силовая кабина;
- дизельэлектростанция (ЭСД-100).

Распределительно-силовая кабина УНС

Распределительно-силовая кабина УНС выполняет функции распределительного устройства и силовой преобразовательной станции для питания средств огневого комплекса.

Получаемое от сети или дизельэлектростанции питание 220В 50Гц через кабину УНС распределяется к различным потребителям (СНР, пусковые установки и т.д.). С помощью преобразователя ВПЛ-50 трехфазный ток 220в 50Гц преобразуется в трехфазный ток частоты 400Гц для аппаратуры станции наведения и синхронных приводов пусковых установок.

Пульт дистанционного управления позволяет производить запуск и остановку электростанции ЭСД-100 и регулировать напряжение и частоту.

При свертывании и разворачивании комплекса питание его средств может осуществляться от вспомогательной электростанции мощностью 30 кВт, размещенной также в кабине УНС.

Дизельэлектростанция ЭСД - 100

Дизельная электростанция ЭСД-100 является основным источником электропитания огневого комплекса; она смонтирована в специальном кузове на низкорамном прицепе МАЗ-5207В.

Станция имеет два отделения - дизельное и отделение оператора.

В дизельном отделении установлены дизельэлектрическая установка мощностью 100 кВт, щит управления дизелем, два обогревателя типа ОВ-65 и вспомогательное оборудование.

В операторном отделении размещена аппаратура управления и контроля работы дизельэлектрической установки. Здесь же установлены два бака с топливом, обеспечивающие возможность непрерывной работы дизеля в течение 12 часов без дозаправки. ЭСД-100 может работать параллельно с подобными станциями и промышленной сетью.

2.6 Анализ принципов функционирования базовой модификации ЗРК С-125 (ЗРК С-125М1)

2.6.1 Общие принципы функционирования ЗРК

2.6.1.1 ЗРК как система автоматического регулирования

Для наведения зенитных ракет на цель применяется комплекс аппаратуры, составляющий систему управления. Все системы управления зенитными ракетами по основному принципу действия являются системами автоматического регулирования (САР), т. е. системами с замкнутым контуром управления. Чтобы пояснить высокую эффективность таких систем, сравним принципы действия двух основных типов систем управления — с разомкнутым и замкнутым контуром управления. Структурные схемы этих систем показаны на рис. 2.12.

В любую систему управления входит управляющий объект (задающее устройство) и управляемый объект (нагрузка). Управляющий объект задает входной сигнал системы $x(t)$ — закон, в соответствии с которым должна управляться нагрузка — изменяться ее управляемый параметр. Фактическое текущее значение этого параметра в процессе управления — результат управления — называется выходным сигналом системы $y(t)$. Цель управления всегда состоит в достижении равенства $y(t) = x(t)$. Под входным и выходным сигналами систем управления $x(t)$ и $y(t)$ понимается не физические сигналы на входе и выходе системы, а лишь содержащуюся в них информацию соответственно о требуемом законе и фактическом результате управления.

В системе с разомкнутым контуром управления (рис. 2.12, а) входной сигнал поступает на усилительно-преобразовательное устройство, где усиливается и преобразуется к виду $K_{np}x(t)$, где K_{np} — коэффициент преобразования. Такой вид сигнала необходим для управления исполнительным устройством (приводом) системы. Исполнительное устройство воздействует на управляемый объект, соответственно изменяя его управляемый параметр.

В системе с замкнутым контуром управления (рис. 2.12, б) имеется еще измеритель рассогласования, который представляет собой сравнивающее устройство (дискриминатор) системы. На один вход измерителя рассогласования поступает входной сигнал, а на второй вход по цепи отрицательной обратной связи — выходной сигнал системы. В измерителе рассогласования оба сигнала автоматически сравниваются, в результате чего вырабатывается сигнал рассогласования (сигнал ошибки), равный их разности:

$$z(t) = x(t) - y(t).$$

Обратная связь в системе является отрицательной, так как при получении сигнала ошибки выходной сигнал вычитается из входного — ослабляет его действие.

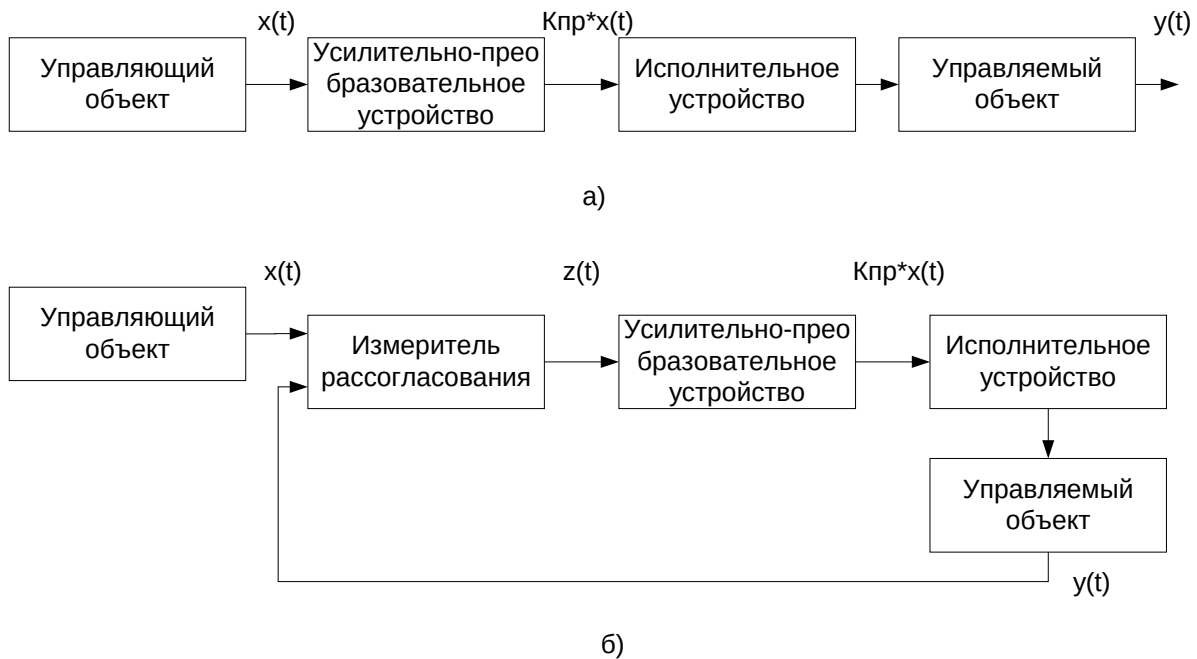


Рис. 2.12 Структурные схемы систем управления
а) с разомкнутым контуром управления;
б) с замкнутым контуром управления.

Сигнал рассогласования через усилительно-преобразовательное и исполнительное устройства воздействует на управляемый объект.

Наличие в системах второго типа измерителя рассогласования и цепи отрицательной обратной связи, замыкающей контур управления, и приводит к принципиально новому качеству управления.

Действительно, в системах с разомкнутым контуром управление производится лишь под воздействием входного сигнала $x(t)$, т. е. без учета фактического результата управления $y(t)$. Если по каким-либо причинам управление произошло с ошибкой (выходной сигнал в результате управления не будет соответствовать входному), то *это* никак не отразится на поведении системы. Поэтому точное управление с помощью систем такого типа возможно лишь в идеальных условиях, когда нет никаких причин для возникновения ошибок управления: если все элементы системы сами по себе работают абсолютно точно и на них не действуют никакие внешние возмущающие факторы — помехи.

В системах с замкнутым контуром управление производится под воздействием сигнала ошибки $z(t) = x(t) - y(t)$, т. е. с учетом фактического результата управления $y(t)$. Следовательно, пока этот результат не соответствует входному сигналу $x(t)$, процесс управления продолжается и заканчивается лишь тогда, когда сигнал ошибки обращается в нуль, т. е. достигается цель управления: $z(t) = 0$ при $y(t) = x(t)$. Таким образом, если системы с разомкнутым контуром безразличны к ошибке управления, то в системах с замкнутым контуром именно ошибка управления является по существу причиной управления.

ЗРК представляет собой систему с замкнутым контуром управления. Управляющим объектом в этой системе является цель, входным сигналом — ее текущие координаты ($\square_{ц}$, $\square_{ц}$, $D_{ц}$), управляемым объектом — ракета, выходным сигналом — ее текущие координаты ($\square_{р}$, $\square_{р}$, $D_{р}$). Измеритель рассогласования и усилительно-преобразовательное устройство выполняются обычно как вычислительное устройство выработки команд, исполнительным устройством является автопилот ракеты, управляющий углами поворота ее

рулей. Если команды управления передаются на ракету по линии телеуправления, то под исполнительным устройством понимается вся эта линия.

Текущие координаты цели и ракеты определяются радиолокационными методами и вводятся в вычислительное устройство. В последнем происходит непрерывное сравнение одноименных координат цели и ракеты, в результате чего определяются сигналы рассогласования по каждой координате $\Delta\alpha = \alpha_c - \alpha_r$; $\Delta\beta = \beta_c - \beta_r$; $\Delta D = D_c - D_r$. Эти сигналы в соответствии с принятым методом наведения преобразуются в команды управления, которые через исполнительное устройство воздействуют на рули ракеты. Поворот рулей ракеты изменяет направление ее полета таким образом, что сигналы рассогласования стремятся к нулю ($\Delta\alpha = 0$; $\Delta\beta = 0$; $\Delta D = 0$ при $\alpha_c = \alpha_r$; $\beta_c = \beta_r$; $D_c = D_r$), т. е. ракета наводится на цель. При этом даже непредвиденные изменения входного сигнала (маневры цели) или выходного сигнала (снос ракеты ветром, изменения параметров движения ракеты из-за изменений режима работы ее двигателя, плотности атмосферы и т. п.) в принципе не снижают точность наведения ракеты, так как они ведут лишь к соответствующим изменениям сигналов рассогласования, под действием которых и производится непрерывное управление ракетой.

Системы управления зенитными ракетами

Для управления зенитными ракетами применяются системы радиотелеуправления, системы самонаведения и комбинированные системы.

Существуют также системы автономного управления, которые обеспечивают полет ракеты по заданной программе (заранее рассчитанной траектории) и применяются для управления баллистическими ракетами класса «земля — земля». Автономное управление зенитными ракетами невозможно, так как при стрельбе по движущейся воздушной цели траекторию ракеты заранее определить нельзя. Однако элементы автономного управления часто используются при наведении зенитных ракет для

стабилизации положения ракеты в полете и задания ее траектории на начальном участке.

Часть элементов системы управления обязательно находится на борту ракеты, часть же может находиться на наземном пункте управления и называется станцией наведения ракет.

1. Системы радиотелеуправления

В системах радиотелеуправления ракета управляется с помощью команд, вырабатываемых станцией наведения ракет и передаваемых на ракету по радиолинии телеуправления. Команды управления формируются на основе сравнения текущих координат цели и наводимой на нее ракеты. Эти координаты определяются с помощью наземных РЛС визирования цели и ракеты.

Наиболее распространены в настоящее время системы командного радиотелеуправления и системы наведения по радиолучу.

а) Система командного радиотелеуправления

Система управления этого типа состоит из:

- радиолокационного канала визирования (определения координат) цели;
- радиолокационного канала визирования ракеты;
- вычислительного устройства;
- радиолинии телеуправления ракетой.

Структурная схема системы показана на Рис. 2.32.

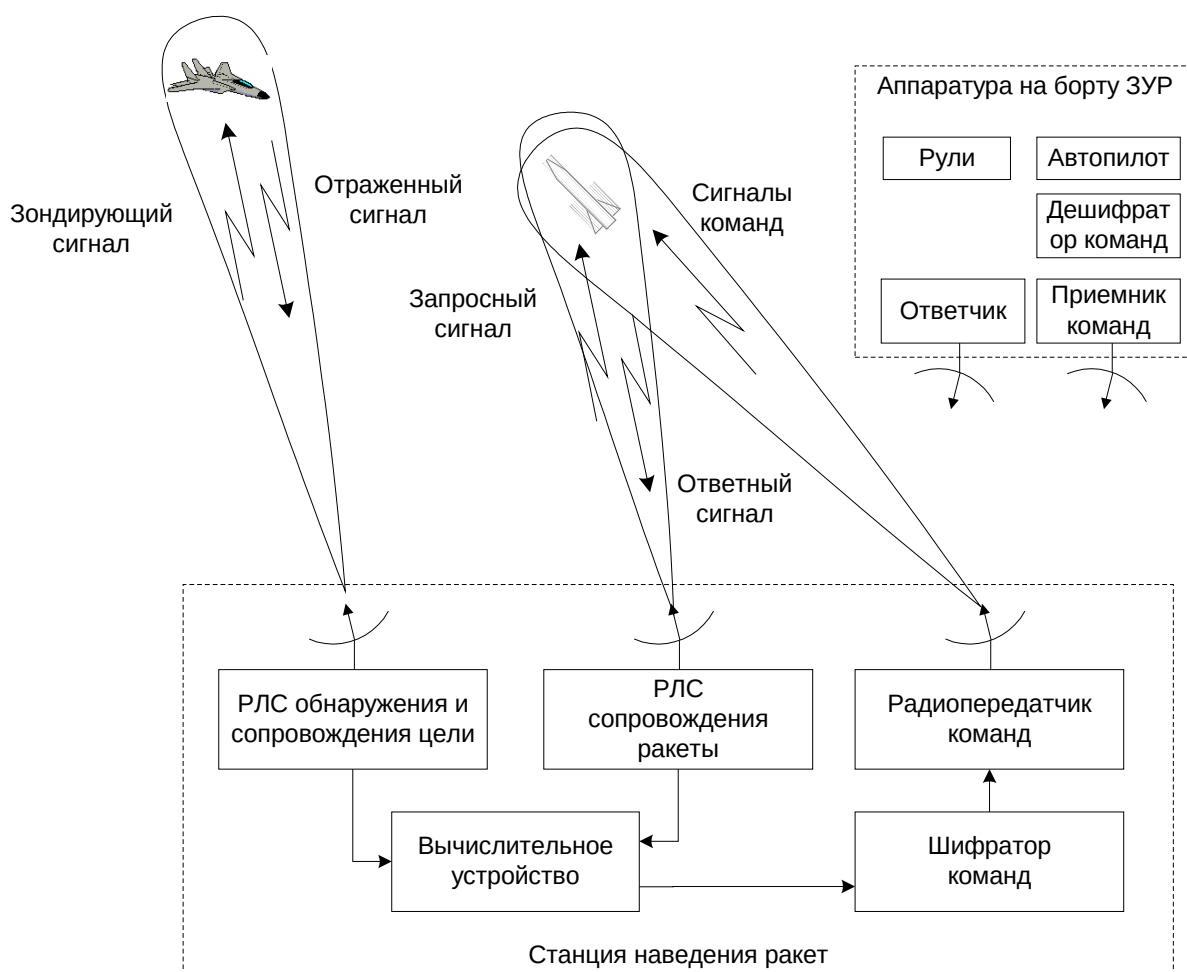


Рис. 2.13 Структурная схема системы командного радиотелеуправления

В канал визирования цели входит наземная РЛС с пассивным ответом, которая автоматически сопровождает цель для определения ее текущих координат. С помощью этой же РЛС производится предварительный поиск и выбор цели, а также определение момента пуска ракет.

В канал визирования ракеты входит вторая наземная РЛС, которая автоматически сопровождает ракету для определения ее текущих координат. Так как эффективная отражающая поверхность ракеты мала, то для ее уверенного сопровождения на ней обычно устанавливается радиолокационный ответчик. В этом случае канал визирования ракеты представляет собой радиолокационную систему с активным ответом. Для обеспечения избирательности (селекции) по запросу и ответу и повышения

помехозащищенности этого канала запросные и ответные сигналы могут кодироваться и иметь разные несущие частоты. Как правило, РЛС сопровождения цели и ракеты работают в импульсном режиме.

По радиолинии телеуправления должны передаваться команды одновременно на все наводимые в данный момент ракеты, причем для управления траекторией каждой ракеты требуется две команды (действующие в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, в которых расположены рули ракеты). Поэтому радиолиния телеуправления должна быть многоканальной.

Для передачи на борт ракеты информации о содержании команд (их знаке и величине) напряжения команд, вырабатываемые вычислительным устройством, должны быть преобразованы в радиосигналы команд, несущие эту информацию. Информация переносится на радиосигналы посредством их модуляции напряжениями команд. Для разделения каналов линии телеуправления и обеспечения ее помехозащищенности радиосигналы команд, как правило, кодируются — им придаются дополнительные шифрующие качества.

В соответствии с этим в радиолинию телеуправления входят:

в станции наведения ракет

— шифратор команд, в котором реализуется выбранный способ передачи информации о содержании команд на борт ракеты (осуществляется выбранный вид модуляции сигналов напряжениями команд) и кодирование сигналов команд;

— радиопередатчик команд, вырабатывающий радиосигналы; огибающая которых соответствует выбранному способу модуляции и кодирования;

— направленная передающая антенна, через которую радиосигналы команд излучаются в направлении на ракету;

на борту ракеты

— приемная антенна, воспринимающая радиосигналы команд;

— радиоприемник команд, усиливающий и детектирующий принятые радиосигналы;

— дешифратор команд, в котором производится декодирование команд (анализ принятых сигналов на предмет их соответствия установленному коду) и их демодуляция (определение содержания команд путем преобразования декодированных сигналов в напряжения команд, подобные напряжениям на выходе вычислительного устройства);

— автопилот, через который под действием напряжений команд осуществляются соответствующие повороты рулей ракеты.

Вместо двух отдельных РЛС сопровождения цели и ракеты в системе командного радиотелеуправления возможно использовать одну РЛС, которая одновременно должна сопровождать цель и наводимую на нее ракету. Эта задача может быть решена применением метода линейного сканирования двух веерных лучей во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Системы командного радиотелеуправления могут обеспечивать одновременное наведение одной ракеты на одну цель (быть одноканальными по цели и ракете), нескольких ракет на одну цель (быть одноканальными по цели и «многоканальным» по ракете), нескольких ракет на несколько целей (быть многоканальными по цели и ракете). Увеличение канальности системы по ракете и особенно по цели связано с соответствующим усложнением станции наведения ракет главным образом за счет увеличения числа радиолокационных каналов визирования и радиоканалов телеуправления.

б) Системы наведения по радиолучу

В системах наведения по радиолучу ракета наводится на цель с помощью управляющего радиолуча («радиотропы»), на оси которого она автоматически удерживается в полете. При этом отпадает необходимость в формировании специальных команд управления.

В радиолинию телеуправления системы входит радиопередатчик наведения с передающей антенной, которая создает управляющий радиолуч,

и чувствительная аппаратура на борту ракеты, реагирующая на отклонение ракеты от оси радиолуча. Для получения управляющего радиолуча обычно используется равносигнальный метод с коническим развертыванием диаграммы направленности.

В аппаратуру управления на борту ракеты входит приемник сигналов радиолуча с приемной антенной, измерительное (анализирующее) устройство и автопилот.

В качестве сигнала ошибки контура управления ракетой используется огибающая амплитуды принимаемых на ракете сигналов радиолуча, которая содержит информацию о величине и знаке отклонения ракеты от оси радиолуча — равносигнального направления. Напряжение сигнала ошибки выделяется в измерительном устройстве, где затем преобразуется в два управляющих во взаимно перпендикулярных плоскостях напряжения. Последние воздействуют на автопилот, который поворачивает рули ракеты так, что она возвращается на ось радиолуча (при этом сигнал ошибки и управляющие напряжения стремятся к нулю). Поскольку ракета автоматически удерживается на оси радиолуча, то необходимые изменения направления ее полета обеспечиваются угловыми перемещениями радиолуча, т. е. поворотами антенны по азимуту и углу места.

Для определения необходимых перемещений радиолуча в системе имеется канал визирования цели, который может быть совмещен с каналом управления или отделен от него.

В системе с совмещенным каналом визирования цели (Рис. 2.14, а) в принципе может использоваться единственная РЛС, которая автоматически сопровождает цель равносигнальным методом. Зондирующие сигналы этой РЛС одновременно образуют управляющий радиолуч. В процессе автосопровождения цели геометрическая ось антенны (равносигнальное направление) автоматически совмещается с направлением на цель, чем одновременно обеспечивается наведение ракеты. Такая система отличается

своей простотой, но позволяет наводить ракету лишь методом трехточки (ракета все время удерживается на линии визирования цели). Помимо недостатков, присущих этому методу, здесь возникает возможность необратимого ухода ракеты из радиолуча (потери управления) при его резких перемещениях в процессе автосопровождения маневрирующей цели.

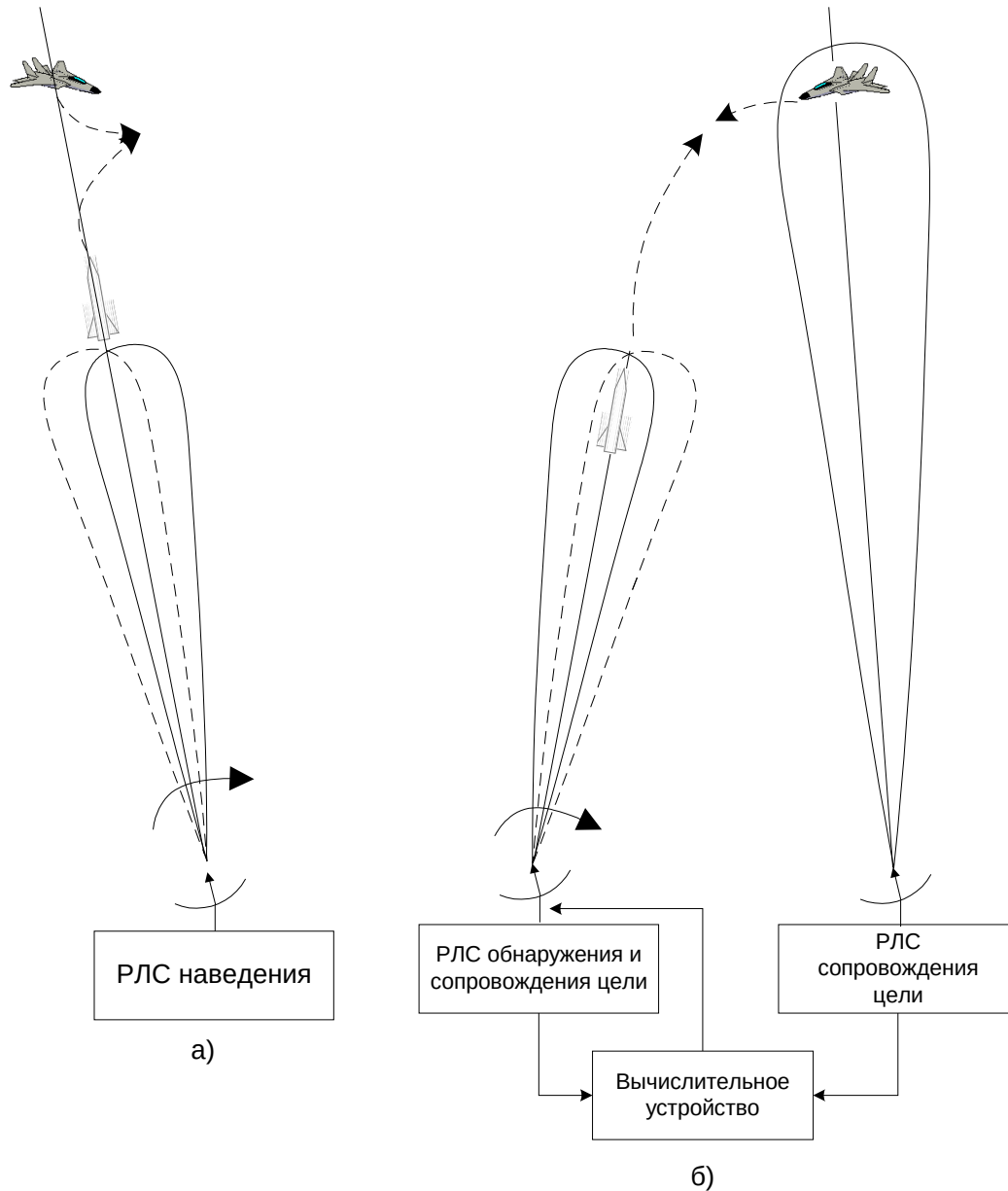


Рис. 2.14 Система наведения по радиолучу: а) с совмещенным каналом визирования цели; б) с автономным каналом визирования цели

Такая возможность практически исключается в системе с автономным каналом визирования цели, наличие которого позволяет наводить ракету

методом упреждения. В такой системе имеются: РЛС сопровождения цели, РЛС сопровождения и наведения ракеты и вычислительное устройство (Рис. 2.14, б). Первая РЛС автоматически сопровождает цель, вторая — ракету, одновременно создавая для нее управляющий радиолуч. Информация о текущих координатах цели и ракеты с выхода обеих РЛС вводится в вычислительное устройство. В вычислительном устройстве решается задача о точке встречи ракеты с целью и вырабатываются управляющие напряжения, которые воздействуют на систему управления антенной РЛС сопровождения и наведения ракеты и задают ее угол места $\square_в$ и азимут $\square_А$. Поворотами антенны этой РЛС обеспечиваются необходимые перемещения управляющего радиолуча для наведения ракеты в точку встречи. При этом совмещение оси управляющего радиолуча с направлением на цель происходит лишь в момент встречи ракеты с целью. В процессе же наведения, поскольку сопровождение цели ведется автономной РЛС, управляющий радиолуч может перемещаться достаточно медленно и плавно для того, чтобы предотвратить потерю управления ракетой. В системах наведения по радиолучу отсутствуют устройства для формирования команд и радиопередатчик команд на пункте управления. Этим обусловлена их простота сравнительно с командными системами радиотелеуправления. Кроме того, система с совмещенным каналом визирования цели (Рис. 2.14, а) позволяет без какого-либо усложнения наземной аппаратуры наводить по одному-управляющему радиолучу принципиально неограниченное количество ракет. Однако по сравнению с системами командного телеуправления системы наведения по радиолучу обладают меньшей помехозащищенностью, так как в них отсутствует кодирование управляющих сигналов, а шифрующим качеством сигналов радиолуча является частота конического развертывания, которая легко разведывается противником. Помимо этого, противник может использовать управляющий радиолуч для наведения по нему на станцию наведения своих реактивных снарядов класса «воздух — земля».

2. Системы самонаведения

В системах самонаведения ракета управляется с помощью сигналов, исходящих от самой цели. Эти сигналы воспринимаются чувствительной аппаратурой управления, находящейся на ракете и называемой головкой самонаведения, которая и направляет ракету на цель. Таким образом, самонаведение основано на различии физических свойств цели и фона (на контрастности цели).

В качестве управляющих сигналов могут использоваться исходящие от цели звуковые колебания, световые волны, инфракрасное (тепловое) излучение, электромагнитные колебания радиочастоты.

Наиболее распространены радиолокационные системы самонаведения, в которых в качестве управляющих сигналов используются радиоволны, отраженные целью в результате ее облучения. В аппаратуру самонаведения на ракете в радиолокационных системах входят: приемник отраженных целью радиоволн с направленной вперед (в сторону цели) приемной антенной; измерительное устройство, в котором определяется угол между направлением ракета—цель и или вектором скорости ракеты, или продольной осью ракеты, или некоторым направлением в неподвижной системе координат и вырабатываются управляющие напряжения; автопилот, который под воздействием управляющих напряжений поворачивает рули ракеты, направляя ее на цель в соответствии с выбранным методом наведения.

По месту установки радиопередатчика, облучающего цель, радиолокационные системы самонаведения делятся на активные и полуактивные. Возможно также применение пассивных систем (головок) самонаведения, использующих в качестве управляющих сигналов собственное (естественное или искусственное) радиоизлучение цели. Поскольку в таких системах не производится искусственного облучения цели, которое может быть обнаружено противником, они характеризуются наибольшей скрытностью наведения

В активных системах передатчик, облучающий цель, находится также на ракете. Следовательно, в этом случае на борту ракеты размещается целиком миниатюрная РЛС, облучающая цель и принимающая отраженные ею сигналы (Рис. 2.15, а).

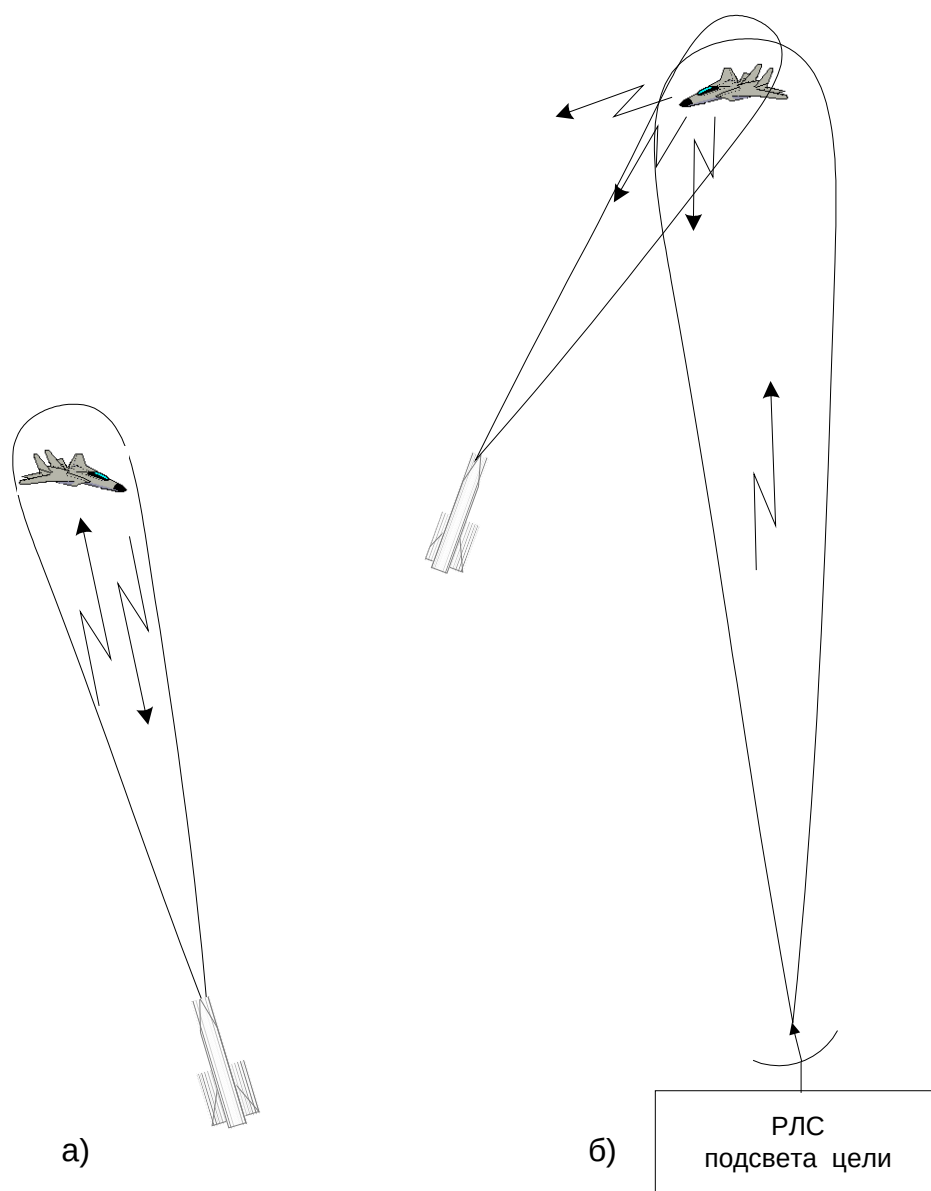


Рис. 2.15 Системы активного (а) и полуактивного (б) самонаведения

В полуактивных системах передатчик, облучающий цель, находится на земле, а на ракете размещается лишь приемник отраженных целью сигналов (Рис. 2.15, б). Для непрерывного и эффективного облучения цели в этом случае используется передатчик наземной РЛС (станции подсвета цели), которая автоматически сопровождает цель своей антенной. По данным этой

же РЛС может выбираться момент и начальное направление пуска ракеты, а также контролироваться процесс и результат самонаведения.

Активные системы характеризуются полной независимостью процесса самонаведения от наземной аппаратуры. Однако полуактивные системы, как правило, более выгодны в экономическом и энергетическом отношении. Действительно, во-первых, в полуактивных системах на ракете устанавливается и, следовательно, гибнет вместе с ней меньше аппаратуры (нет передатчика), чем в активных системах. Во-вторых, мощность и коэффициент направленного действия антенны передатчика наземной станции подсвета могут быть намного выше, чем для миниатюрной РЛС, находящейся на ракете. Поэтому дальность действия полуактивных систем больше, чем активных. Однако активные системы становятся энергетически более выгодными при малых расстояниях между ракетой и целью вследствие приближения к цели облучающего передатчика. Поэтому использование активных систем целесообразно, если самонаведение начинается на большом расстоянии от точки пуска ракет и малом расстоянии от ракеты до цели, т. е. на заключительном участке траектории ракеты.

3. Комбинированные системы управления

Сравнение систем телеуправления и самонаведения показывает, что каждый вид управления имеет свои достоинства и недостатки. Так, дальность действия систем телеуправления больше дальности действия даже систем полуактивного самонаведения потому, что чувствительность приемника наземной РЛС визирования цели всегда можно сделать выше чувствительности приемника на борту ракеты. Помехозащищенность систем телеуправления (особенно командного) выше, чем систем самонаведения: команды телеуправления кодируются, что затрудняет их разведку противником и создание эффективных прицельных помех (в частности, подделку команд), а приемная антенна бортовой аппаратуры ракеты направлена «назад», в сторону пункта управления, что ослабляет воздействие

помех, излучаемых от цели. При самонаведении возможность кодирования управляющих сигналов весьма ограничена, а приемная антенна аппаратуры самонаведения направлена «вперед», в сторону цели, что облегчает противнику создание помех, в частности ложных целей (приманок). Наконец, в системах телеуправления (особенно в системах наведения по радиолучу) аппаратура, находящаяся на борту ракеты, проще, чем в системах самонаведения (особенно активных). Однако точность телеуправления уменьшается с увеличением расстояния до цели (главным образом, из-за снижения точности автосопровождения цели и увеличения ошибок наведения). Точность же самонаведения возрастает с приближением ракеты к цели независимо от расстояния до цели от пункта управления. По этим причинам часто используются комбинированные системы управления, в которых преимущества разных систем управления дополняют друг друга.

Типичным сочетанием способов управления зенитными ракетами является: телеуправление на основном и самонаведение на заключительном участке траектории ракеты. Такая комбинация обеспечивает большую дальность управления, присущую телеуправлению, и высокую вероятность поражения цели, которая обеспечивается самонаведением. Хорошая помехозащищенность такой системы на основном участке траектории ракеты определяется помехозащищенностью системы телеуправления, а создание помех системе самонаведения затрудняется тем, что эта система включается лишь в непосредственной близости от цели.

Следует отметить, что сочетание телеуправления и самонаведения ведет к значительному усложнению аппаратуры на борту ракеты.

2.6.2 Основные принципы функционирования наземных средств ЗРК

2.6.2.1 Основные принципы функционирования ЗРК

Принцип функционирования комплекса С-125 представлен на Рис. 2.16.

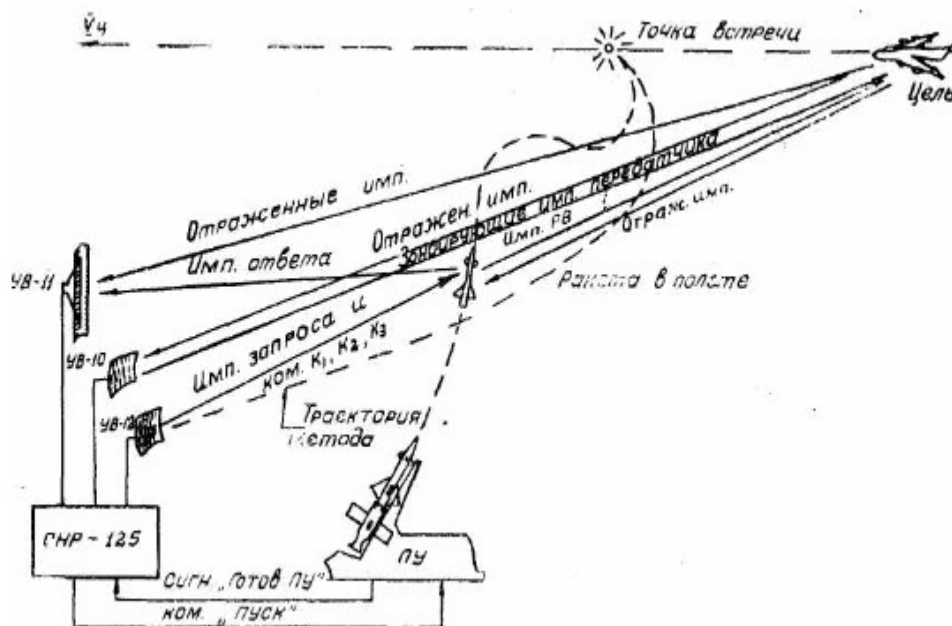


Рис. 2.16. Принцип функционирования комплекса С-125

Станция наведения ракет СНР-125 имеет четыре антенны: одну приемопередающую антенну УВ-10, две приемные антенны УВ-11 и одну антенну радиоправления УВ-12.

Приемо-передающая антенна УВ-10 питается передатчиком радиовизирования. СНР-125 с помощью приемо-передающей антенны УВ-10 производит обзор пространства в секторе по углу места и по азимуту. Индикация воздушной обстановки осуществляется с помощью индикатора кругового обзора, имеющего радиально круговую развертку, и индикатора наведения, на экране которого по горизонтали изображается угол места, а по вертикали — наклонная дальность.

Если в секторе обзора появится цель, то от нее произойдет отражение радиоволн. Отраженные от цели сигналы принимаются приемо-передающей антенной, формирующей узконаправленную диаграмму направленности игольчатого типа.

После обнаружения цели осуществляется режим наведения биссектрисы сектора обзора приемо-передающей антенны на цель. После

осуществления режима наведения цель передается в режим ручного или автоматического сопровождения. При этом сканирование (качение) луча приемно-передающей антенны выключается, а сканирование лучей приемных антенн УВ-11 включается.

Приемные антенны формируют лучи ножеобразной формы, ширина которых по половинной мощности равна: в плоскости сканирования 1° и в плоскости, перпендикулярной направлению сканирования, около 5° . Лучи приемных антенн сканируют поочередно в плоскостях, наклоненных к горизонту под углом 45° , что уменьшает влияние земли на формирование лучей и улучшает условия разделения сигналов, отраженных от целей, и сигналов, отраженных от земли и местных предметов.

В режиме сопровождения цели (РС или АС) игольчатый луч приемно-передающей антенны удерживается в направлении на цель. Отраженные от цели сигналы принимаются приемно-передающей и приемными антеннами. Сигналы, принятые приемно-передающей антенной, используются для определения дальности до цели, а сигналы, принятые приемными антеннами — для определения угловых координат в «косых» плоскостях.

Такая схема работы антенн в режиме сопровождения позволяет:

- избежать сильных отраженных сигналов от местных предметов, так как они могут облучаться лишь боковыми лепестками диаграммы направленности передающей антенны УВ-10;
- уменьшить искажения огибающей пачки сигналов, отраженных от цели и ответчиков ракет;
- иметь необходимый сектор обзора станции по каналу визирования ракет;
- увеличить потенциал станции по каналу визирования цели.

Отраженные сигналы от цели с выхода антенн поступают в приемную систему.

Сигналы, принятые приемно-передающей антенной, подаются в виде непрерывного ряда импульсов на вход антифедингового приемника. Сигналы,

принятые приемными антеннами, представляют собой пачки импульсов, повторяющих форму луча приемных антенн. Эти сигналы поступают на вход основных приемников.

В приемной системе отраженные сигналы преобразуются, усиливаются и далее поступают на индикаторное устройство и устройство определения координат цели.

Картина воздушной обстановки в режиме сопровождения цели отображается на экранах индикаторов наведения, ручного сопровождения и кругового обзора.

При сопровождении цели непрерывно определяются ее пространственные координаты в относительной системе координат: наклонная дальность r_c , угловые координаты Φ_1 и Φ_2 .

Для поражения цели необходимо, чтобы область встречи с нею ракет находилась на участках управляемого полета ракет, где обеспечивается высокая точность наведения. Эта область является частью зоны обзора станции и называется зоной поражения.

Для обеспечения встречи ракеты с целью в зоне поражения пуск ракеты производится во время нахождения цели в области пространства, называемой зоной пуска ракет.

В станции СНР-125 имеется автомат пуска, который решает задачу встречи и определяет дальнюю и ближнюю границы зоны поражения, а также упрежденную наклонную дальность до точки встречи ракеты с целью. Границы зоны поражения и упрежденная дальность изображаются на экране индикатора кругового обзора в виде концентрических окружностей. Кроме того, на экране ИКО изображается курсовая линия цели.

Указанные изображения дают возможность с помощью планшета, установленного у экрана ИКО, выбрать момент пуска ракеты.

При вхождении цели в зону пуска производится пуск ракеты. Вокруг станции СНР-125 на расстоянии примерно 70–100 м от антенного поста УНВ

располагаются четыре спаренные пусковые установки, связанные синхронно-следящими приводами с антенной системой. Эта связь обеспечивает встраивание ракеты в подвижный сектор сканирования СНР-125.

После старта ракета движется с помощью порохового ускорителя, который сбрасывается примерно на 2-й секунде. Примерно через 3 секунды ракета входит в облучаемый сектор. С помощью антенны радиопередачи УВ-12 излучаются импульсы запроса бортового ответчика ракеты. При этом производится периодический запуск ответчика ракеты во время ее облучения импульсами запроса. Ответные сигналы ракеты принимаются приемными антеннами УВ-11. Сигналы ответчика ракеты после преобразования и усиления приемным устройством поступают на индикаторы наведения и в устройство определения координат ракеты. При совмещении во времени сигналов ответчика с импульсами сопровождения ракеты (ждущими стробами) координатные блоки производят «захват» сигналов ракеты, и начинается ее автоматическое сопровождение.

Во время сопровождения ракеты определяются ее пространственные координаты, аналогичные координатам сопровождаемой цели.

Устройство выработки команд СНР-125 по данным разностей одноименных координат цели и наводимой на нее ракеты формирует команды управления.

Управление полетом ракеты осуществляется двумя командами (K1, K2) в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях.

С выхода устройства выработки команд, команды управления подаются в устройство передачи команд, где они кодируются и преобразуются в радиосигналы.

Устройство передачи команд с помощью антенны радиопередачи УВ-12 излучает команды радиопередачи по радиолинии связи на борт ракеты. Команды принимаются бортовой аппаратурой, усиливаются, дешифрируются и подаются на автопилот. Автопилот обрабатывает управляющие сигналы и,

воздействуя на рули, изменяет направление полета ракеты таким образом, чтобы отклонение ракеты от кинематической траектории свести к минимуму.

Управление ракетой начинается после автоматического захвата сигнала ответчика следящей системой устройства определения координат.

На первом этапе управляемого полета ракета выводится на траекторию метода, затем осуществляется процесс наведения. Процесс наведения заканчивается подрывом боевой части ракеты. Подрыв боевой части осуществляется радиолокационным взрывателем, который работает в импульсном режиме. Для подготовки радиовзрывателя к действию на ракету подается разовая команда дистанционного взведения радиовзрывателя.

Разовая команда дистанционного взведения радиовзрывателя вырабатывается в устройстве выработки команд, преобразуется устройством передачи команд и антенной УВ-12 излучается на борт ракеты.

В комплексе С-125 используется в зависимости от условий стрельбы два метода наведения: метод половинного спрямления траектории (метод упреждения) и метод трех точек (метод накрытия цели).

При этих методах наведения формирование команд управления (К1 и К2) полетом ракеты осуществляется на основании сигналов рассогласования $h_{\square}$ и $h_{\square}$, представляющих собой мгновенные значения линейного отклонения ракеты от траектории метода наведения в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Эти сигналы рассогласования вырабатываются в блоках устройства выработки команд по разностям одноименных координат цели и наводимой на нее ракеты: $\square r$, $\square \Phi 1$, $\square \Phi 2$.

Радиовзрыватель срабатывает в то время, когда расстояние (промах) между ракетой и целью не превышает 20 метров, и подрывает боевую часть ракеты, которая своими осколками поражает цель

2.6.2.2 Основные принципы функционирования СНР-125

Станция СНР-125 имеет два режима обзора пространства:

- $\square$ поиск и обнаружение цели;

- ☐ наведение директрисы сектора обзора и стробов дальности на цель;
- ☐ сопровождение цели (ручное, полуавтоматическое и автоматическое);
- ☐ пуск и автоматическое сопровождение ракеты.

Поиск и обнаружение цели

Обзор пространства производится в относительной системе координат (Рис. 2.17).

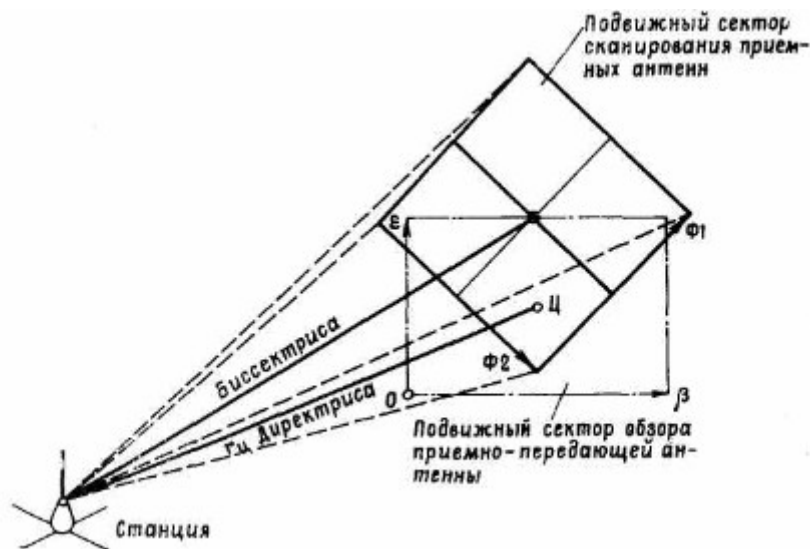


Рис. 2.17. Относительная система координат станции СНР-125

В режиме обнаружения и наведения обзор заданного сектора пространства производится круглым лучом (передающим лучом) шириной $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ по уровню половинной мощности. Луч разворачивается в секторе $10^\circ \times 20^\circ$ по углу места равномерным вращением облучателя растровой головки, а по азимуту — качанием антенной колонки по синусоидальному закону. Имеется возможность производить круговое вращение антенного поста по азимуту.

Привод антенного поста позволяет устанавливать антенную головку в пределах от минус 1 до 80° по углу места и в любое направление по азимуту. Угломестный и азимутальный приводы управляются операторами наведения или ручного сопровождения. В режиме автоматического сопровождения

привод может управляться координатными блоками станции. Управление приводом осуществляется из кабины УНК.

Передающее устройство, расположенное на антенном посту УНВ, вырабатывает короткие импульсы высокой частоты, которые излучаются антенной визирования цели. Часть энергии этих импульсов, отражаясь от цели, принимается приемно-передающей и приемными антеннами визирования цели и через переключатель приема — передачи поступает на входы приемных устройств. Здесь происходит преобразование сигнала цели в импульсы промежуточной частоты, которые предварительно усиливаются и выдаются в кабину УНК, где происходит их дальнейшее усиление. Усиленный сигнал цели промежуточной частоты подается на детектор непосредственно или через аппаратуру селекции движущихся целей.

С выхода детектора сигналы цели (видеоимпульсы) подаются на индикаторные и координатные блоки.

Оператор наведения производит поиск и обнаружение цели.

Поиск цели может быть трех видов.

1. *Круговой обзор.* Антенная колонка равномерно вращается по азимуту со скоростью 18 град/с. При этом происходит обзор пространства в пределах $\pm 5^\circ$ по углу места и 360° по азимуту.

2. *Секторный поиск.* Антенная колонка качается в заданном оператором наведения секторе. Сектор качания можно изменять в пределах от ± 10 до $\pm 1,5^\circ$. При этом происходит обзор пространства $\pm 5^\circ$ по углу места в пределах сектора качания по азимуту,

3. *Ручной поиск.* Направление антенной системы определяется положением штурвала □ блока оператора наведения. При этом может происходить обзор пространства в пределах $\pm 5^\circ$ по углу места и произвольный обзор (по усмотрению оператора наведения) по азимуту со скоростью, не превышающей 18 град/с.

Цель обнаруживают по индикатору кругового обзора и индикатору наведения.

В режиме обнаружения индикатор кругового обзора может иметь радиально-круговую или секторную развертку «азимут — дальность» в зависимости от режима поиска, а индикаторы наведения — развертки «угол места — дальность грубо» и «угол места — дальность точно».

Наведение директрисы сектора обзора и стробов дальности на цель

Оператор наведения, управляя азимутальным приводом, устанавливает заданный сектор, совмещает отметку цели с центром сектора развертки «азимут — дальность» индикатора кругового обзора при секторном поиске или добивается максимальной яркости отметки цели на индикаторах кругового обзора и наведения при ручном поиске.

Управляя угломестным приводом с помощью штурвала $\square$ и положением стробов по дальности с помощью штурвала Д, оператор наведения по индикаторам наведения с развертками «угол места — дальность грубо» и «угол места — дальность точно» наводит горизонтальную и вертикальную метки визирования на отметку цели. При этом вертикальная метка индикатора наведения и положение луча индикатора кругового обзора характеризуют положение директрисы сектора сканирования, а горизонтальная метка индикатора наведения — положение стробов дальности.

Совместив перекрестие меток визирования индикатора наведения с отметкой цели, оператор наведения останавливает сканирование передающего луча по углу места и азимуту (луч останавливается на директрисе сектора обзора) и передает управление положением сектора сканирования приемных антенн и стробами дальности операторам ручного сопровождения (режим РС) или на координатные блоки (режим АС).

В режиме сопровождения цель облучается передающим несканирующим лучом. Отраженные сигналы цели принимаются передающей

и двумя приемными антеннами. Сигналы ответчика ракеты принимаются теми же двумя приемными антеннами.

Максимумы диаграмм направленности приемных антенн в плоскости вектора электрического поля (в широкой плоскости) смещены относительно биссектрисы сектора сканирования приемных антенн на некоторый угол в сторону директрисы визирования.

Директрисой визирования называется прямая линия, смещенная в вертикальной плоскости на угол α ниже биссектрисы сектора сканирования приемных антенн. На этой прямой останавливается луч приемно-передающей антенны в режиме сопровождения цели.

При остановке сканирования передающего луча или при переходе в тот или другой режим сопровождения запуск угловых разверток индикаторов наведения переводится на импульсы от датчиков приемных антенн.

При ручном сопровождении каждый оператор РС сопровождает цель по одной угловой координате с помощью индикаторов, имеющих увеличенный масштаб $3,5^\circ$ по угловым координатам плоскостей $\Phi 1$ и $\Phi 2$. Угловые развертки операторов РС по угловым координатам запускаются импульсами датчиков приемных антенн. Оператор наведения при ручном сопровождении цели выполняет функции оператора ручного сопровождения цели по дальности.

При наведении, ручном и автоматическом сопровождении цели координатные блоки (кабина УНК.) вырабатывают импульсы, к которым жестко привязаны метки визирования цели (вертикальные метки) на индикаторах. Расположение этих импульсов (импульсов УОК.) относительно опорных импульсов, связанных с подвижным сектором обзора приемных антенн, характеризует координаты цели в относительной системе координат, которая показана на Рис. 2.17.

Сопровождение цели

Из режима РС цель может быть передана на автоматическое сопровождение, для чего, совместив метки визирования с отметкой цели, операторы РС включают автоматическое сопровождение цели. При этом импульсы УОК отключаются от органов ручного сопровождения и подключаются к следящим системам координатных блоков, которые осуществляют точное автоматическое сопровождение по координатам r_c , Φ_{1c} , Φ_{2c} . Однако в этом режиме и при включенном автоматическом сопровождении цели управление положением директрисы сектора сканирования производится операторами ручного сопровождения по Φ_1 и Φ_2 . Они удерживают цель вместе с метками визирования на директрисе сектора сканирования, т. е. в луче.

В режиме полного автоматического сопровождения приводы управляются координатными блоками станции. При наличии пассивных помех и отражений от местных предметов оператор наведения вводит в действие аппаратуру селекции движущихся целей, с помощью которой устраняется маскирующее действие помех и отражений от местных предметов.

В станции предусмотрен режим малых высот (МВ), служащий для уменьшения влияния «зеркального» сигнала на сопровождение низколетящей цели.

В режиме МВ производятся:

- ☐ установка антенной системы по углу места на постоянный угол 1° (угловые координатные блоки в режиме АС, привод по азимуту в режиме АС);
- ☐ бланкирование зеркальных сигналов по каналам цели и ракеты;
- ☐ введение угловых «сторожевых» стробов по каналу цели.

После пересечения целью линии визирования цели (директрисы) срабатывает схема сравнения и подготавливает цепи коммутации для управления угломестным приводом с помощью штурвала РС Φ_1 .

Для устранения активной помехи производится скачкообразная перестройка рабочих частот канала визирования цели. В связи с тем, что рабочая частота для плоскостей $\Phi 1$ и $\Phi 2$ одинакова, то и перестройка для этих каналов производится одновременно. Перестройка может быть по усмотрению оператора наведения как ручная, так и автоматическая. Если при работе по самолету — постановщику активной шумовой помехи перестройка частоты не приводит к желаемому результату, то оператор наведения включает схему сглаживания шумовой помехи, которая позволяет производить точное сопровождение цели по угловым координатам как вручную (РС), так и автоматически (АС).

Пуск и автоматическое сопровождение ракеты

Прибор пуска выдает разрешение пуска, сигнализирующее о возможности произвести пуск в данный момент.

Оператор наведения для определения момента пуска руководствуется информацией о текущих координатах цели по шкалам привода текущих координат (блок УК61), по индикаторам наведения (блок УК32), индикатору прибора пуска (блок УК31М), а также по приборам на пульте оператора наведения (блок УК62).

Закончив указанные операции, оператор наведения производит выбор метода наведения ракеты на цель.

Оператор наведения может произвести пуск двух ракет с интервалом между пусками, который определяется временем от момента пуска до момента захвата пущенной ракеты. При стрельбе залпом оператор наведения осуществляет пуск ракеты одного из каналов, пуск второй ракеты происходит автоматически по сигналу захвата первой.

Захват и наведение ракет осуществляется в автоматическом режиме.

2.6.3 Основные принципы функционирования ЗУР

Режимы подготовки ракеты

В процессе предстартовой подготовки снаряженной ракеты, находящейся на пусковой установке, ее бортовая аппаратура может находиться в одном из следующих режимов, которые обеспечиваются наземной автоматикой и пультом предстартовой подготовки:

- ☐ режиме длительного ожидания;
- ☐ дежурном режиме;
- ☐ боевом режиме.

Указанные режимы характеризуют степень готовности ракеты к боевому применению и различаются по количеству цепей бортовой аппаратуры, находящихся под напряжением. Наличие дежурного режима обеспечивает в боевой обстановке ускоренную подготовку ракеты к пуску, позволяя в то же время умеренно расходовать ресурс работы бортовой аппаратуры.

Время нахождения ракеты в режиме длительного ожидания не ограничивается. Время ее нахождения в дежурном режиме ограничено ресурсом работы бортовой аппаратуры в режиме неполного включения, который составляет около 200 ч. Нахождение ракеты в боевом режиме допускается в течение не более 25 мин, после чего ракета подлежит переводу в режим длительного ожидания на время 20 мин.

При переводе ракеты из режима длительного ожидания в дежурный режим первые 1,5 мин длится выход аппаратуры в новый режим. После этого в продолжение остального времени дежурного режима ракета находится в режиме готовности № 2. При переводе ракеты из режима готовности № 2 в боевой режим бортовая аппаратура выходит на режим за 30 сек, после которых ракета находится в режиме готовности № 1, позволяющем произвести ее немедленный пуск. Таким образом, для подготовки к пуску ракеты из режима длительного ожидания требуется не менее 2 мин, из режима готовности № 2 - 30 сек, из режима готовности № 1 пуск может быть произведен немедленно.

Режим длительного ожидания

В режиме длительного ожидания на ракету от наземных устройств подается напряжение 26 В для контроля цепи безопасности и для обогрева батареи. Прохождение тока по цепи безопасности свидетельствует об исправности предохранительно-исполнительного механизма радиовзрывателя (о наличии всех ступеней предохранения). В случае разрыва цепи безопасности автоматически выдается сигнал неисправности ракеты.

Контролируется цепь безопасности непрерывно до пуска ракеты. Если температура окружающего воздуха ниже $+5^{\circ}\text{C}$, то батарея обогревается на всех режимах подготовки; в этом случае температура батареи регулируется в пределах от плюс 5 до 30°C установленными в ней тепловыми реле, по сигналам которых размыкается или замыкается цепь обогрева.

Дежурный режим

В дежурном режиме на накалы ламп радиовзрывателя подается напряжение 3,15В (половина напряжения накала); одновременно на радиовзрыватель подается напряжение 26В для запирающей исполнительной схемы, обеспечивающей инициирование электродетонатора ПИМ. Это предупреждает ее случайное срабатывание.

В аппаратуру радиоуправления подается напряжение 6,3В на накалы подмодуляторной лампы и магнетрона ответчика, требующие длительного прогрева порядка 1,5 мин.

Боевой режим

В боевой режим ракета переводится спустя не менее 1,5 мин: после включения дежурного режима. При этом на все лампы радиоаппаратуры управления и радиовзрывателя подается напряжение накала, включаются накал и анодное напряжение автопилота.

На гироскопы автопилота подается напряжение $3 \times 36\text{В}$.

Через 30 с боевого режима на пульте предстартовой подготовки загорается табло ГОТОВНОСТЬ № 1 и под кнопку ПУСК подается

напряжение +26В. К этому моменту автопилот выходит на режим, а аппаратура радиоуправления и радиовзрыватель подготовлены к быстрому выходу на режим (не поданы только анодные напряжения). Если пуск ракеты не будет произведен сразу же после загорания табло ГОТОВНОСТЬ № 1, боевой режим автоматически продолжается и может длиться 25 мин. По истечении этого времени наземная аппаратура автоматически переводит ракету в режим длительного ожидания. В случае надобности возвращение аппаратуры ракеты из боевого режима в режим длительного ожидания может быть произведено вручную оператором.

Предпусковая подготовка и пуск ракеты

Пуск ракеты производится только из боевого режима нажатием кнопки ПУСК. При этом производятся автоматическая подготовка ракеты и контроль предпусковых операций; цепь пуска замыкается только в случае их выполнения.

После нажатия кнопки ПУСК при исправной цепи безопасности радиовзрывателя на борту ракеты выполняются следующие операции.

Напряжение 26В подается на пирозаряды воздушно-арматурного блока. Воздух заполняет систему трубопроводов и поступает на рулевые машины и в ампульную батарею. Электролит из герметичных ампул выдавливается в электроды. Батарея выходит на режим и выдает напряжение 26В. От напряжения батареи запускается и выходит на режим бортовой преобразователь. Когда напряжение преобразователя станет равно 90В, аппаратура ракеты переключается на бортовые источники питания. Одновременно включается анодное напряжение радиовзрывателя и разарретируется свободный гироскоп автопилота. При разарретировании гироскопа замыкаются блок-контакты, через которые напряжение 26В подготавливает цепь включения часового механизма ПИМ (снимается первая ступень предохранения) и цепь пиропатронов-маршевого двигателя. Одновременно с этими операциями выдается сигнал готовности к пуску, по

которому напряжение 26В подается на пиропатроны стартового двигателя. Двигатель запускается, и ракета сходит с луковой установки. В момент схода автопилот переводится в режим «интеграл» и включается анодное напряжение на блок аппаратуры радиоуправления. Все пусковые операции с момента нажатия кнопки ПУСК до схода ракеты с пусковой установки совершаются за время 0,5—1 с.

При сходе ракеты с пусковой установки пересекается стяжная проволока, удерживающая стабилизаторы в сложенном положении. Под действием инерционных сил стабилизаторы «раскрываются» — разворачиваются относительно шарнирной точки крепления. Скорость раскрытия ограничивается гидравлическими демпферами, удар при полном раскрытии смягчается сминаемым алюминиевым штырем. Раскрытие стабилизаторов происходит за время не более 0,25 с.

Работа бортовой аппаратуры в полете

На стартовом участке траектории вход автопилота отключен от выхода блока радиоуправления и на него подается фиксированная нулевая команда (постоянное напряжение 13В с делителя напряжения). В течение времени от пуска ракеты до сброса ускорителя автопилот стабилизирует ракету относительно неподвижной системы координат, т. е. поддерживает ее неизменное положение по крену и по направлению выстрела, улучшая «встреливание» ракеты в луч станции наведения.

При сходе ракеты с пусковой установки и нарастании ускорения срабатывает инерционный замыкатель предохранительно-исполнительного механизма (снимается вторая ступень предохранения). Через замкнутые им контакты подрывается электрозапал, запускающий часовой механизм ПИМ. С этого момента начинается отсчет времени полета ракеты.

На стартовом участке полета на вход блока визирования бортовой аппаратуры радиоуправления начинают поступать импульсы запроса с наземной станции; передатчик блока визирования посылает на землю

ответные импульсы. Таким образом, ракета передает на землю данные о своем положении в пространстве до сброса ускорителя.

В конце работы ускорителя, когда падает тяга стартового двигателя и уменьшается продольное ускорение ракеты, срабатывает сигнализатор перегрузки. При этом в цепь пиропатронов маршевого двигателя подается напряжение 26 в, происходит переключение автопилота из режима «интеграл» в режим «масштаб», вход автопилота подключается к выходу аппаратуры радиоуправления. Одновременно подается команда на включение модулятора передатчика радиовзрывателя. Чтобы скрыть работу радиовзрывателя до подхода к цели, модулятор передатчика работает на эквивалент. При этом приемник радиовзрывателя закрыт, что исключает его срабатывание от активной помехи и других непредусмотренных причин. В конце работы ускорителя снимается также третья ступень предохранения ПИМ (от напряжения 26В в предохранительно-исполнительном механизме срабатывает электрозапал, обеспечивающий совмещение осей передаточного заряда и электродетонатора; после этого при инициировании электродетонатора срабатывает вся детонационная цепь ПИМ).

От напряжения 26В пиропатроны маршевого двигателя срабатывают, двигатель запускается и происходит быстрое отделение второй ступени ракеты от ускорителя. В случае несрабатывания сигнализатора перегрузки ускоритель начнет отделяться до запуска маршевого двигателя, так как его аэродинамическое сопротивление больше по сравнению с аэродинамическим сопротивлением второй ступени ракеты. При этом запуск маршевого двигателя и выполнение других перечисленных выше операций обеспечиваются концевым выключателем, который подсоединен параллельно контактам сигнализатора перегрузки и замыкается в начале отделения ускорителя.

На маршевом участке полета на приемную антенну аппаратуры радиоуправления непрерывно поступают высокочастотные сигналы команд и

импульсы запроса наземной станции наведения. Импульсы запроса запускают передатчик блока радиовизирования, который через передающую антенну бортовой аппаратуры радиоуправления на землю передает импульсы ответа. Сигналы команд преобразуются в постоянные напряжения, пропорциональные требуемому углу отклонения рулей. Эти напряжения через автопилот воздействуют на рули, отклоняя их в нужном направлении.

В случае пропадания импульсов запроса в бортовой аппаратуре радиоуправления срабатывает схема «обнуления» и на автопилот поступают нулевые команды. При появлении импульсов запроса восстанавливается нормальная работа радиолинии управления.

Вблизи цели по радиолинии с земли подается команда дальнего взведения радиовзрывателя. Эта команда через бортовую аппаратуру радиоуправления поступает в радиовзрыватель, обеспечивая переключение модулятора передатчика с эквивалента на высокочастотный генератор и открытие приемника. Когда облучаемая радиовзрывателем цель попадает в зону пространства в пределах диаграммы направленности приемных антенн радиовзрывателя, высокочастотные импульсы передатчика, отраженные от цели, попадают на приемные антенны и поступают в приемник радиовзрывателя. Принятые импульсы накапливаются до определенного уровня и открывают исполнительную схему радиовзрывателя.

Время накопления отраженных импульсов, называемое временем задержки и равное нескольким миллисекундам, получено соответствующим подбором параметров исполнительной схемы и наряду с формой диаграммы направленности приемных антенн радиовзрывателя обеспечивает оптимальное согласование радиовзрывателя с боевой частью. После начала накопления импульсов за время дальнего взведения ракета успевает пролететь такое расстояние и занять такое положение относительно цели, что при подрыве боевой части обеспечивается наилучшее накрытие цели осколками.

При отпирании исполнительной схемы радиовзрыватель выдает импульс постоянного тока на электродетонатор ПИМ, который через передаточный заряд и шашку-детонатор подрывает боевую часть.

Если встреча с целью не произошла, то часовой механизм ПИМ инициирует электродетонатор на $T_{\text{пол}_{\text{max}} \pm 2}$ с полета, после чего происходит самоликвидация ракеты ($T_{\text{пол}_{\text{max}}}$ – максимальное время полета ракеты определенной модификации).

2.7 Анализ особенностей принципов построения и функционирования модификаций ЗРК типа С-125, поставляемых на экспорт (ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А»)

2.7.1 Анализ особенностей принципов построения и функционирования ЗРК «Печора-2М»

Модернизированный зенитный ракетный комплекс «Печора-2» с зенитной управляемой ракетой 5В27Д (5В27ДЕ) - «Печора-2М» предназначен для борьбы с низколетящими и другими типами целей, в том числе выполненными по технологии «Стелс», в простой и сложной помеховой обстановке.

Основным элементам комплекса «Печора-2М» присвоены индексы:

- ☐ станция наведения ракет СНР-125-2М;
- ☐ антенный пост УНВ-2М;
- ☐ аппаратная кабина УНК-2М;
- ☐ пусковая установка (ПУ) 5П73-2М - для самоходного варианта;

Модернизация ЗРК «Печора» проводится путем доработки по бюллетеням средств, входящих в его состав (антенного поста УНВ, пусковой установки 5П73) и замены аппаратной кабины УНК (М) на вновь разрабатываемую кабину управления УНК-2М.

В состав модернизированного зенитного ракетного комплекса «Печора-2М» входят:

- ☐ модернизированная станция наведения ракет СНР-125-2М;

- ☐ ракетная батарея СМ-РБ-125-2М;

Станция наведения ракет СНР -125-2М состоит из модернизированного антенного поста УНВ-2М и модернизированной аппаратной кабины УНК-2М.

В модернизированной радиолокационной станции наведения ракет СНР-125-2М предусматривается возможность подключения к одной модернизированной аппаратной кабине двух модернизированных антенных постов.

Модернизацию экспортного варианта зенитного ракетного комплекса (ЗРК) «Печора» и его модификаций, проводимую с целью улучшения его тактико-технических и эксплуатационных, условно можно представить двумя этапами.

Осуществляемый в настоящее время первый этап разработки модернизированного ЗРК малой дальности «Печора-2М» включает перечень работ, выполняемых согласно Техническому заданию, утвержденному Главнокомандующим Военно-воздушными силами 5 января 2000г., кооперацией разработчиков (заказчик - ОАО «Оборонительные системы», головной разработчик – АООТ «КБ «Кунцево») по следующим направлениям:

- ☐ повышение надежности работы и восстановление ресурса комплекса путем перевода большей части аппаратуры на современную элементную базу;
- ☐ расширение зоны поражения в обычной и сложной помеховой обстановке;
- ☐ автоматизация контроля технического состояния комплекса;
- ☐ повышение мобильности средств комплекса путем установки основных средств комплекса на автомобильные шасси (в самоходном варианте);
- ☐ более удобное обслуживания средств комплекса, сокращение объема и времени работ по техническому обслуживанию средств комплекса, сокращение количества обслуживающего персонала;

- ☐ улучшение возможностей по обеспечению запасными частями в течение длительного периода времени;
- ☐ повышение скрытности работы комплекса путем введения новой телеоптической системы (день/ночь);
- ☐ уменьшение количества межкабинных соединений, переход на систему телекодовой связи;
- ☐ организация цифрового обмена информацией со средствами целеуказания и вышестоящими командными пунктами;
- ☐ сокращение времени развертывания (свертывания) ЗРК.

На первом этапе подвергается также модернизации зенитная управляемая ракета 5В27Д с целью улучшения ее летно-технических характеристик и повышения эффективности стрельбы (индекс модернизированной ЗУР – 5В27ДЕ) и вновь создается комплекс радиотехнической защиты (КРТЗ) с целью защиты СНР от ударов противорадиолокационных ракет типа «Харм».

Проведение второго этапа модернизации планируется после завершения работ первого этапа и имеет целью дальнейшее наращивание боевых возможностей модернизированного ЗРК «Печора-2М» за счет внедрения новых технических решений, также повышения его живучести в условиях применения противником современных и перспективных средств разведки и ВТО путем реализации мобильных свойств комплекса в сочетании с использованием специальных средств маскировки и имитации.

Первым этапом модернизации ЗРК «Печора-2М» предусматривается доработка радиолокационной станции наведения ракет СНР-125-2М и ракетной батареи СМ-РБ-125-2М.

Модернизация станции наведения ракет предусматривает на антенном посту (УНВ) замену:

входного приемного устройства (шкафа УВ-40М), выполненного на ламповых приборах, на СВЧ- модуль, выполненный по твердотельной технологии;

телевизионной оптической аппаратуры 9ШЗ8-1, на электронно-оптическую систему (день/ночь), обеспечивающую автосопровождение цели; механизма подъема антенны гидравлическим механизмом;

системы управления приводом антенной системы, выполненной на ламповых приборах, на аппаратуру, выполненную на новой современной элементной базе.

Кроме того, на антенном посту предусмотрено введение выполненных на современной элементной базе:

- приемного устройства канала обнаружения и сопровождения целей;
- приемного устройства канала захвата и сопровождения ракет;
- устройства сопровождения и определения координат цели и ракет;
- устройства выработки команд управления ракетами;
- передатчика команд управления ракетами и запроса ракет;
- синхронизатора станции;
- цифровой системы селекции движущихся целей;
- аппаратуры защиты от специальных видов помех;
- аппаратуры автокомпенсатора активных шумовых помех прикрития по боковым лепесткам диаграммы направленности антенн УВ-10, УВ-11;
- аппаратуры телекодировой связи для обмена информацией с модернизированной аппаратной кабиной комплекса;
- аппаратуры функционального контроля;
- устройства определения дальности до цели (лазерный дальномер);
- средств автономного электроснабжения (для УНВ-2М).

На антенном посту модернизации не подвергаются:

- аппаратура радиопередающего устройства;
- антенная система;
- токосъемник;
- исполнительные элементы привода.

Первый этап модернизации предусматривает введение в состав модернизированной радиолокационной станции новой аппаратной кабины на базе кузова-контейнера КК.6 с новой аппаратурой в составе:

автоматизированного рабочего места командира зенитного ракетного дивизиона;

автоматизированного рабочего места офицера пуска;

автоматизированного рабочего места офицера наведения;

аппаратуры телекодовой связи для обмена информацией с модернизированным антенным постом, модернизированными пусковыми установками, средствами обнаружения и целеуказания, вышестоящим КП;

аппаратуры тренировки операторов;

системы жизнеобеспечения;

комплекта ЗИП-0 и ЗИП-1;

средств автономного электроснабжения.

При подключении к одной модернизированной аппаратной кабине двух модернизированных антенных постов она дополнительно оборудуется автоматизированным рабочим местом офицера наведения.

Модернизация ракетной батареи предусматривает:

оснащение пусковых установок 5П73 устройствами подготовки и обеспечения старта ЗУР на новой элементной базе;

оснащение пусковых установок 5П73 цифровыми каналами обмена информации с координатно-вычислительной кабиной УНК;

установку модернизированных пусковых установок 5П73 под две ЗУР типа 5В27Д на колесные шасси повышенной проходимости;

оснащение пусковых установок 5П73 автономными средствами электроснабжения.

Модернизация пусковой установки 5П73 в самоходном и контейнерном варианте предусматривает введение в состав модернизированной пусковой

установки следующих средств, выполненных на современной элементной базе:

- цифровой аппаратуры стартовой автоматики;
- аппаратуры телекодовой связи для обмена информацией с модернизированной аппаратной кабиной комплекса;
- аппаратуры функционального контроля;
- процессора управления приводом пусковой установки.

Модернизации на пусковой установке не подвергаются: токосъемник; исполнительные элементы привода управления пусковой установки; вторичные источники электропитания ЗУР.

Модернизированная самоходная пусковая установка 5П73-2М размещается на автомобильном шасси с автономным источником электроснабжения. При модернизации пусковой установки 5П73 для самоходного варианта исключаются две направляющие балки.

Самоходная пусковая установка 5П73-2М обеспечивает транспортирование ЗУР.

Модернизация зенитной управляемой ракеты 5В27Д предусматривает:

- ☐ модернизацию стартового ускорителя ЗУР;
- ☐ модернизацию боевой части ЗУР;
- ☐ модернизацию радиовзрывателя ЗУР.

Модернизация ЗУР 5В27Д производится по отдельному техническому заданию. Индекс модернизированной ЗУР - 5В27ДЕ.

Управление средствами модернизированного ЗРК «Печора-2» проводится из модернизированной кабины управления (УНК-2М).

Кабина управления УНК-2М обеспечивает:

сигнализацию готовности средств ЗРК к централизованному включению и режимов работы ЗРК;

централизованное включение и выключение средств модернизированного ЗРК;

сигнализацию централизованного включения и выключения средств модернизированного ЗРК;

перевод ЗРК из режима ожидания в режим боевой работы и обратно;

выбор и индикацию синхронизации с любой из 8-ми модернизированных пусковых установок;

сигнализацию исполнения команд подготовки ракет и нахождения линии стрельбы пусковых установок в секторах запрета;

управление подготовкой и стартом ракет;

контроль наведения ракет и результатов стрельбы.

В состав средств модернизированного ЗРК «Печора-2» будут входить телекодовые и речевые средства связи. Линии связи должны обеспечивать передачу тревожной сигнализации, оперативно-командной и технологической информации. Между средствами модернизированного ЗРК должны быть предусмотрена связь по радио (беспроводная) и проводная (кабельная).

В модернизированном ЗРК «Печора-2» предусматривается принятие мер защиты от организованных помех. Радиолокационные и оптические средства ЗРК «Печора-2» будут обеспечивать обнаружение и поражение средств воздушного нападения противника в условиях воздействия активных и пассивных помех прикрития и самоприкрития.

В модернизированном ЗРК «Печора-2» предусматриваются технические меры повышения помехозащищенности, в т.ч., за счет введения автокомпенсаторов активных помех, действующих по боковым лепесткам, цифровой системы селекции движущихся целей и аппаратуры защиты от специальных видов помех.

В модернизированном ЗРК будет предусмотрена возможность использования средств радиотехнической защиты от противорадиолокационных снарядов.

Отличительной особенностью ЗРК «Печора-2М» является наличие в нем двух антенных постов. Это техническое решение позволит обеспечить

сопровождение до двух целей и до четырех ракет одновременно. Кроме того, появится возможность обеспечения измерения дальности до постановщика активных шумовых помех, который сопровождается двумя антенными постами по угловым координатам. Определение дальности до ПАП может производиться методом триангуляции.

Пути модернизации ОЭС ЗРК «Печора-2М»:

- ☐ использование ОЭС, как независимого канала сопровождения целей.
- ☐ обстрел групповых целей по данным оптического канала.
- ☐ повышение точности сопровождения ракеты на конечном участке полёта.
- ☐ использование в составе ЗРК тепловизионной станции обнаружения целей, работающей в дальнем ИК диапазоне.

2.7.2 Анализ особенностей принципов построения и функционирования ЗРК «Печора-2А»

Модернизация ЗРК «Печора», проводимая ОАО «ЦКБ «Алмаз», направлена на продление сроков эксплуатации, повышение эксплуатационных и тактико-технических характеристик модернизированного ЗРК С-125М1 «Печора» на основе замены аналоговой аппаратуры на цифровую.

Наименование модернизированного образца - ЗРК С-125М2А («Печора-2А»)

Модернизация ЗРК «Печора» проводится путем модернизации радиолокационной станции наведения ракет (СНР) и зенитной управляемой ракеты (ЗУР) 5В27Д.

Модернизированный зенитный ракетный комплекс «Печора-2А» с модернизированной зенитной управляемой ракетой 5В27Е предназначен для борьбы с низколетящими целями и массовыми современными и

перспективными средствами воздушного нападения, в том числе выполненными по технологии «Стелс», в различной помеховой обстановке, в любое время суток, в различных климатических и метеорологических условиях.

Модернизация СНР проводится в направлениях:

- ☐ продления сроков эксплуатации;
- ☐ улучшения эксплуатационных характеристик системы, в том числе:
- ☐ совершенствования аппаратуры тренировки боевого расчета
- ☐ частичной автоматизации процесса работы боевого расчета;
- ☐ повышения надежности;
- ☐ уменьшения объема регламентных работ;
- ☐ уменьшения потребления электроэнергии;
- ☐ расширения зоны поражения за счет модернизации методов наведения ракеты
- ☐ повышения точности наведения ракеты и вероятности поражения цели, в том числе на малых высотах;
- ☐ повышения возможностей по обнаружению и сопровождению целей в условиях интенсивных пассивных помех и отражений от подстилающей поверхности;
- ☐ повышения возможностей по обнаружению и сопровождению целей в условиях применения интенсивных активных помех;
- ☐ введения автоматического захвата и сопровождения цели в ТВ канале;

На этапе эскизного проектирования прорабатывается возможность дальнейшей модернизации ЗРК «Печора» по следующим направлениям:

- ☐ улучшения эксплуатационных характеристик ЗРК за счет замены электровакуумных приборов СВЧ (ЛБВ и др.), главных усилителей сигналов цели и ракеты на твердотельные, а также замены других комплектующих (реле, разъемов, ЭВП и т.д.);

- ☐ дальнейшего совершенствования методов наведения ракеты и обзора пространства.
- ☐ повышения живучести боевого расчета ЗРК за счет введения выносного рабочего места (пульта) с дистанционным управлением средствами ЗРК;
- ☐ повышения живучести ЗРК за счет снижения фона диаграммы направленности антенны СНР и демаскирующих признаков в ИК и видимом диапазонах световых волн;
- ☐ объединения с ЗРК С-300П различных модификаций и ЗРК «Волга» в единый комплекс с целью повышения помехозащищенности и взаимного прикрытия;
- ☐ повышения характеристик комплекса в условиях применения интенсивных активных помех и ППР за счет введения лазерного дальномера, дневного и ночного TV-канала и/или тепловизора для обнаружения и сопровождения целей в ночных условиях;
- ☐ повышения мобильности системы за счет сокращения кабельных связей и размещения средств ЗРК на перевозимых (буксируемых) платформах;
- ☐ введения модернизированной ЗУР 5В27Е;
- ☐ более глубокой последовательной модернизации оставшейся аппаратуры СНР и введения новой ракеты.

Модернизация зенитной управляемой ракеты 5В27Д (по отдельному ТТЗ) проводится с целью:

- ☐ продления сроков ее эксплуатации;
- ☐ улучшения летно-технических характеристик;
- ☐ повышения эффективности поражения целей.

Состав ЗРК «Печора-2А»

В состав ЗРК «Печора-2А» входят:

- ☐ модернизированная радиолокационная станция наведения ракет СНР-125М2А в составе:
 - о антенного поста УНВ;
 - о модернизированной аппаратной кабины УНК-М2;
- ☐ ракетная батарея в составе:
- ☐ до 4-х пусковых установок 5П73П;
- ☐ до 8-ми транспортно-заряжающих машин ПР-14АМ;
- ☐ система электроснабжения (электростанция 5Е96А и распределительно-преобразовательная кабина РКУ-Н).

ЗРК «Печора-2А» создается на базе ЗРК «Печора» путем его доработки по бюллетеню. Доработке подвергается входящая в состав СНР кабина УНК-М1. Наименование модернизированной кабины - УНК-М2

Доработка кабины УНК-М1 осуществляется путем:

а) замены аналоговой аппаратуры:

- ☐ устройства определения координат цели и ракет (УОК),
- ☐ устройства выработки команд (УВК),
- ☐ прибора пуска (ПП),
- ☐ синхронизатора станции, тренажера (ТР),
- ☐ вычитающих устройств СДЦ,
- ☐ системы управления положением антенны (СУПА),
- ☐ устройства управления и индикации СНР,
- ☐ аппаратуры функционального контроля (АФК)

на цифровую аппаратуру;

б) доработки аппаратуры, обеспечивающей режим малых высот (МВ);

в) дооснащения кабины УНК-М1 цифровыми устройствами:

- ☐ когерентного накопления радиолокационного сигнала (КН),
- ☐ прибором определения координат цели в ТВ канале (ПОК),
- ☐ спецвычислителями (СВ),

- аппаратурой внутриванционных измерений (ВСИ) и документирования (АД);

ЗРК «Печора-2А» будет обеспечивать автоматический (или по команде оператора) захват и автоматическое сопровождение цели телевизионно-оптическим каналом.

ЗРК «Печора-2А» будет иметь ошибки сопровождения НЛЦ в условиях зеркальных отражений от подстилающей поверхности меньше, чем ЗРК «Печора». Ошибки сопровождения целей для этих условий уточняются в ходе испытаний.

На этапе эскизного проектирования прорабатываются предложения по снижению систематических и флюктуационных ошибок автоматического сопровождения цели и ракет, в том числе на фоне отражений от местных предметов и пассивных помех, а также НЛЦ в условиях зеркальных отражений от подстилающей поверхности.

Ошибки сопровождения цели в режиме TV модернизированного ЗРК «Печора-2А» по сравнению с ЗРК «Печора» будут уменьшены.

В ЗРК «Печора-2А» предполагается повышенный уровень автоматизации процессов боевой работы боевого расчета, в том числе за счет улучшения отображения боевой информации.

На средствах модернизированного ЗРК будут предусмотрены меры по ликвидации ракет в аварийных ситуациях (при «незахвате» ракеты или потере управления ракетой), а также при «неподрыве» боевой части у цели с учетом безопасности наземных объектов.

В модернизированной станции наведения ракет ЗРК «Печора-2А» предусматривается система внутриванционных измерений (ВСИ) и обеспечена возможность их документирования.

Комплекс средств ВСИ и документирования будет обеспечивать воспроизведение записанной информации, а также получение в любой момент времени необходимой экспресс - информации.

Прибор пуска модернизированной станции наведения ракет будет обеспечивать автоматическую выработку следующей информации:

- ☐ формуляра цели ($\square, \square, R, H, V, P$);
- ☐ параметров зоны поражения ($R_d, R_b, R_g, R_{дг}, R_{бг}$);
- ☐ текущей дальности до точки встречи ракеты ($R_v, R_{вг}$) с целью после захвата цели на сопровождение за время не более 2 - 2,5 с.

В модернизированном ЗРК «Печора-2А» будут приняты меры защиты от следующих видов помех:

- активных помех:

- ☐ непрерывной шумовой (прицельной, заградительной, скользящей, прерывистой);
- ☐ ответной шумовой узкополосной и широкополосной;
- ☐ ответной импульсной многократной;
- ☐ ответной импульсной однократной (уводящей по дальности, скорости и угловым координатам);
- ☐ хаотической импульсной;
- ☐ дезинформирующей.

- пассивных помех.

3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ЗРК ТИПА С-125

3.1 Анализ особенностей боевого применения ЗРК типа С-125

Для оценки эффективности боевого применения различных модификаций ЗРК типа С-125 путем проведения имитационного моделирования требуется знание не только основных ТТХ и принципов функционирования ЗРК, но также и знание о тактике ведения боя.

В этой области предполагалось, что основной тактико-огневой единицей системы типа С-125 является зенитный ракетный дивизион, способный вести самостоятельные боевые действия.

На вооружении дивизиона имеются перевозимый зенитный ракетный комплекс (ЗРК) типа С-125 и средства разведки и целеуказания (СРЦ).

Зенитный ракетный дивизион С-125 разворачивается на стартовой позиции, которая не требует специальных инженерных сооружений и площадок с твердым покрытием.

Подготовка позиции состоит в выравнивании площадок, подготовке подъездных путей, устройстве укрытий и т. д. Участок местности, предназначенный для размещения дивизиона С-125, не должен содержать естественных препятствий и строений. Угол закрытия стартовой позиции должен быть не более 1° .

В центре стартовой позиции компактно размещаются кабины УНК антенный пост УНВ, кабины УНС и УНД.

На расстоянии 70 ± 10 м от антенного поста УНВ располагаются пусковые установки.

Имеется два основных варианта расположения пусковых установок относительно СНР-125: веерный и равномерно по окружности.

Веерный вариант расположения ПУ позволяет поражать цели, идущие с фронта, ракетами любой ПУ, так как зона запрета ПУ, ограничивающая стрельбу, в основном направлена в тыл позиции, в сторону СНР-125.

Веерное расположение ПУ может быть применено при замкнутой (кольцевой) обороне объекта, когда появление цели с тыла дивизиона исключается.

Вариант равномерного расположения пусковых установок по окружности позволяет поражать цели, идущие с любого направления, ракетами, стартующими с двух-трех ПУ в зависимости от расположения зон запрета.

Этот вариант может быть применен при обороне одиночного объекта, когда направление входа в зону неизвестно.

Зенитный ракетный комплекс С-125 обладает следующими основными боевыми свойствами:

- высокой эффективностью стрельбы;
- возможностью стрельбы по скоростным и маловысотным целям;
- возможностью стрельбы по целям с малой отражающей поверхностью;
- возможностью стрельбы в условиях применения противником активных и пассивных радиопомех;
- возможностью стрельбы по маневрирующим и групповым целям;
- способностью к ведению огня в любых условиях погоды и в любое время суток;
- способностью передвигаться с одной огневой позиции на другую.

Высокая эффективность стрельбы

Высокая эффективность стрельбы достигается:

- установкой на ракете мощной боевой части, подрываемой на определенном расстоянии от цели радиовзрывателем;
- высокой точностью наведения ракеты на цель. Максимальное значение ошибок наведения ракеты на цель в данном комплексе не превышает 20-30 м.

Возможность стрельбы по скоростным и маловысотным целям

Комплекс С-125 обеспечивает надежное поражение целей, приближающихся к нему с любого направления со скоростями до $V_{ц} = (420 + 14H_{ц})$ м/с в зоне, ограниченной:

- высотами $H_{ц} = 0,2 — 10$ км;
- курсовым параметром $P = 7$ км;
- горизонтальной дальностью $d_{г} = 6 — 10$ км;
- курсовым углом встречи $q = 60^{\circ}$ (для $V_{ц} \leq 300$ м/с $P = 9$ км, $q = 90^{\circ}$).

При больших скоростях цели возрастают ошибки сопровождения, уменьшается надежность «захвата» и автоматического сопровождения цели.

Возможность стрельбы по маловысотным целям обеспечивается:

1. Наличием узконаправленного игольчатого луча передающей антенны, ширина которого равна по половинной мощности $1,5^\circ$.

Применение узконаправленного луча дает возможность максимально прижать его к земле и таким образом облучать и обнаруживать цели, летящие на малых высотах. Кроме этого, узкий луч облучает (подсвечивает) только цель, что в значительной степени уменьшает отражения от местных предметов, так как они будут облучаться только боковыми лепестками луча.

Направление игольчатого луча смещено относительно биссектрисы сектора сканирования приемных антенн к горизонту на 5° и называется директрисой визирования.

Это, в свою очередь, приводит к тому, что при облучении игольчатым лучом низколетящей цели лучи приемных антенн будут оторваны от земли. Это также уменьшает влияние земли на формирование лучей.

С этой же целью максимумы лучей приемных антенн смещены относительно биссектрисы сектора сканирования приемных антенн на 2° к горизонту.

2. Сканированием лучей приемных антенн в «косых» плоскостях. При сканировании в «косых» плоскостях лучи приемных антенн почти не касаются земли, что значительно уменьшает влияние земли на их формирование.

Применение сканирования в «косых» плоскостях улучшает также условия разделения прямых сигналов цели и ракеты и их зеркальных отражений в плоскости земли.

3. Использованием радиовзрывателя, работающего в импульсном режиме. В радиовзрывателе установлен временной селектор, который стробируется селекторными импульсами дальности, что уменьшает возможность приема сигналов, отраженных от земли и местных предметов.

Длительность селекторных импульсов примерно равна 0.7...0,8 мкс. Такая длительность импульсов обеспечивает работу радиовзрывателя на высотах около 60 м.

4. Последовательной (а не одновременной) заменой стробов захвата импульсов ответчика ракеты стробами сопровождения (широких стробов узкими).

Одновременная замена стробов захвата стробами сопровождения может привести к тому, что вместо основного прямого сигнала ответчика ракеты, может быть захвачен сигнал зеркального отражения в плоскости земли.

Все эти, вместе взятые, особенности комплекса С-125 позволяют вести эффективную борьбу с низколетящими целями.

Возможность стрельбы по целям с малой отражающей поверхностью

Своевременное открытие огня и обстрел целей во всей зоне поражения возможны в том случае, если максимальная дальность обнаружения целей СНР-125 будет больше наклонной дальности до дальней границы зоны пуска на величину, обеспечивающую опознавание, «захват» цели и подготовку исходных данных для стрельбы.

Известно, что дальность обнаружения целей зависит и от эффективной отражающей поверхности цели.

СНР-125 производит уверенное обнаружение целей с отражающей поверхностью, равной отражающей поверхности самолета типа МИГ-17 на дальностях:

— при выключенной аппаратуре селекции движущихся целей (СДЦ) — до 41 км;

— при включенной аппаратуре СДЦ—до 33 км.

СНР-125 имеет в своем составе прибор пуска, который решает задачу встречи и определяет исходные даны для стрельбы за время, не превышающее 5 с.

Все это дает возможность обстрелять воздушную цель, имеющую малую эффективную отражающую поверхность, двумя ракетами в любом пространстве зоны поражения.

Возможность стрельбы в условиях применения противником активных и пассивных радиопомех

Успех в решении боевой задачи по уничтожению воздушных целей в условиях помех зависит от помехозащищенности СНР-125 и степени подготовки и натренированности операторов.

Для борьбы с активными помехами станция наведения ракет СНР-125 имеет автомат помех, который дает возможность автоматически или вручную скачком изменять частоту магнетронного генератора и таким образом «отстроиться» от активной помехи. Если же противник применяет широкополосную помеху, забивающую станцию на обеих частотах, то включается схема сглаживания, которая формирует искусственную пачку цели. Это позволяет более точно сопровождать постановщика помех. При этом используется метод трех точек.

Радиовзрыватель также имеет средства защиты от активных помех. Задающий генератор радиовзрывателя имеет переменную частоту, изменяющуюся в пределах $\pm 10\%$.

Изменение частоты повторения радиовзрывателя обеспечивает помехозащищенность ракеты от импульсной помехи. Кроме того, радиовзрыватель имеет противопомеховую приставку, служащую для борьбы с активными шумовыми помехами.

Наличие в станции СНР-125 аппаратуры СДЦ, МАРУ и цепочки с малой постоянной времени (МПВ) позволяет эффективно обстрелять цель при наличии пассивных помех и отражений от местных предметов. Следует заметить, что штатным режимом работы комплекса С-125 по низколетящим целям является режим с включенной аппаратурой СДЦ (СДЦ-1).

Радиовзрыватель имеет схему программного усиления сигнала, отраженного от цели. Схема позволяет выделить сигнал цели на фоне пассивных помех.

Анализируя вышеизложенное, можно предположить, что комплекс С-125 способен эффективно уничтожать воздушные цели в условиях применения противником активных и пассивных помех.

Возможность стрельбы по маневрирующим и групповым целям

В самом принципе управления полетом ракеты заложена возможность стрельбы по маневрирующим целям.

Однако эта возможность существенно зависит от маневренных свойств воздушных целей, величины зоны поражения, а также от времени полета ракеты до точки встречи.

Зона поражения комплекса С-125 имеет малые размеры, а максимальное время полета ракеты до дальней границы зоны поражения равно примерно 24 секундам.

Можно предположить, что указанные причины делают маневр цели против стрельбы малоэффективным. Наличие в комплексе прибора пуска, определяющего исходные данные для стрельбы за 5с, улучшает условия стрельбы по маневрирующим целям.

Возможность стрельбы по групповым целям обеспечивается наличием в СНР-125 ручного способа сопровождения цели.

3.2 Обоснование перечня показателей боевых возможностей ЗРК

Чтобы судить о боевых возможностях зенитного ракетного комплекса в различных условиях, сравнивать между собой различные способы организации боевых действий при отражении налета нескольких целей, способы подготовки и ведения стрельбы по одной цели, необходимо иметь количественные характеристики, которые называются показателями боевой эффективности ЗРК.

Обычно задачей боевых действий подразделения, оснащенного ЗРК, является поражение возможно большего числа целей из состава налета СВН. Эта задача решается путем проведения за время отражения налета ряда стрельб по одиночным и групповым целям.

Учитывая случайный характер результата боевых действий наиболее полной характеристикой случайной величины — числа пораженных за налет целей — является закон распределения этой величины. Однако использование непосредственно этого распределения неудобно. Поэтому во многих практических случаях в качестве показателей боевой эффективности используются различные числовые параметры, связанные с этим распределением (математическое ожидание и дисперсия числа пораженных целей, вероятность поражения заданного числа целей из состава налета и др.).

Наибольшее распространение в качестве показателя боевой эффективности комплекса получило математическое ожидание (МОЖ) числа (доли) пораженных целей за налет (среднее число пораженных целей). МОЖ числа пораженных целей позволяет характеризовать степень соответствия результатов боевых действий поставленной задаче и, следовательно, является показателем боевой эффективности. Удобство этого показателя заключается также в том, что он может быть определен непосредственно, без закона распределения числа пораженных целей.

Математическое ожидание числа пораженных целей равно сумме вероятностей поражения каждой отдельной цели. То есть для определения математического ожидания числа пораженных целей необходимо уметь определять вероятность поражения каждой цели из состава налета с учетом возможного обстрела цели несколькими ракетами.

Оценка показателей боевой эффективности боевого применения различных модификаций ЗРК С-125 оценивалась путем имитационного моделирования боевых действий группировки (системы) ПВО, состоящей из

нескольких ЗРК, централизованно управляемых с КП группировки (системы), по отражению ударов СВН различного состава (групповых и массированных).

В качестве основного показателя эффективности отражения массированного всевысотного удара аэродинамических СВН группировкой ПВО использованы относительный коэффициент пораженных целей $K_{нотн}$, средний расход ЗУР на одну пораженную цель $N_{зур\text{ср}}$.

Относительный коэффициент пораженных целей i -го варианта $K_{нотнi}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\hat{E}_{отнi} = \frac{\hat{I}_{отнi}}{\hat{I}_{отн0}}, \quad (1)$$

где i - номер варианта группировки ЗРВ;

$M_{унi}$ - МОЖ числа уничтоженных целей, усредненный по нескольким реализациям. МОЖ числа уничтоженных целей определяется по результатам имитационного моделирования;

$M_{ун0}$ - МОЖ числа уничтоженных целей опорного (базового) варианта.

Средний расход ЗУР на одну пораженную цель $N_{зур\text{ср}}$ определяется по результатам имитационного моделирования.

В качестве вспомогательного показателя может использоваться гистограмма распределения дальностей пораженных целей по глубине зоны огня, значения которой для каждого интервала дальности D_j определяются по результатам имитационного моделирования по формуле

$$\Gamma_j = M [N_{унj}],$$

где

D_j - интервалы дальности по глубине зоны поражения ЗРК, равные 5 км;

$M [N_{стрj}]$ - МОЖ числа уничтоженных целей, для которых точка встречи ракеты с целью лежит в j -ом интервале дальности (определяется по результатам имитационного моделирования).

3.3 Система моделирования, используемая для оценки эффективности ЗРК

3.3.1 Общие принципы построения системы моделирования

Система имитационного моделирования для оценки эффективности ЗРК состоит из модели боевых действий группировки ПВО, баз исходных данных, баз данных протоколов моделирования, набора программ подготовки исходных данных, отображения хода моделирования и обработки результатов моделирования. К моделям различных средств группировки ПВО могут подключаться рабочие места операторов, которые позволяют наблюдать за функционированием имитируемых средств и управлять ими. Имитационно–моделирующий комплекс может функционировать как на локальном компьютере, так и в распределенной вычислительной среде.

Структурная схема системы имитационного моделирования представлена на Рис. 3.18.

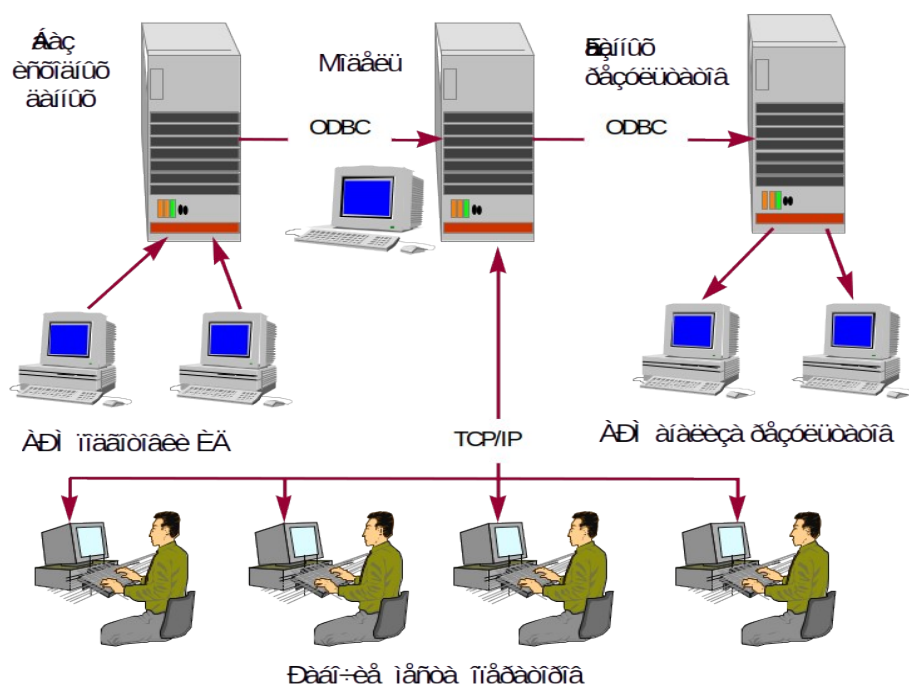


Рис. 3.18. Структура системы имитационного моделирования

Модель боевых действий группировки ПВО – программа, позволяющая воспроизвести динамику функционирования средств воздушного нападения и группировки ПВО. По сути, она является оператором преобразования

исходных данных в протокол моделирования. Подготовка исходных данных, отображение и воспроизведение хода моделирования, обработка результатов моделирования выполняются отдельными программами, взаимодействующими с базами данных и не связанных напрямую с программой модели боевых действий.

Программа подготовки исходных данных позволяет задать дислокацию средств группировки ПВО, проложить маршруты полета целей, спланировать применение противником средств постановки помех и высокоточного оружия по средствам группировки ПВО. Дислокация средств группировки ПВО и маршруты полета целей отображаются на фоне электронной карты.

Программа демонстрации хода отражения удара зенитной ракетной группировкой позволяет отобразить текущее положение и состояние средств группировки, ЗУР в полете, СВН, пусковых установок БР, а также целый ряд справочной и итоговой информации.

В программах подготовки исходных данных и демонстрации хода отражения удара используются электронные карты в формате SXF, принятом в МО РФ.

Программа экспресс-обработки протокола моделирования позволяет оценить основные показатели эффективности боевых действий группировки ПВО (математическое ожидание числа уничтоженных целей, математическое ожидание числа израсходованных ракет, математическое ожидание числа уничтоженных средств системы) и целый ряд дополнительных показателей (распределение числа уничтоженных целей по типам, по номерам ЗРК, по дальности и высоте, временную диаграмму работы ЗРК по целям и т.д.).

Более детальная обработка протокола моделирования позволяет получить данные необходимые для оценки ущерба, нанесенного противником обороняемому объекту: количество, типы и перечень целей, достигших рубежа выполнения задачи, точки падения баллистических ракет противника, координаты точек встречи ЗУР с целями.

Доступ к базам данных всеми программами, входящими в состав системы моделирования производится с использованием интерфейса прикладного программирования ODBC. Для хранения исходных данных и результатов моделирования можно использовать любую СУБД, для которой доступны ODBC-драйверы. В настоящее время используются СУБД Access, InterBase SQL Server и MS SQL Server.

Рабочие места операторов средств группировки взаимодействуют с моделью боевых действий группировки ПВО по протоколу TCP/IP.

Принципы построения модели боевых действий группировки ПВО

Модель боевых действий группировки ПВО по классификации относится к классу событийных объектно-процессных моделей с динамической децентрализованно управляемой структурой и возможностью условного планирования событий. Структура модели представлена на Рис. 3.19.

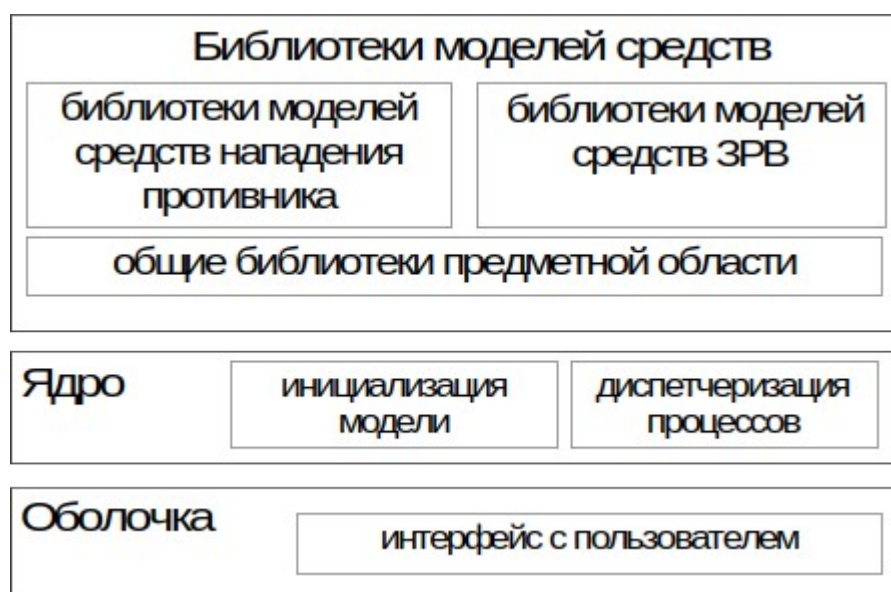


Рис. 3.19. Структура модели боевых действий группировки ПВО.

Основу модели боевых действий группировки ПВО составляет ядро, отвечающее за инициализацию модели и диспетчеризацию процессов во время имитации, и общесистемная библиотека, содержащая реализации методов базового класса, на котором основываются классы всех

моделируемых процессов. Следующий уровень - библиотеки, общие для всей предметной области. Они реализуют методы преобразования систем координат, функции работы с базами данных, методы процессов-контейнеров, базовые алгоритмы управления, и т.п. На этих библиотеках основываются и дополняют их библиотеки базовых процессов имитации средств группировки ПВО и библиотеки целей. И на самом верхнем уровне - модели средств группировки ПВО, в которых реализованы только специфичные для них процессы. За интерфейс с пользователем отвечает оболочка модели. Реализовано несколько вариантов оболочек для интерактивного и пакетного запуска модели, как на локальном, так и на удаленном компьютере.

Описываемая имитационная модель относится к разряду процессно-ориентированных. Функциональная схема модели представлена на Рис.3.20. Хронологическая последовательность возникающих в модели событий фиксируется в базе данных в виде протокола работы модели.

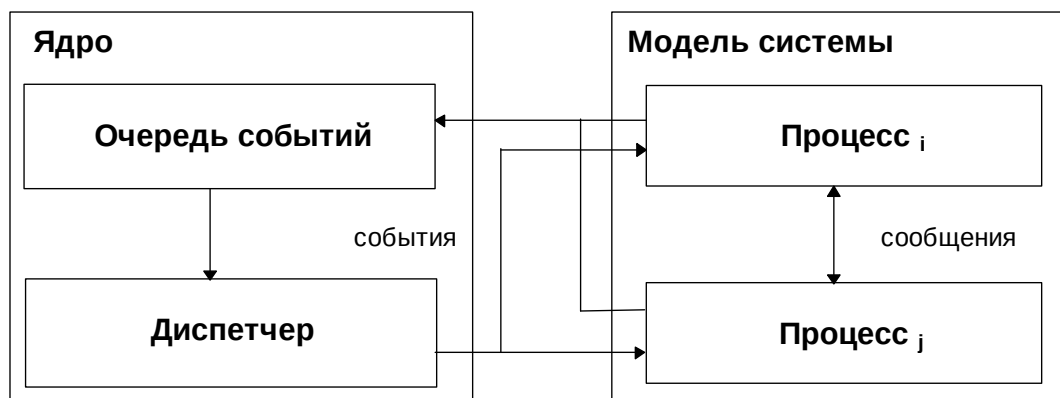


Рис.3.20. Функциональная схема модели

3.3.2 Принципы моделирования средств воздушного нападения (СВН)

Типаж СВН, моделируемых в системе моделирования, представлен на Рис. 3.21.



Рис. 3.21 Типаж СВН

На базе данных типов СВН в модели могут формироваться удары СВН с различной структурой. Варианты структуры моделируемого удара СВН представлены на Рис. 3.22.



Рис. 3.22. Структура моделируемого удара СВН

Для оценки эффективности ЗРК типа С-125 использовались только групповые и массированные удары аэродинамических СВН.

Все типы аэродинамических СВН (далее по тексту - аэродинамические цели – АДЦ или летательные аппараты ЛА) моделируются с учетом связи между требуемой скоростью V полета АДЦ, атмосферным давлением P и плотностью воздуха ρ на данной высоте, которая для всех АДЦ устанавливается соотношением, называемым «уравнением энергии»:

$$\rho V^2/2 + P = \text{const} \quad ,$$

где слагаемое $\rho V^2/2$ - скоростной напор.

При это учитываются подъемная сила, полная аэродинамическая сила, сила тяги. Это позволяет детально имитировать отдельные особенности полета СВН, в том числе перегрузки, действующие на них.

Боевые порядки тактической группы, интервалы и дистанции между АДЦ определяются из условий:

- ☐ взаимного визуального либо радиолокационного контроля между АДЦ;
- ☐ взаимного прикрытия помехами;
- ☐ исключения радиолокационного разрешения РЭС БП отдельных АДЦ, составляющих группу;
- ☐ поражения не более одного самолета в группе при подрыве боевой части зенитной управляемой ракеты.

Минимальной тактической единицей, применяемой в ударах, является пара аэродинамических ЛА. Исключение могут составлять КР. Исходя из этого аэродинамическим ЛА характерны следующие основные типы и параметры строя (дистанции, интервалы и превышения между отдельными ВО). В качестве основных типовых строев (боевых порядков) пары аэродинамических ЛА, звена (отряда), тактической группы, эшелона удара применены следующие строи:

1. пеленг - $a=0.2...5$ км, $b=0.2...2$ км, $c=0.05...0.15$ км;

2. клин - $a=0.2...5$ км, $b=0.2...2$ км, $c=0.05...0.15$ км;
3. обратный клин;
4. фронт - $b=0.2...2$ км;
5. колонна - $a=0.2...5$ км, $c=0.05...0.15$ км;
6. боевой порядок тактической группы - колонна звеньев (отрядов) с временным интервалом 2...3 минуты.

Боевой порядок (строй) пары, звена (отряда), с количественными характеристиками: дистанцией (**a**); интервалом (**b**); превышением (**c**), представлен на Рис. 3.23.

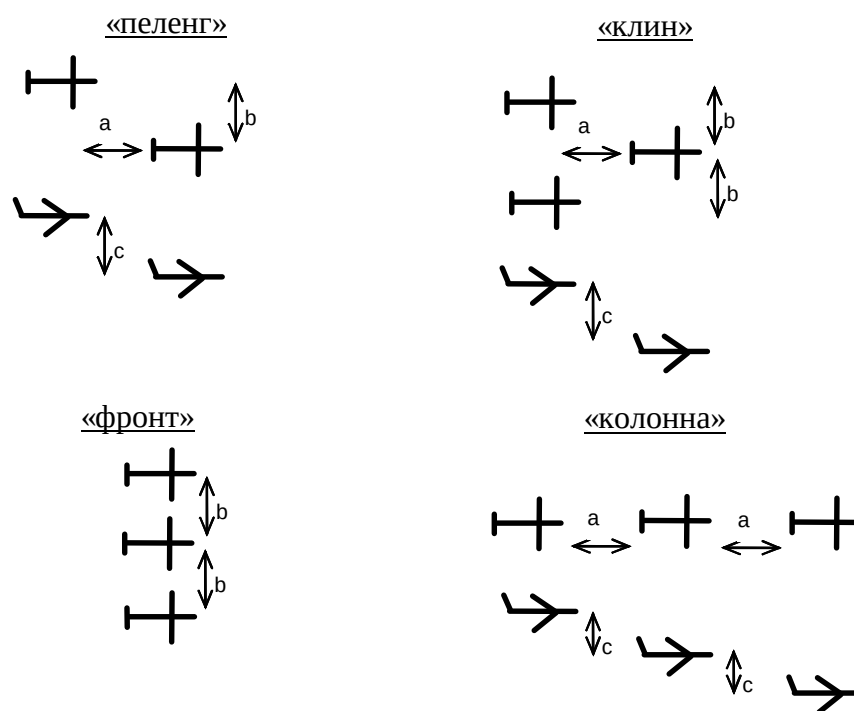


Рис. 3.23 Параметры основных строев аэродинамических ЛА

3.3.3 Принципы моделирования зенитных ракетных средств

Блок моделей зенитных ракетных средств предназначен для имитации боевых действий всех возможных типов группировок ПВО – с однородным и смешанным составом огневых средств. При этом в моделируемых группировках возможны следующие типы огневых средств (см. Рис. 3.24):

- ☐ зенитные ракетные комплексы дальнего действия (ЗРК ДД);
- ☐ зенитные ракетные комплексы средней дальности (ЗРК СД);
- ☐ зенитные ракетные комплексы малой дальности (ЗРК МД);
- ☐ огневые комплексы нестратегической противоракетной обороны (ОК ПРО);
- ☐ малые и сверхмалые комплексы средств защиты от ВТО (КСЗ).



Рис. 3.24. Типаж моделируемых ЗРК

ЗРК типа С-125 относятся к классу ЗРК МД.

В модели учитывается, что ЗРК МД имеют большое количество модификаций, отличающихся составом, а также характеристиками и алгоритмами работы основных элементов комплекса.

Все моделируемые современные группировки ПВО имеют иерархическую структуру (Рис. 3.25):

двухуровневую, когда несколько ЗРК централизованно управляются с КП группировки;

трехуровневую, допускающую, что с КП группировки централизованно управляет несколькими КП (обычно КП ЗРС), которые, в свою очередь, управляют ЗРК.

Для оценки эффективности ЗРК С-125 была выбрана, с учетом приближения к реальным группировкам, двухуровневая структура.

Таким образом, для реализации двухуровневой системы управления ЗРК в блоке моделей реализованы модель КП збр (ВКП) и модель КП группы зрдн (КПС).

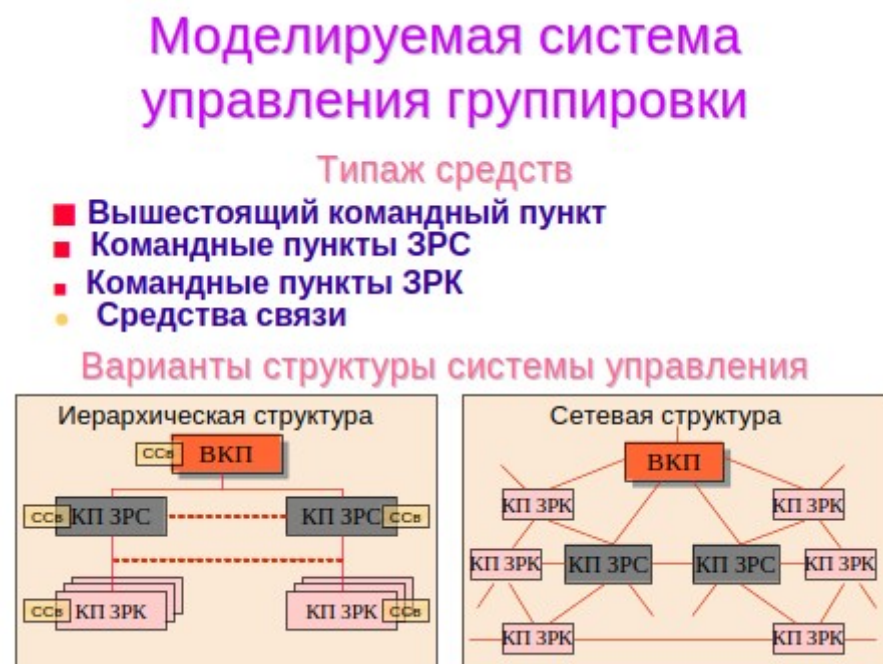


Рис. 3.25 Моделируемая система управления группировки

Также в модели предусматривается, что у КП и ЗРК есть собственные источники радиолокационной информации о воздушной обстановке - автономные средства целеуказания (АСЦУ). Для этого в блоке моделей реализованы модели АСЦУ различных типов. Кроме того, для КП источниками информации могут быть соседние КП.

Для оценки эффективности ЗРК типа С-125 учитывалось, что в составе ЗРК есть РЛС АСЦУ типа П-15 (П-19) и П-12 (П-18), а на вышестоящих КП находятся круговые РЛС с более высокими ТТХ.

Принципы моделирования КП группировки

В качестве моделируемого КП группировки (КП ЗРС) в модели рассматривался обобщенный тип КП, способный управлять несколькими ЗРК путем приведения их в нужную степень готовности, выдачи на них целеуказаний (ЦУ) и осуществления координации действий ЗРК.

Модель КП вызывается с темпом, соответствующим циклу управления моделируемых типов ЗРК.

В модели имитируются следующие операции, осуществляемые аппаратурой и боевым расчетом КП:

- прием сообщений от АСЦУ КП;
- прием сообщений от ЗРК;
- отождествление информации о РЛИ от различных информационных источников;
- формирование и уточнение единого массива трасс целей (ЕМТ);
- анализ состояния боевой работы ЗРК;
- уточнение информации для ЗРК об отрабатываемых ЦУ;
- выдача запретов на ЗРК по отдельным целям (освобождение ЦК);
- выбор целей на ЦР;
- выбор ЗРК на ЦР;
- подготовка исходных данных для алгоритма ЦР;
- целераспределение;
- выдача целеуказаний на ЗРК;
- управление рабочими секторами ЗРК.

Принципы моделирования ЗРК

ЗРК представляет собой сложную техническую систему и имеет свою сложную внутреннюю структуру. Каждый элемент этой структуры имеет определенный набор функций и характеризуется множеством параметров. В число основных элементов входят: пункт боевого управления (ПБУ), РЛС сопровождения целей и наведения ракет (МФРЛС), пусковые установки (ПУ), зенитные управляемые ракеты (ЗУР). Соответственно, модель ЗРК включает в свой состав:

1. модель ПБУ;
2. модель МФРЛС;
3. модель ПУ;
4. модель ЗУР.

Укрупненная структурная схема модели ЗРК приведена на Рис. 3.26. На рисунке также представлены взаимодействующие с моделью ЗРК – модель КП группировки и модель СВН.

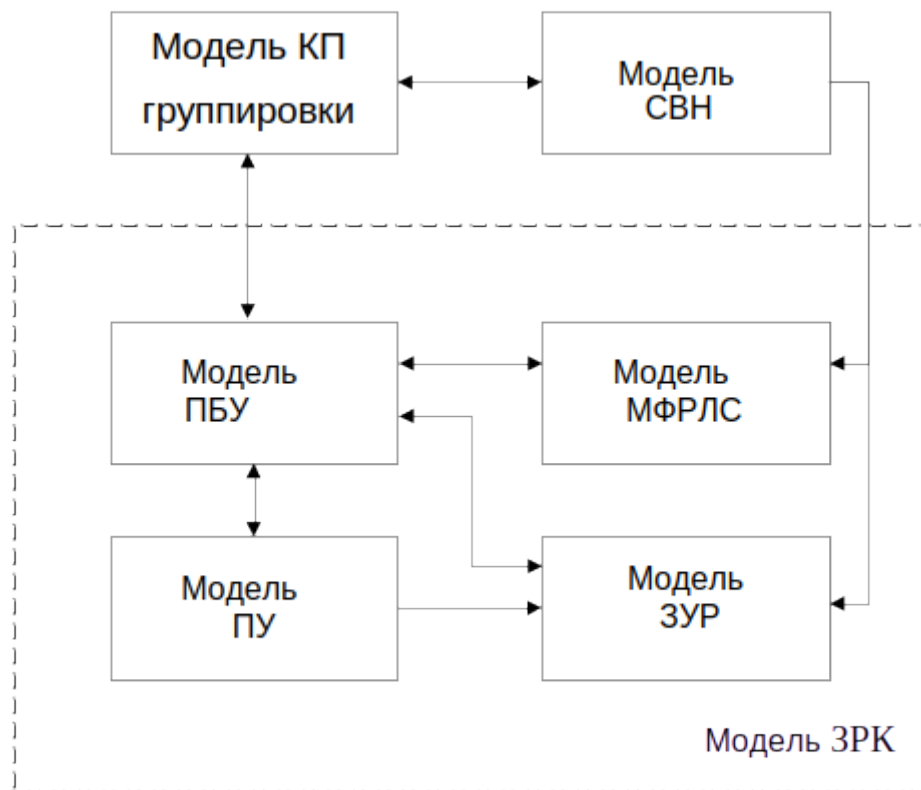


Рис. 3.26

По своему функциональному назначению модель ПБУ является управляющим элементом модели ЗРК. ПБУ обрабатывает входную информацию от КП группировки, от других средств ЗРК, формирует команды управления для подчиненных средств, донесения для КП группировки.

Функционирование моделей МФРЛС, ПУ и ЗУР заключается в отработке соответствующих команд управления, поступающих от ПБУ и выдаче донесений о ходе отработке команд.

Перечень выполняемых функций каждой моделью определяется функциональным назначением имитируемого средства ЗРК.

Модель ПБУ воспроизводит:

- ☐ прием информации (команд) от КП группировки;
- ☐ прием сообщений от взаимодействующих средств;
- ☐ прием донесений от подчиненных средств (МФРЛС, ПУ, ЗУР);
- ☐ выдачу донесений о состоянии ЗРК, о воздушной остановке и о ходе боевой работе ЗРК на КП группировки;
- ☐ выдачу команд управления подчиненным средствам;
- ☐ выдачу сообщений взаимодействующим средствам;
- ☐ управление рабочим сектором МФРЛС;
- ☐ управление отработкой целеуказаний от КП группировки;
- ☐ управление режимами сопровождения целей;
- ☐ подготовку данных для стрельбы:
 - ☐ расчет координат точки встречи ракеты с целью;
 - ☐ определение времени до точки встречи;
 - ☐ определение запаса времени для обстрела цели в пределах зоны поражения ЗРК;
 - ☐ выбор типа и количества ракет для стрельбы;
 - ☐ назначение режима пуска ракет;
 - ☐ назначение вида стрельбы;
 - ☐ определение момента пуска ракет;

- ☐ наведение ракет;
- ☐ оценку результатов стрельбы.

Модель МФРЛС воспроизводит:

- ☐ прием команд управления от ПБУ;
- ☐ выдачу донесений о состоянии МФРЛС, об обнаруженных и сопровождаемых целях на ПБУ;
- ☐ обзор пространства и обработки информации;
- ☐ определение государственной принадлежности целей;
- ☐ управление положением рабочего сектора.

Модель пусковой установки (ПУ) воспроизводит:

- ☐ прием команд управления от ПБУ;
- ☐ выдачу донесений о состоянии, о боезапасе ракет на ПБУ;
- ☐ подготовку ракет;
- ☐ пуск ракет.

Модель ракеты воспроизводит:

- ☐ прием команд от ПУ;
- ☐ прием команд управления от ПБУ;
- ☐ полет ракеты;
- ☐ выдачу донесений о состоянии, координатах полета на ПБУ;
- ☐ обнаружение, захват и сопровождение цели ГСН;
- ☐ поражение цели.

Широкое разнообразие выполняемых функций определяет наличие разветвленной сети информационных и функциональных связей между блоками, реализующими данные функции (функциональными блоками).

В основе функциональных взаимосвязей между блоками модели ЗРК лежит операционные процессы, протекающие в ЗРК в ходе ее боевой работы по целям (циклограммы боевой работы ЗРК).

Циклограмма боевой работы ЗРК по одной выбранной цели (целевого канала) при централизованном режиме боевой работы представляет собой последовательность выполнения следующих функций (Рис. 3.27):

1. Прием информации.
2. Выдача команд (донесений).
3. Выбор цели для захвата.
4. Подготовка ракет к пуску.
5. Захват цели на сопровождение.
6. Сопровождение цели.
7. Подготовка данных для стрельбы.
8. Пуск ракет.
9. Наведение ракеты.
10. Выдача команды на подрыв боевой части ракеты в районе точки встречи.
11. Оценка результатов стрельбы.

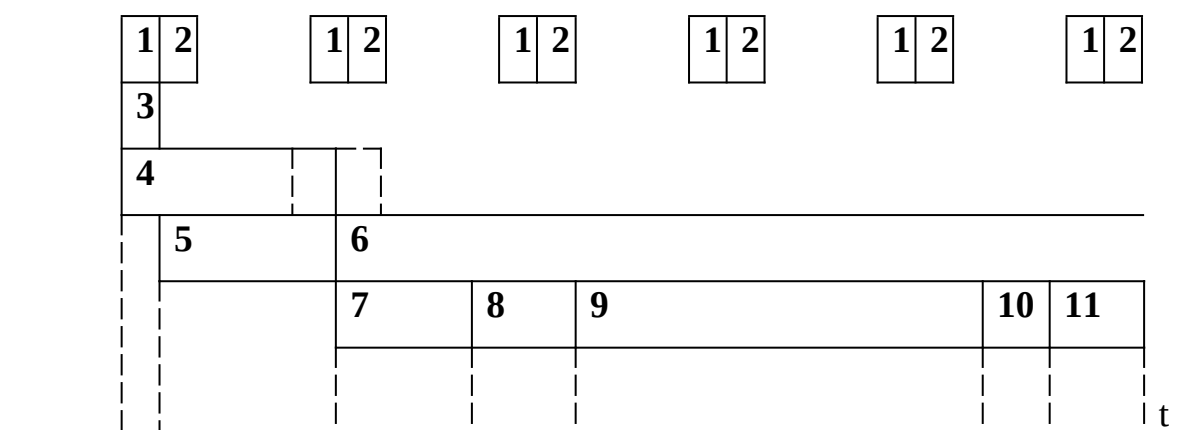


Рис. 3.27

Циклограмма боевой работы ЗРК по одной выбранной цели (целевого канала) в режиме автономной боевой работы заключается в следующем (Рис. 3.28):

1. Прием информации.
2. Выдача команд (донесений).

3. Обзор сектора автономного поиска и сопровождение целей на проходе.
4. Отбор целей для точного сопровождения.
5. Подготовка ракет к пуску.
6. Захват цели на сопровождение.
7. Сопровождение цели.
8. Подготовка данных для стрельбы.
9. Пуск ракет.
10. Полет ракеты.
11. Выдача команды на подрыв боевой части ракеты в районе точки встречи.
12. Оценка результатов стрельбы.

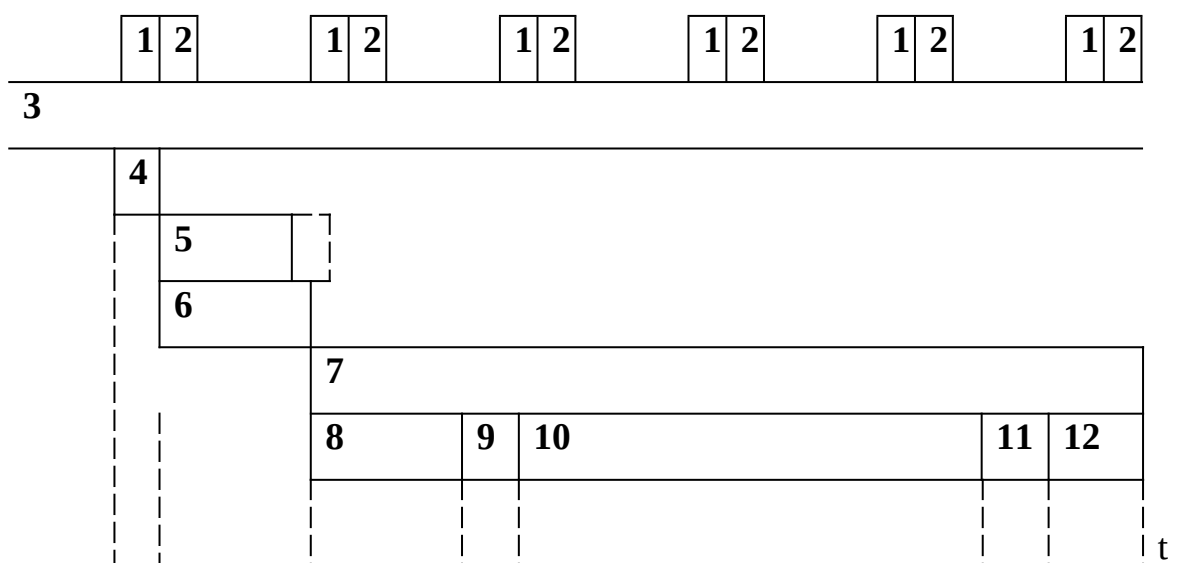


Рис. 3.28

То есть, в ходе боевой работе ЗРК даже по одной цели одновременно выполняется несколько функций (обзор пространства, сопровождение цели, выдача информации, наведение ракет и т.д.). По мере загрузке целевых каналов объем параллельно выполняемых функций существенно увеличивается.

В каждый момент времени состав одновременно выполняемых функций определяет состояние модели ЗРК. Смена таких состояний происходит в строго определенные моменты времени, привязанные к началу или завершению той или иной функции. Промежутки времени между сменами состояний для модели ЗРК играют не существенную роль. Поэтому имитация функционирования ЗРК осуществляется только во время смены состояний. Времена смены состояний (время начала или завершения какой либо функции) рассчитываются с учетом реально складывающейся обстановки, временных характеристик боевой работы ЗРК и других характеристик ЗРК, определяющих логику его работы.

3.3.4 Принципы подготовки исходных данных

Подготовка исходных данных для системы моделирования осуществляется специальной программой подготовки исходных данных для имитационных экспериментов.

Программа предназначена для разработки исходных данных для проведения имитационных экспериментов и сохранения их в базе исходных данных.

Программа решает следующие задачи:

1. Формирует удар воздушного противника:

- ☐ вводит, отображает и изменяет справочные данные по целям.
- ☐ прокладывает маршруты полета целей;
- ☐ назначает целей на огневое и радиоэлектронное подавление средств ПВО;

2. Формирует группировку ПВО:

- ☐ задает координаты точек стояния средств ПВО;
- ☐ задает направления рабочих секторов РЭС средств ПВО;
- ☐ задает информационные связи средств ПВО;
- ☐ задает режимы работы средств группировки;

- устанавливает боезапас ракет на ПУ соответствующего типа.

Координаты объектов в базе исходных данных хранятся в географической системе координат (широта, долгота, высота). Высота объектов задается над поверхностью земли с учетом рельефа (над уровнем моря, если цифровая карта местности не используется).

Для отображения и ввода координат объектов в программе используется также прямоугольная относительная система координат, задаваемая некоторой точкой отсчета. Положение объекта в относительной системе координат определяется координатами X , Y и относительной высотой (превышением). Оси X и Y направлены параллельно соответствующим осям системы координат Гаусса-Крюгера. Координаты X и Y определяется как разность соответствующих координат объекта и точки отсчета в системе координат Гаусса-Крюгера. Если объект и точки отсчета располагаются в разных шестиградусных зонах, координаты объекта пересчитываются в зону точки отсчета. Превышение определяется как разность высот объекта и точки отсчета.

Точка отсчета относительной системы координат может быть привязана к определенным географическим координатам, к некоторому объекту или точке траектории движения объекта.

Программа обеспечивает заполнение базы исходных данных в формате любой СУБД для которой доступны ODBC драйверы. В настоящее время используется база данных в формате Microsoft Access.

Программа обеспечивает использование справочной базы данных в формате любой СУБД для которой доступны ODBC драйверы и которая обеспечивает возможность хранения двоичных данных.

Вариант задания исходных данных по АДЦ типа F-16 представлен на Рис. 3.29.

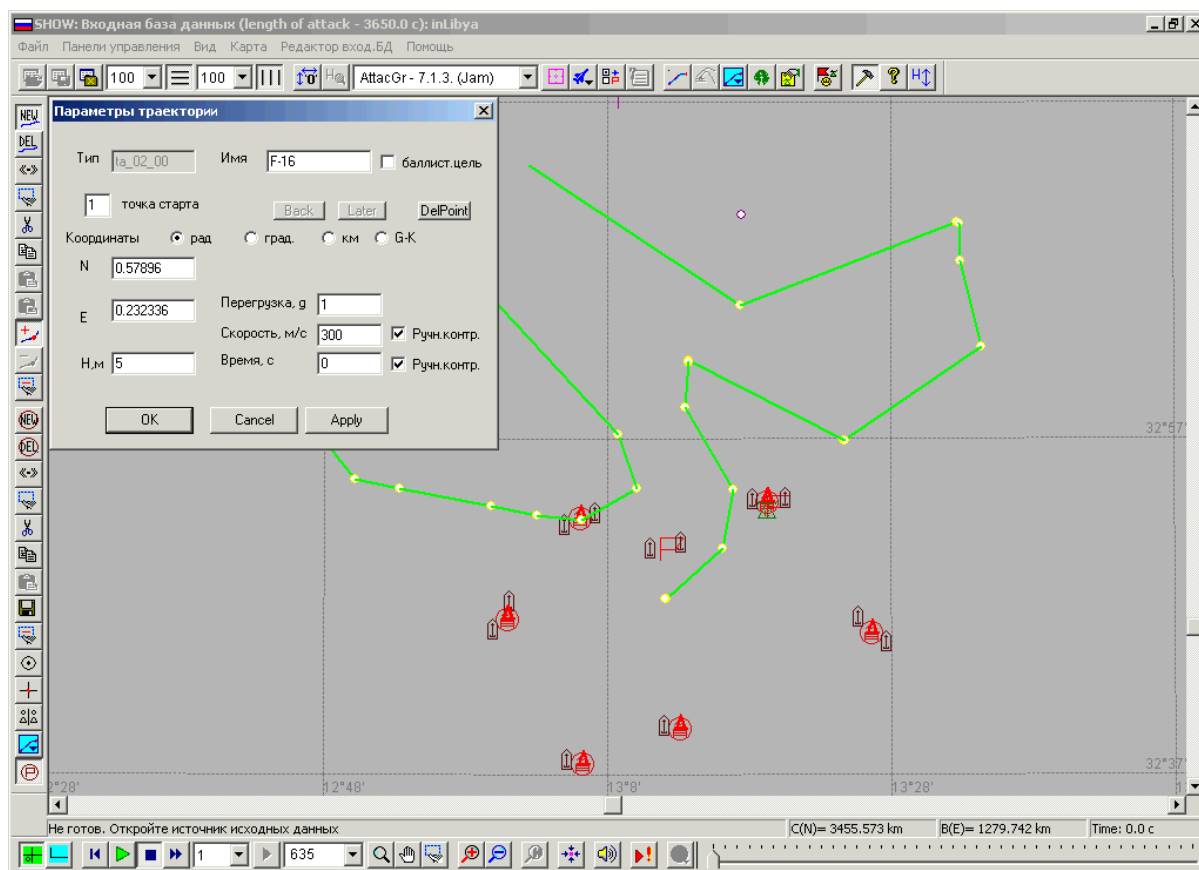


Рис. 3.29. Вариант задания исходных данных по АДЦ типа F-16.

Вариант задания исходных данных по ЗРК типа С-125 представлен на Рис. 3.30.

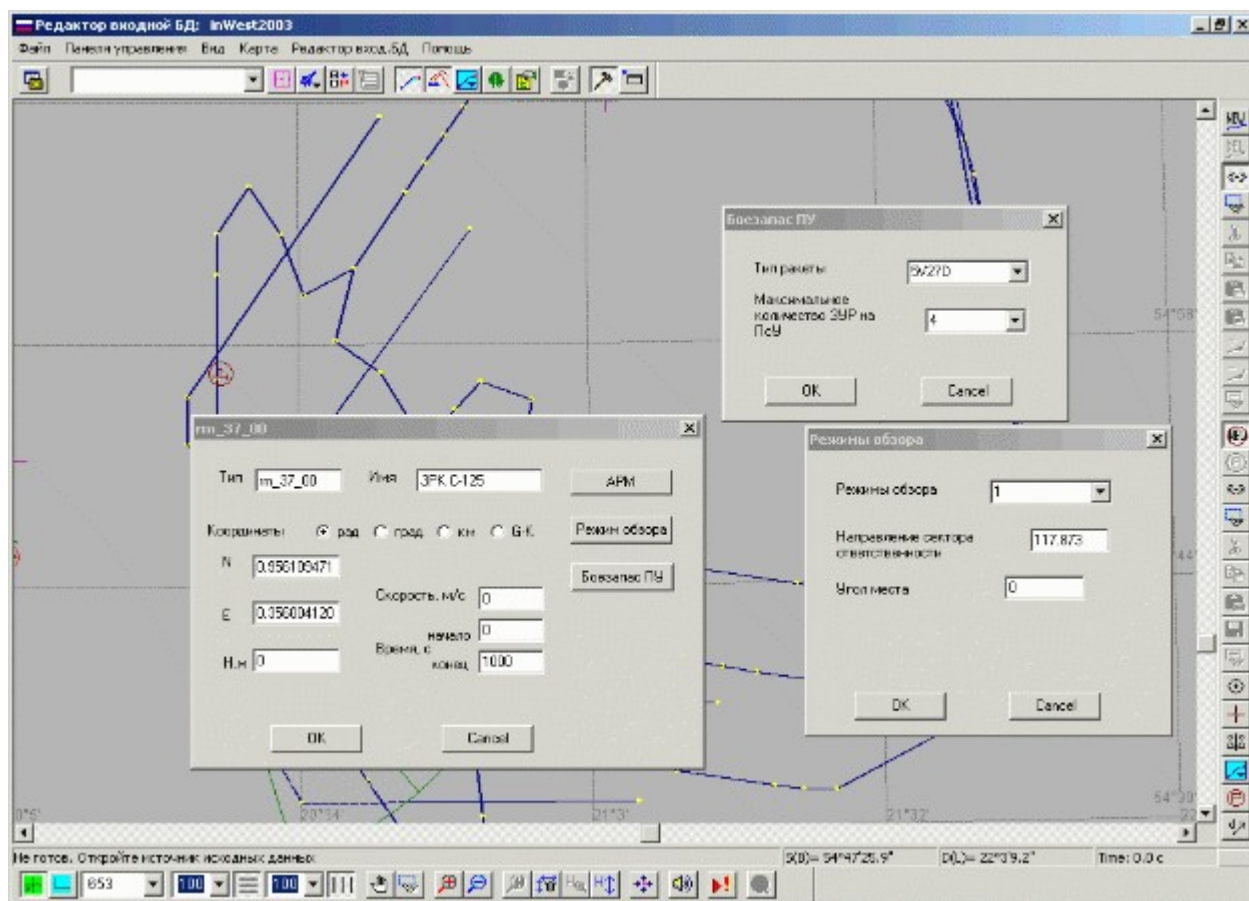


Рис. 3.30. Вариант задания исходных данных по ЗРК типа С-125

3.3.5 Принципы сбора и обработки результатов моделирования

Программа демонстрации хода отражения удара СВН зенитной ракетной группировкой

Программа предназначена для отображения динамики работы модели боевых действий зенитной ракетной группировкой. Программа использует в качестве исходных данных протокол, записанный моделью в базу данных. Считываемая из БД информация позволяет наглядно воспроизвести ход моделирования процесса отражения зенитной ракетной группировкой удара СВН.

В программе предусмотрены два режима работы: ДЕМОНСТРАЦИЯ 1, ДЕМОНСТРАЦИЯ 2:

- В режиме ДЕМОНСТРАЦИЯ 1 могут быть использованы как готовые БД результатов моделирования, так и БД, которая используется в текущий

момент для записи результатов программой имитационного моделирования. В этом режиме данные из БД считываются последовательно по времени в зависимости от выбранного режима воспроизведения.

- В режиме ДЕМОНСТРАЦИЯ 2 данные из БД считываются один раз при открытии БД. В этом режиме рекомендуется использовать только готовые БД результатов моделирования.

В программе предусмотрен выбор одного из трех режимов воспроизведения: воспроизведение (обычное), ускоренное воспроизведение или синхронное воспроизведение (последний только в режиме ДЕМОНСТРАЦИЯ 1).

- **Воспроизведение.** Из БД (в режиме ДЕМОНСТРАЦИЯ 1) или из памяти (в режиме ДЕМОНСТРАЦИЯ 2) последовательно с тактом в 1 секунду выбираются зарегистрированные данные о текущем состоянии и положении имитируемых объектов и отображается их новое положение и состояние.
- **Ускоренное воспроизведение.** Отличается от режима воспроизведение только скоростью. Возможно изменение скорости воспроизведения в широком интервале.
- **Синхронное воспроизведение.** В этом режиме программа демонстрации работает одновременно с моделью и обеспечивает отображение последней записанной в БД информации, т.е. синхронно воспроизводит ход моделирования.

Программа обеспечивает:

- * отображение средств группировки, ЗУР в полете, СВН, пусковые установки БР и др.;
- * выбор одной из проекций отображения имитируемой воздушной и наземной обстановки: проекции на горизонтальную плоскость (см. Рис. 3.31); проекции на вертикальную плоскость (см. Рис. 3.32).

- * отображение плана местности с использованием электронных карт. В программе реализованы широкие функциональные возможности по работе с электронными картами: управление масштабом и смещением, управление составом отображаемых объектов, поиск объектов, построение высотных профилей и т.д.

- * разнообразные функции по управлению отображением: смещение, изменение масштаба. Предусмотрено отображение прямоугольной и географической сетки координат, траекторий движения имитируемых СВН и ЗУР. В момент уничтожения СВН или средства группировки, подрыва ЗУР отображается соответствующий условный знак, этот момент сопровождается также звуковым эффектом.

- * получение и отображение по выбранному объекту информации о состоянии, названии, типе, номере, пространственном положении и параметрах движения, а также справочной информации о назначении, ТТХ и реальном внешнем виде.

- * вызов программ оценки результатов моделируемых боевых действий группировки ПВО, наглядно представляющие многочисленные интегральные и частные показатели возможностей группировки по отражению имитируемого удара.

Рис. 3.31. Отображение имитируемой воздушной и наземной обстановки на горизонтальную плоскость.

Рис. 3.32 Отображение имитируемой воздушной и наземной обстановки на вертикальную плоскость.

Программа анализа результатов моделирования

Программа позволяет путем обработки протокола имитации оценить основные и дополнительные показатели эффективности боевых действий группировки ПВО в имитационных экспериментах.

Программа может использоваться как для анализа уже завершившихся экспериментов, так непосредственно в ходе моделирования. В последнем случае рассчитываемые показатели могут обновляться автоматически с заданным темпом.

При обработке результатов экспериментов, состоящих из нескольких реализаций, программа позволяет анализировать как отдельные реализации, так и весь эксперимент в целом.

Для наглядного представления результатов моделирования применяются диаграммы и графики. Ниже приведены формы отображения некоторых рассчитываемых показателей.

Основные результаты

В форме отображаются основные показатели эффективности боевых действий группировки в целом и по отдельным огневым средствам.

Количество целей	132
Количество уничтоженных целей	115 (87%)
Расход ракет	198
расход на 1 цель	1,72

Группировка ПВО

В форме отображаются количество средств группировки, участвовавших в отражении удара СВН, по типам и количество средств группировки, уничтоженных противником.

СВН противника

В форме отображаются количество СВН противника по типам и количество СВН, уничтоженных при отражении удара.

Число целей в ударе: 114			Число уничтоженных целей 96		
Тип	Количество		Тип	Количество	
► B-1B	9	▲	► B-1B	9	▲
CM	26		CM	16	
EF-111	2		F-15	24	
F-15	24		F-16	16	
F-16	20		HARM	7	
HARM	9		UAV	24	
UAV	24				

ПАП противника

В форме отображаются количество СВН противника – постановщиков активных помех по типам и количество ПАП, уничтоженных при отражении удара.

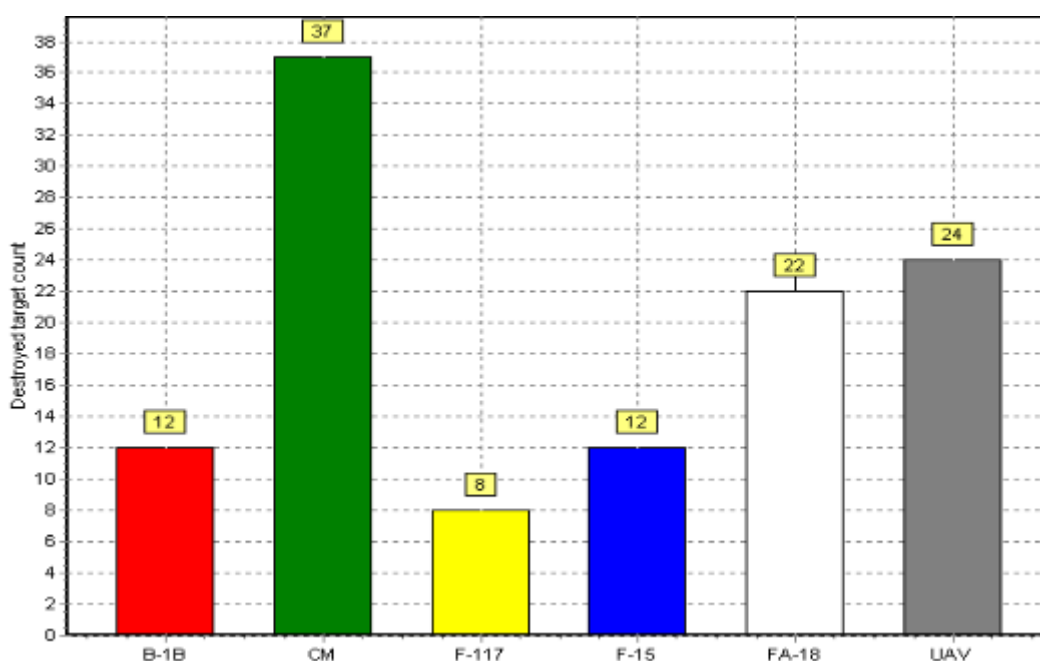
Количество ПАП Всего в ударе		86	Число уничтоженных целей		78
Тип	Количество		Тип	Количество	
► B-1B	9		► B-1B	9	
CM	4		CM	1	
EF-111	2		F-15	24	
F-15	24		F-16	21	
F-16	24		UAV	23	
UAV	23				

Распределение СВН противника в ударе по типам

На диаграмме отображаются количество СВН противника каждого типа, участвовавших в ударе.

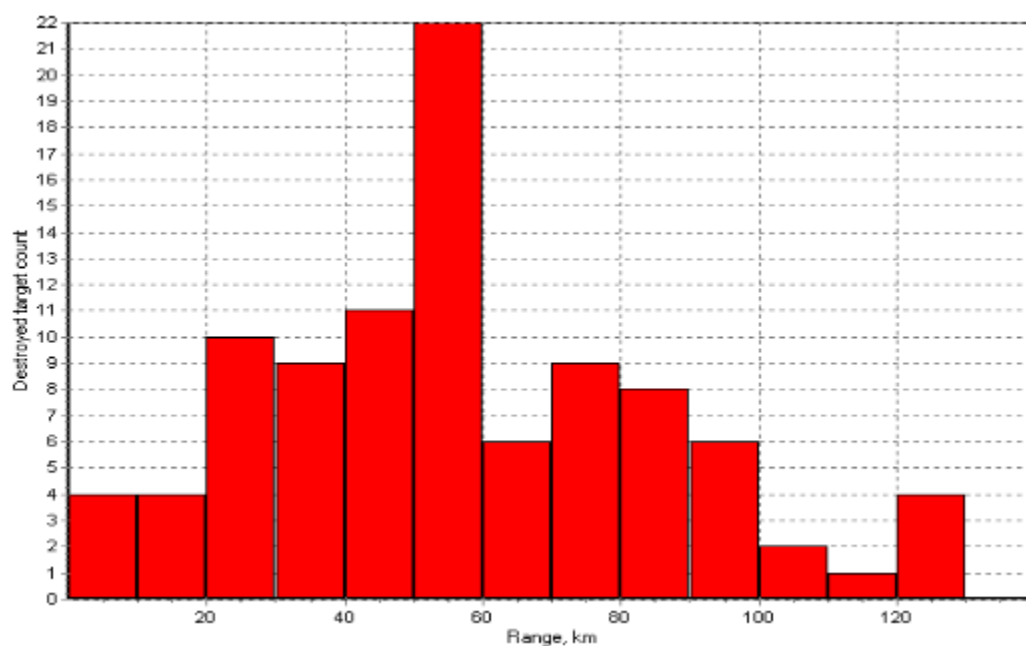
Распределение уничтоженных целей по типам

На диаграмме представлено количество СВН противника каждого типа, уничтоженных группировкой ПВО при отражении удара.



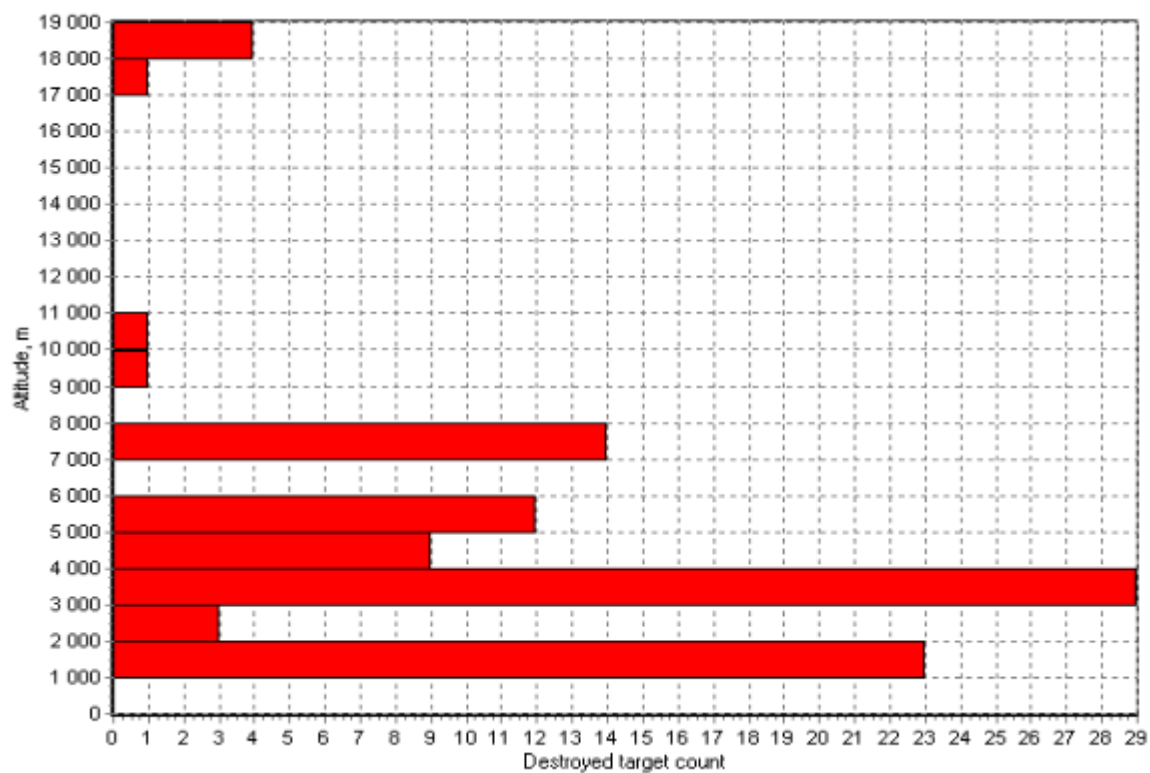
Распределение уничтоженных целей по дальности

На диаграмме отображается количество целей, уничтоженных огневыми средствами группировки на определенной дальности.



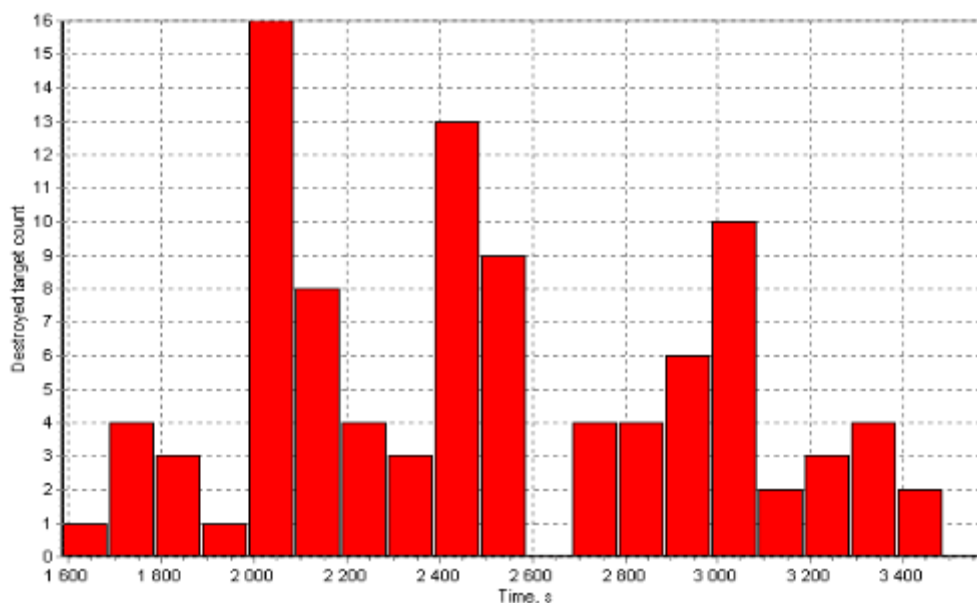
Распределение уничтоженных целей по высоте

На диаграмме по вертикальной оси отображается высота, по горизонтальной оси - количество целей, уничтоженных в заданном диапазоне высот.



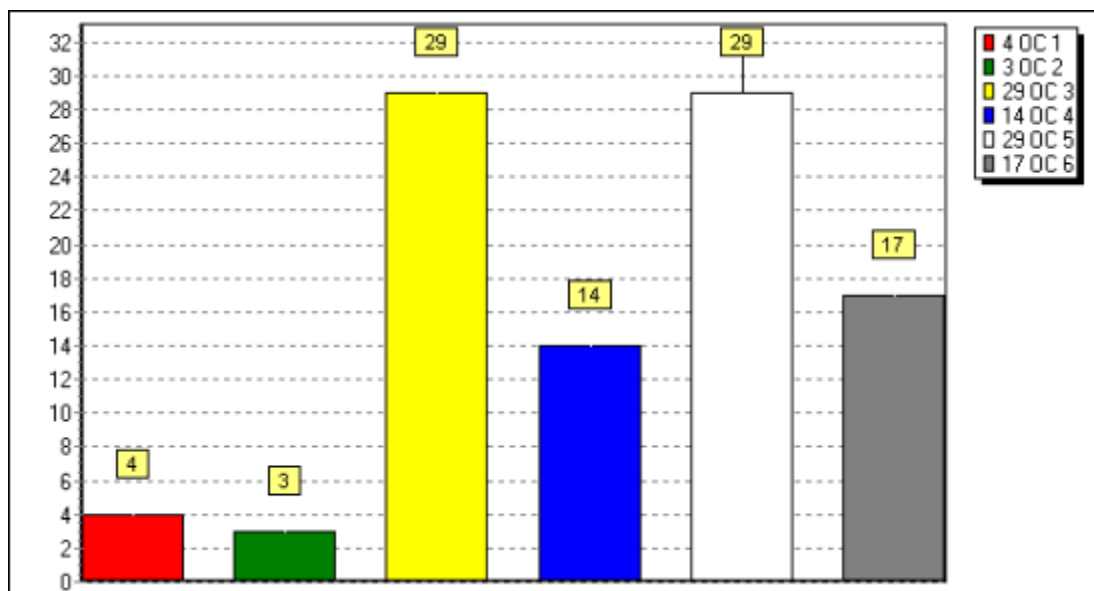
Распределение уничтоженных целей по времени

На диаграмме отображается количество целей, уничтоженных в заданном интервале времени.



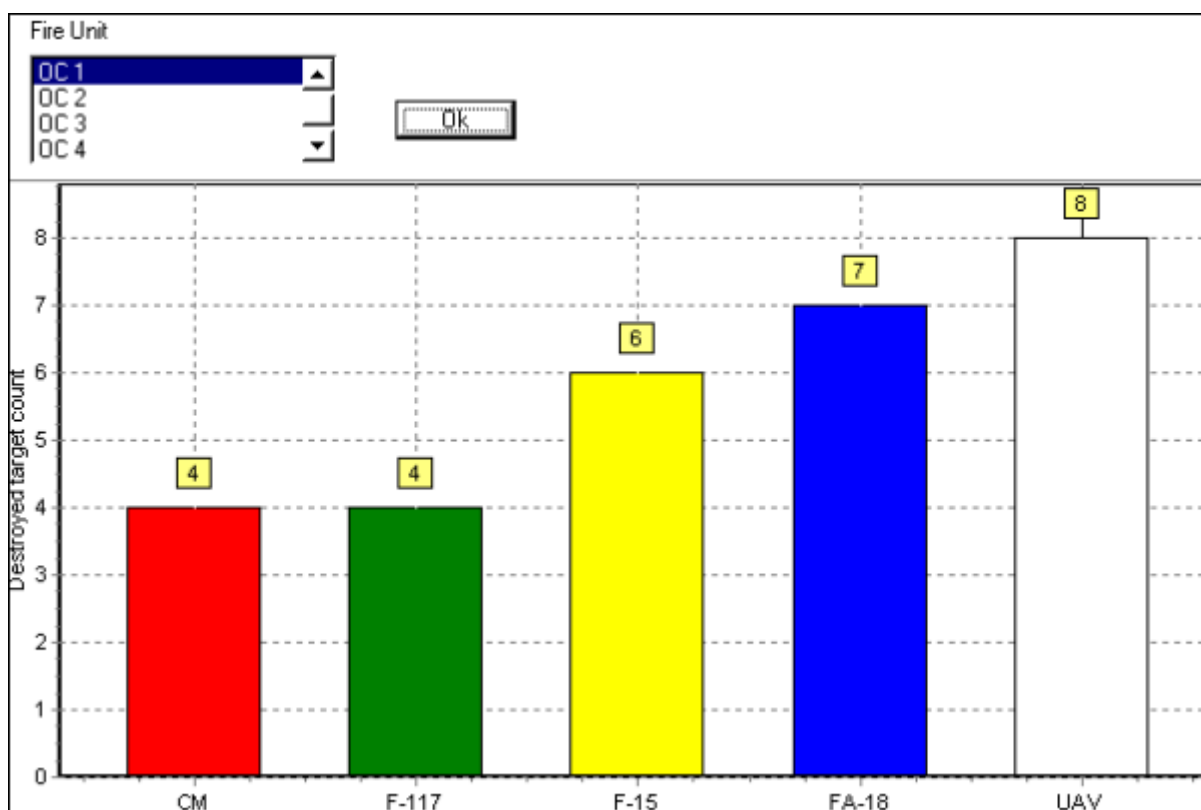
Распределение уничтоженных целей по огневым средствам

На диаграмме отображается количество целей, уничтоженных каждым огневым средством группировки.



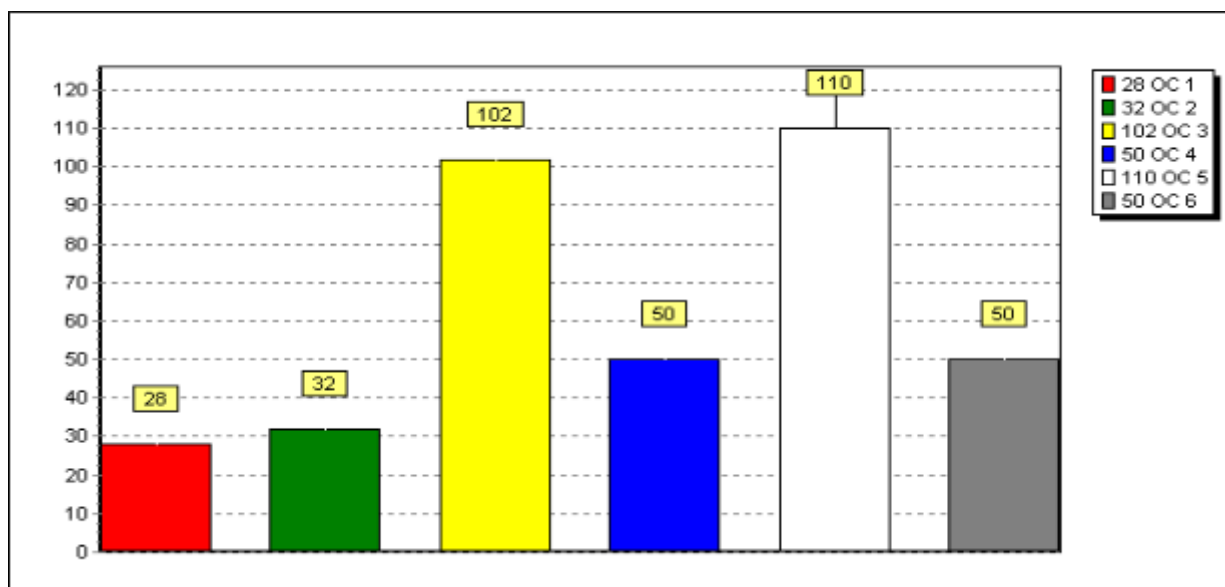
Распределение уничтоженных целей по типам и огневым средствам

На диаграмме отображается количество целей противника по типам, уничтоженных выбранным огневым средством группировки.



Расход ракет по огневым средствам

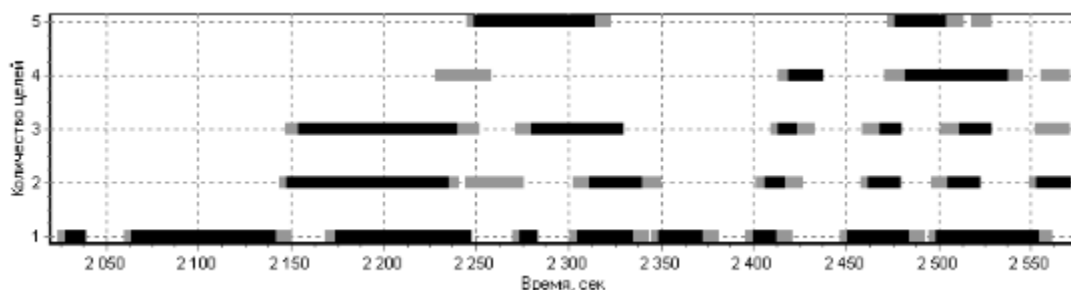
На диаграмме отображается распределение количества израсходованных ракет по огневым средствам группировки.



Программа обработки результатов моделирования позволяет получить отдельно по каждому из огневых средств, предложенных в списке, диаграммы, описанные ниже.

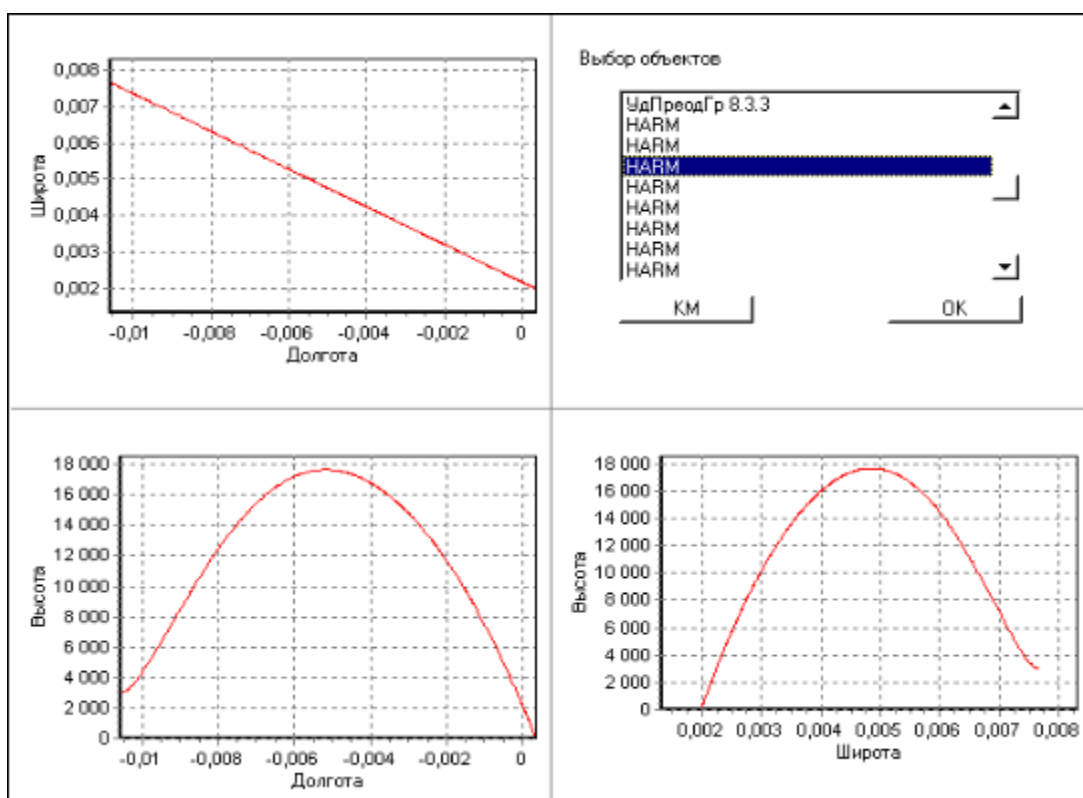
Временная диаграмма работы огневого средства

Отображаются интервалы времени, в которых огневое средство сопровождает цели или наводит на них ракеты.



Траектории движения выбранной цели в различных проекциях

На графиках отображаются проекции траектории движения выбранного объекта



3.4 Исходные данные по вариантам построению моделируемой группировки ПВО

В качестве исходных данных для моделирования был взят сценарий боевых действий между средствами ПВО и СВН, максимально приближенный к реальным действиям в ходе арабо-израильских войн.

Это объясняется тем, что руководство АРЕ и Сирии, в свое время (в 1973 – 1982 г.г.) предприняло ряд мер по повышению боеспособности и боеготовности системы ПВО и закупило у СССР большое количество ЗРК, в том числе ЗРК «Печора» и «Печора-2». Особое внимание было уделено противовоздушной обороне группировок войск и объектов в приграничной зоне. Были созданы мощные зональные эшелонированные по глубине группировки сил и средств ПВО, прикрывающие важнейшие объекты и районы сосредоточения войск. Они обеспечивали уничтожение воздушных целей в широком диапазоне высот и в условиях применения средств РЭБ.

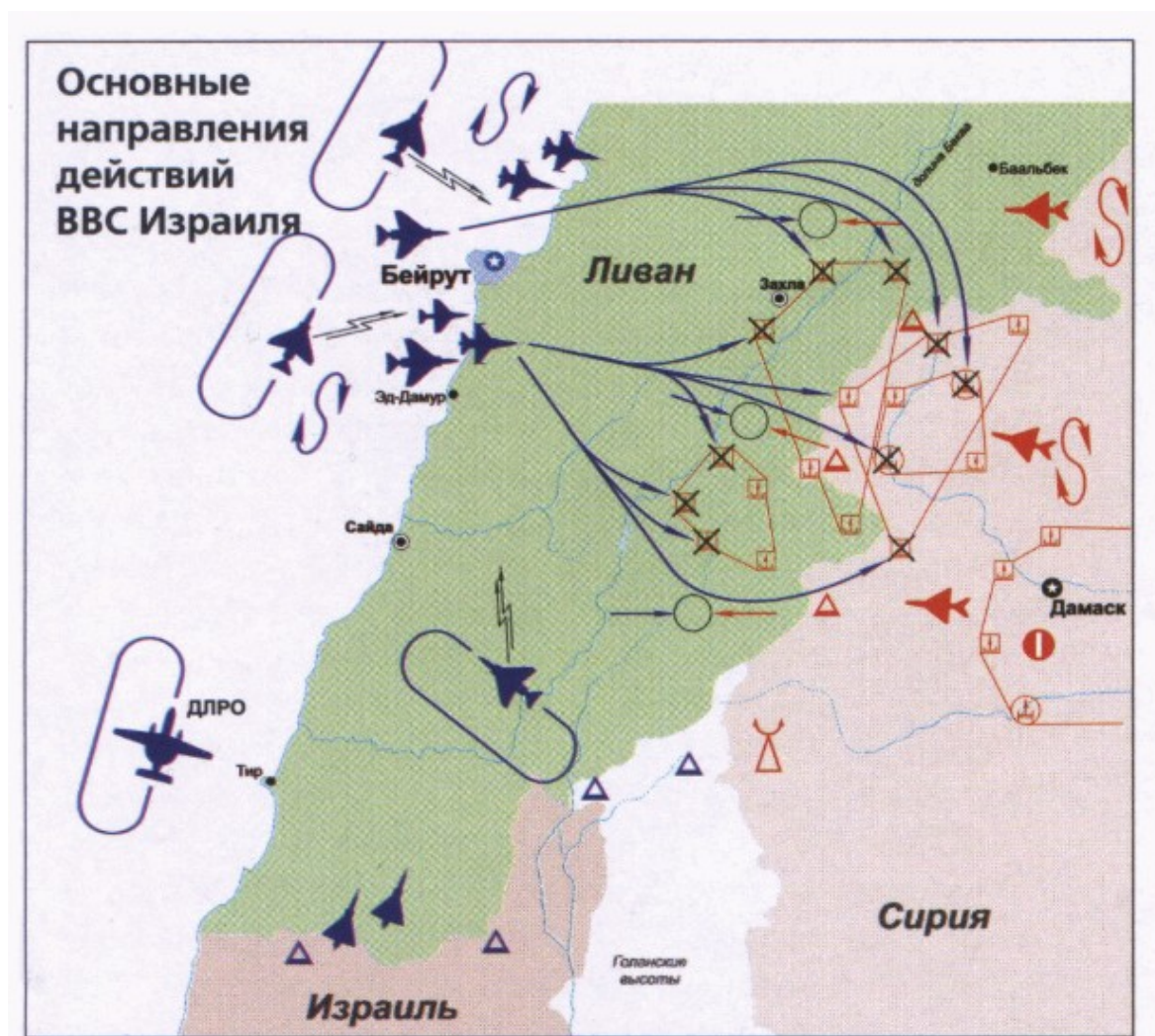
В АРЕ были сформированы 4 дивизии ПВО, насчитывающие 22 зенитные ракетные бригады, 13 зенитных артиллерийских полков (57- и 37-мм зенитные пушки), 23 отдельных дивизиона ЗА и три батальона ПЗРК «Стрела-2». Каир прикрывался тремя смешанными зенитными ракетными бригадами в составе 18 дивизионов (С-75М, С-75, С-125).

Наиболее мощная группировка средств ПВО была развернута на западном берегу Суэцкого канала в составе 8 зенитных ракетных бригад (54 зрдн С-75, С-125 и «Квадрат»). Она прикрывала две армии, коммуникации и аэродромы. Эта группировка имела сплошную зону зенитного огня и сильное непосредственное артиллерийское и ракетное прикрытие.

ПВО Сирии имели 6 зрбр и 16 зенитных артиллерийских полков, а также батальоны (роты) ПЗРК «Стрела-2». Три зрбр были смешанного (зрдн С-75 и С-125) и три — однородного (зрдн «Квадрат») состава. Зрбр «Квадрат» в основном прикрывали войска, а бригады смешанного состава -

Дамаск, важные объекты, аэродромы и коммуникации, одновременно решая задачи прикрытия войск в общей системе ПВО.

Фрагмент конфликта с результатами нанесения ударов по средствам ПВО Сирии в районе долины Бека (Ливан) представлен на рис. 3.16.



- уничтоженные ЗРК

Рис. 3.33

Вариант моделируемой группировки ПВО

Для прикрытия объектов, сухопутных войск, а также городов Захла и Дамаск была развернута группировка ПВО в составе трех бригад «Квадрат» и одной смешанной бригады С-75 и С-125.

Для проведения оценки эффективности боевого применения различных модификаций ЗРК типа С-125 была построена группировка ПВО на базе двух бригад «Квадрат» путем замены 9 ЗРК «Квадрат» на 9 ЗРК «Печора-2А» (Рис. 3.34)

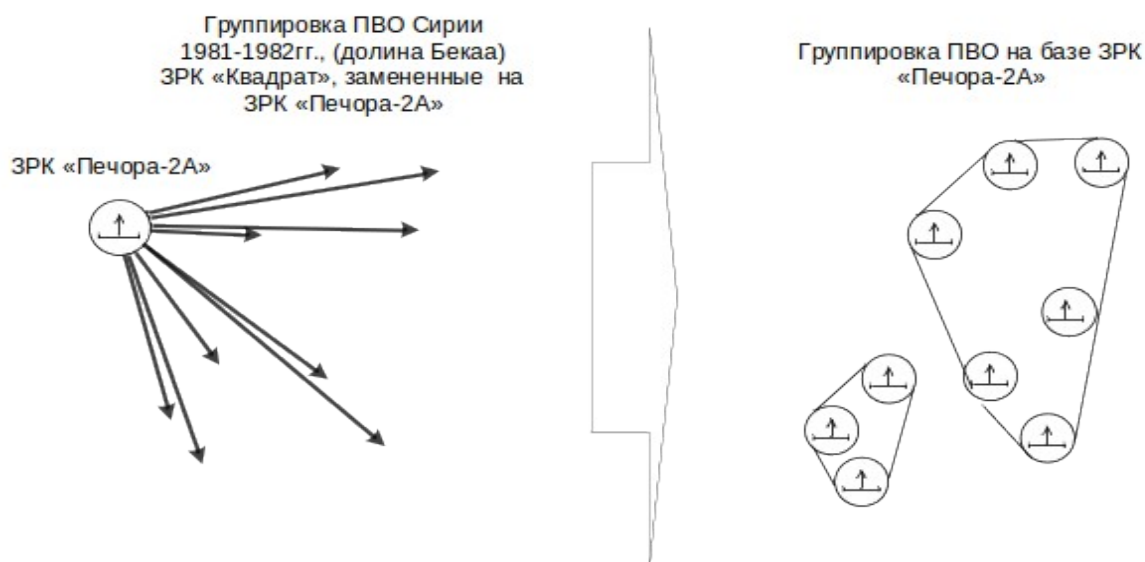


Рис. 3.34 Группировка ПВО на базе ЗРК «Квадрат», С-75, С-125 и на базе ЗРК «Печора-2А».

3.5 Исходные данные по вариантам удара СВН

К 1973 г. Израиль получил из США около 170 самолетов. На 01.10.73 г. в составе израильских ВВС было около 480 боевых и 100 транспортных самолетов, 80 вертолетов. Современные самолеты (типа F-4, А-4, «Мираж») составляли более 60% всего парка. На территории Израиля было оборудовано 14, а на Синайском полуострове - 11 аэродромов с ВПП длиной от 1200 до 3000 м. Это позволило израильтянам провести несколько массированных ударов. Удары наносились с использованием разнообразных тактических приемов, оружия и под прикрытием помех. Их постановка осуществлялась бортовыми средствами ударных и специальных самолетов, а также БПЛА.

Для снижения эффективности ПВО противника широко применялись ПРР, ракеты-ловушки и УАБ.

Фрагмент удара Израильской авиации в ходе боевых действий в районе долины Бека (Ливан) представлен на Рис. 3.33. Основу авиационного парка составили самолеты ТА типа F-4, A-4, «Мираж».

Для проведения оценки эффективности боевого применения различных модификаций ЗРК типа С-125 на основе указанного фрагмента реального удара СВН были сформированы исходные данные по удару СВН для моделирования, в состав которого были включены современные средства воздушного нападения, в том числе ТИ, изготовленные по технологии «Стелс». Схема пространственного построения варианта массированного всевысотного удара СВН представлена на Рис. 3.35.

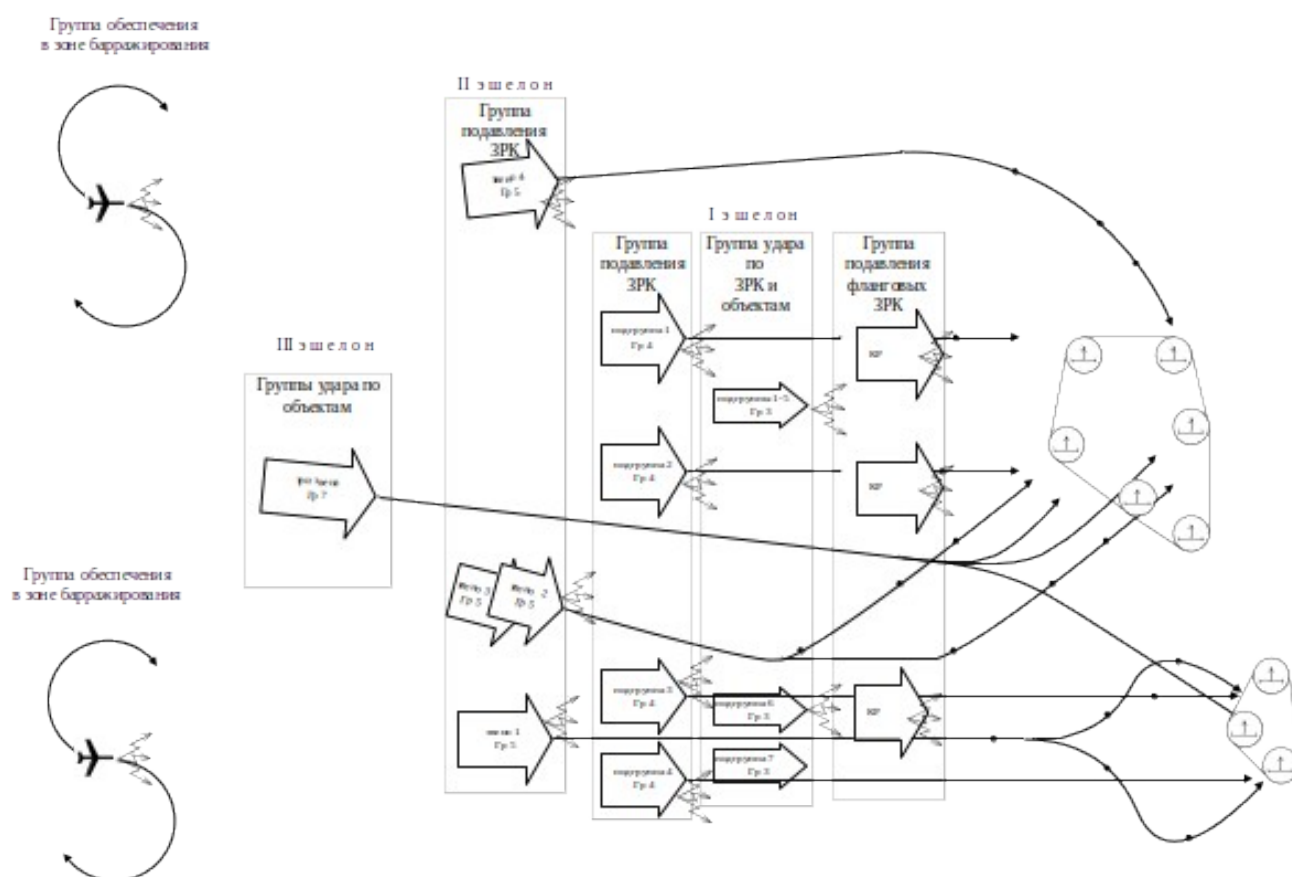


Рис. 3.35. Схема пространственного построения варианта удара СВН

Основной замысел моделируемого удара СВН, наиболее вероятного при ведении военных действий со странами НАТО, состоит в подавлении огневой

и информационной подсистем группировки ПВО, нанесении ударов по объектам. Вариант удара СВН характеризуется большим количественным составом и типажом СВН, сложной помеховой обстановкой, боевым порядком и тактикой применения СВН. Действия СВН прикрываются активными помехами индивидуальной, групповой и коллективной защиты.

Вариант удара включает в себя три эшелона аэродинамических СВН и группу обеспечения.

В состав **группы обеспечения** входят специализированные самолеты постановки помех, осуществляющих прикрытие всех ударных эшелонов из зон барражирования. Специализированный самолет Е-8 «Джистарс» предназначен для ведения радиоэлектронной разведки средств группировки ПВО и выдачи информации на ТИ огневого подавления ЗРК. Специализированный самолет Е-2С «Хоккай» ведет разведку воздушной обстановки и управляет действиями различных групп удара.

Первый эшелон составляют КР и ТИ подавления средств группировки. Боевая задача эшелона состоит в ведении разведки боем преодолеваемой группировки ПВО в интересах второго эшелона и, по возможности, уничтожении элементов этой группировки.

Второй эшелон составляет пилотируемая авиация с ПРР на борту, предназначенная для окончательного поражения элементов группировки ПВО.

Третий эшелон составляет так же пилотируемая авиация (Гр 6, 7), предназначенная для нанесения заданной степени поражения обороняемым объектам удара. В составе третьего эшелона действуют ТИ, изготовленные по технологии «Стелс».

3.6 Результаты сравнительной оценки эффективности боевых действий группировок ПВО на базе ЗРК типа С-125, в том числе поставляемых на экспорт (ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А»)

3.6.1 Результаты сравнительного анализа тактико-технических характеристик ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А»

В качестве моделируемых ЗРК типа С-125 в имитационных экспериментах последовательно использовались ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А».

Основные ТТХ данных типов ЗРК приведены в таблице

ТТХ	Печора-2М	Печора-2А
Типаж поражаемых целей	Б-1Б, Б-2, Ф-111, Ф-16, Ф-117А, «Торнадо», КР «Томагавк» и АЛКМ, вертолетов типа АН-64, (ДПЛА).	Б-52, Б-1Б, ФБ-111, Б-2, Ф-16, Ф-14, А-10, Ф-117А, КР «Томахок» и ДПЛА
Зона поражения (при стрельбе ЗУР 5В27Д) - максимальная наклонная дальность: на высоте 0,5 км на высотах 14-20 км - ближняя граница зоны поражения - нижняя граница зоны поражения - верхняя граница зоны поражения - максимальный курсовой параметр	 20 30 3,5 км 0,02 км до 20 км не менее 16,5 км	 не менее 18 км не менее 28 км 3,5 км 0,02 км 20 км не менее 18 км
Вероятность поражения в условиях отсутствия радио- и оптико-электронного противодействия с ЗУР 5В27Д при стрельбе по цели типа самолет Ф-16 с ЭПР=2 кв. м, летящей со скоростью $V \leq 300$ м/с (высоте полета более 100 м)	не менее 0,72	не менее 0,72
Автоматический захват и автоматическое сопровождение цели телевизионно-оптическим каналом	+	+
Время приведения развернутых средств модернизированного		

комплекса в боевую готовность - из дежурного режима - из режима ожидания	не более 5 мин не более 10 с	не более 5 мин не более 30 с
Дальность обнаружения целей СНР ЗРК с вероятностью не менее 0.5: - с ЭПР 2 кв.м в условиях без помех: на высоте 7 км на высоте 350 м - с ЭПР 2 кв.м в условиях помех ($\sigma=2$ кВт/МГц; Дэкв=100км) - с ЭПР 0,1-0.15 кв.м в условиях без помех на высоте 7 км на высоте 350 м	не менее 69 км не менее 30 км не менее 35 км не менее 30 км не менее 25 км	не менее 69 км не менее 30 км не менее 35 км не менее 30 км не менее 25 км
Помехозащищенность: - обеспечивается поражение целей с эффективной отражающей поверхностью 2 кв. м в условиях воздействия АШП - по ПП специальных видов или ПАП заградительных помех самоприкрытия - в условиях пассивных помех - определение дальности до ПАП методом триангуляции	2 кВт/МГц (Дэкв=100км) + не менее 5 пачек на 100 метров пути +	2 кВт/МГц (Дэкв=100км) + до 6 пачек на 100 метров пути -
Общее количество ПУ	4 (8 – наличии двух антенных постов)	4
Характеристики оптико-электронной системы: - наличие дневного и ночного TV-канала - наличие тепловизора для обнаружения и сопровождения целей - наличие лазерного дальномера	+ + +	+ + +

Анализ основных тактико-технических характеристик ЗРК «Печора-2М» и «Печора-2А» показывает, что ЗРК «Печора», модернизируемые как

АООТ «КБ «Кунцево» так и ОАО «ЦКБ «Алмаз» будут обладать практически одинаковыми огневыми возможностями.

Отличительной особенностью ЗРК «Печора-2М» является возможность подключения к аппаратной кабине УНК двух модернизированных антенных постов УНВ и наличие в ЗРК до 8 ПУ (при обязательном наличии двух антенных постов). Наличие двух антенных постов позволяет осуществлять одновременный обстрел до двух целей с одновременным наведением до четырех ЗУР и определять дальности до ПАП методом триангуляции. Данное преимущество ЗРК «Печора-2М» можно считать условным, так как дополнительные возможности ЗРК достигнуты простым увеличением количества средств в составе ЗРК. Многолетний опыт в области разработки средств ЗРК показывает, что стоимость ЗРК в основном определяется именно стоимостью антенного поста и стоимостью боезапаса ракет. Поэтому, построенные зенитные ракетные группировки на базе (например) 4 ЗРК «Печора-2М» с двумя антенными постами и 8 ПУ в составе каждого ЗРК и на базе 8 ЗРК «Печора-2А» будут иметь равные огневые возможности при одинаковой стоимости.

Поэтому далее приводятся результаты анализа эффективности только для группировки ПВО из ЗРК «Печора-2А».

3.6.2 Результаты оценки эффективности по отражению массированного удара СВН

Оценивалась эффективность боевых действий группировки ПВО, построенных на базе ЗРК «Печора-2А», при отражении массированного всевысотного удара СВН (разд. 3.5) в следующих условиях:

- 1) без радиоэлектронного и без огневого противодействия со стороны воздушного противника;
- 2) без радиоэлектронного противодействия и в условиях огневого подавления средств группировки;

- 3) в условиях помех и без огневого противодействия со стороны воздушного противника;
- 4) в условиях радиоэлектронного и огневого противодействия со стороны воздушного противника.

Для проведения оценок в составе системы моделирования были специально разработаны:

- ☐ модель группировки ПВО;
- ☐ модель СНР ЗРК «Печора-2А»;
- ☐ модель ПУ;
- ☐ модель ЗУР ЗРК «Печора-2А».

Принципы моделирования ЗРК«Печора-2А»

1. Боевая работа ЗРК производилась в централизованном режиме управления от КП группировки. Управление с КП группировки заключалось в координации боевых действий зенитных ракетных дивизионов и в распределении их усилий.

2. Боевая работа ЗРК по цели начиналась с обнаружением ее СРЦ. От СРЦ вводилось ЦУ на СНР.

3. СНР обнаруживала и захватывала цель на автосопровождение (*различные варианты, учитываемые при моделировании*):

- a) радиолокационным каналом (РЛК);
- b) ТВ каналом (ТВК);
- c) ТП каналом (ТПК);
- d) РЛК+ТВК (обнаружение + сопровождение);
- e) РЛК+ТПК (обнаружение + сопровождение);
- f) ОЭС (то есть использование ТВ/ТП каналов и ЛД-канала).

4. При работе только ОЭС измерение дальности осуществлялось ЛД-каналом.

5. Подготовка исходных данных производилось в автоматическим прибором пуска (время подготовки данных 2с).

6. Для обстрела целей назначались 2 ЗУР. Повторный обстрел целей также производилось нарядом из двух ЗУР.

7. В условиях помех имитировалась функционирование средств и алгоритмов защиты от активных помех.

Основные результаты

Результаты эффективность боевых действий группировки ПВО приведены в Табл. 3.3-Табл. 3.4 и представлены на Рис. 3.36-Рис. 3.39.

Табл. 3.3

Показатели эффективности боевых действий группировки ПВО при
отсутствии огневого подавления

Условия	Показатели	
	Относительный коэффициент уничтоженных целей	Средний расход ЗУР на одну пораженную цель
Без помех	1,0	2,3
В условиях помех (РЛК)	0,46	3,1
В условиях помех (РЛК+ТВК)	0,75	2,6
В условиях помех (РЛК+ОЭС)	0,92	2,1

На рисунках условно показано:

1. (РЛК) – функционирование только радиолокационного канала;
2. (РЛК+ТВК) – совместное функционирование радиолокационного и телевизионного каналов;
3. (РЛК+ОЭС) – совместное функционирование радиолокационного канала и оптико-электронной системы СНР (ТВК, ТПК и лазерный дальномер) в целом.



Рис. 3.36



Рис. 3.37

Табл. 3.4

Показатели эффективности боевых действий группировки ПВО в
условиях огневого подавления

Условия	Показатели	
	Относительный коэффициент уничтоженных целей	Средний расход ЗУР на одну пораженную цель
Без помех и без огневого подавления (в соответствии с	1,0	2,3

Табл. 3.3)		
Без помех	0,21	5,6
В условиях помех (РЛК)	0,13	7,67
В условиях помех (РЛК+ТВК)	0,38	3,89
В условиях помех (РЛК+ОЭС)	0,71	2,76

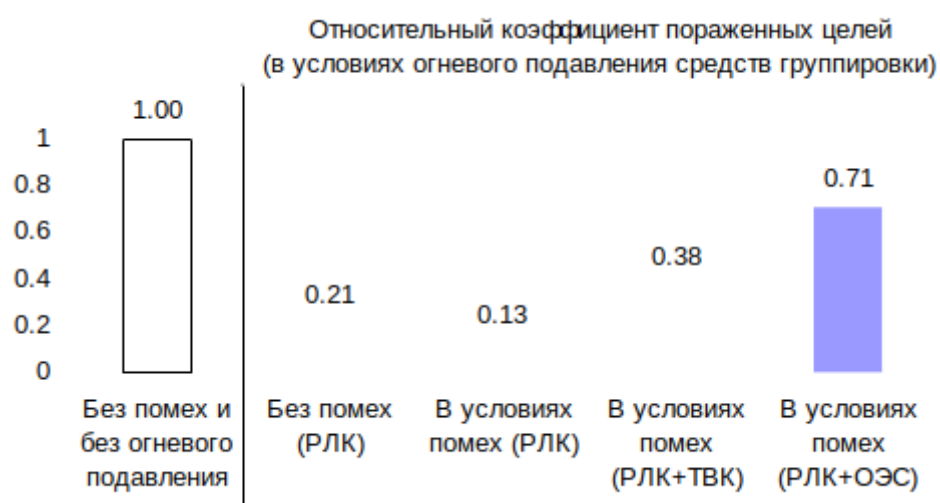


Рис. 3.38



Рис. 3.39

Анализ результатов

1. Модернизированный ЗРК «Печора-2А», разработанный по полной программе ТЗ (в том числе в части ОЭС), будет обладать возможностями борьбы с современными средствами воздушного нападения. Потенциальные возможности СНР (радиолокационного канала и оптико-электронной системы) позволяют обстрелять маловысотные КР, ТИ типа Ф-16 и самолеты «Стелс» - Ф-117. Вероятности поражения цели одной ракетой составят не менее 0.7-0.72. Наличие ОЭС существенно повышает помехозащищенность и живучесть ЗРК.

2. В условиях применения противником помех (из зон барражирования и с боевых порядков) при работе СНР только РЛК эффективность группировки резко снижается:

- а) при отсутствии огневого подавления - на 54%;
- б) в условиях огневого подавления - почти на 80%.

Применение противником тактики комбинированного радиоэлектронного подавления РЭС группировки снижает эффективность реализуемых мер помехозащиты (дальность обнаружения целей СНР снижается почти в два раза) ввиду отсутствия системных мер противодействия со стороны группировки ПВО.

3. Совместное использование РЛК и ТВК повышает огневые возможности ЗРК за счет расширения возможностей СНР по обнаружению и сопровождению целей в условиях помех и огневого подавления. Прирост эффективности группировки составил:

- а) при отсутствии огневого подавления - около 30%;
- б) в условиях огневого подавления - 25%.

В условиях огневого подавления ЗРК также уничтожались вследствие прорыва ТИ с управляемыми ракетами и бомбами к позициям дивизионов.

4. Совместное использование РЛК и ОЭС СНР в целом может существенно повысить эффективность группировки ПВО. Прирост эффективности группировки составил:

- а) при отсутствии огневого подавления - 46%;
- б) в условиях огневого подавления - 58%.

Таким образом, при отсутствии огневого противодействия комплексное применение РЛК и ОЭС СНР может обеспечить полную реализацию огневых возможностей ЗРК «Печора-2А». Эффективность группировки в сложной помеховой обстановке составит 92% от эффективности группировки ПВО при отражении удара СВН в простых условиях, а в условиях огневого подавления – 71%.

5. По результатам моделирования средний расход ракет на одну пораженную цель составил от 2.1 до 3.1 – при отсутствии огневого подавления; от 2.8 до 7.7 – в условиях огневого подавления. Наличие ОЭС существенно повышает устойчивость сопровождения целей в сложной помеховой обстановке, что уменьшает потери ЗУР из-за срыва наведения.

Большой расход ракет в ходе отражения удара СВН в условиях огневого подавления объясняется тем, что, во-первых, ЗРК уничтожались после пуска ЗУР по сопровождаемым целям, во-вторых, неудачными попытками обстрела ПРР. В ЗРК «Печора-2А» не предусмотрена возможность распознавания класса целей (АДЦ, БЦ). Исходные данные для стрельбы по сопровождаемой ПРР готовились как по АДЦ. После пуска ЗУР (в тех случаях, когда прибор пуска выдавал разрешение на обстрел) по ПРР происходило или срыв сопровождения, или выход ПРР из зоны поражения из-за баллистического характера траектории полета ПРР.