

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

## **МЕТЕОНАВИГАЦИОННЫЕ РАДИОЛОКАТОРЫ**

Методические указания  
к лабораторной работе  
по курсу «Системы видео-конференц-связи, телемедицины, дистанционного  
образования и геоинфокоммуникаций»  
для студентов специальности «Системы распределения мультимедийной  
информации» всех форм обучения

Минск БГУИР 2009

УДК 551.508.851(075.8)  
ББК 32.95 я73  
М54

Составитель  
И. И. Астровский

**Метеонавигационные радиолокаторы** : метод. указ. к лаб. работе по М54 курсу «Системы видео-конференц-связи, телемедицины, дистанционного образования и геоинфокоммуникаций» для студ. спец. «Системы распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / сост. И. И. Астровский. – Минск : БГУИР, 2009. – 48 с. : ил.  
ISBN 978-985-488-335-9

Рассматриваются понятия радионавигации и радиолокации, принципы построения, основные параметры и характеристики метеонавигационных радиолокаторов; состав и режимы работы метеонавигационного радиолокатора «Гроза».

Приведены методические указания, порядок выполнения и контрольные вопросы к лабораторной работе.

УДК 551.508.851(075.8)  
ББК 32.95 я73

ISBN 978-985-488-335-9

© Астровский И. И., составление, 2009  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	3
1.1 РАДИОНАВИГАЦИЯ И РАДИОЛОКАЦИЯ.....	3
1.1.1 Радионавигация.....	3
1.1.2 Радиолокация.....	7
1.1.3 Основные принципы и методы радиолокации.....	12
2 МЕТЕОНАВИГАЦИОННЫЕ РАДИОЛОКАТОРЫ.....	20
2.1 Общие сведения.....	20
2.2 Метеонавигационные радиолокаторы.....	23
2.3 Состав, основные параметры и характеристики метеонавигационных радиолокаторов.....	27
2.4 Метеонавигационный радиолокатор «Гроза».....	34
2.5 Основные режимы работы радиолокатора «Гроза»: «Земля», «Метео», «Контур», «Снос» и «Коррекция».....	36
Содержание отчета.....	47
Порядок выполнения работы.....	47
Контрольные вопросы.....	47
Литература.....	48

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить принципы построения, основные параметры и характеристики метеонавигационных радиолокаторов; состав и режимы работы метеонавигационного радиолокатора «Гроза».

## **1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

В современном мире увеличивается количество людей, подверженных риску воздействия метеорологических явлений, поэтому предоставление своевременных прогнозов о возможности их появления может дать положительный результат, причем не только для людей, но и для таких отраслей, как сельское хозяйство, энергетика, экономика, наземный, морской и воздушный транспорт, системы связи и обороны и др.

Большинство сформировавшихся к настоящему времени методов дистанционного наблюдения и исследования атмосферы основано на использовании радиотехнических принципов локации. Данные методы объединяются общим названием «радиометеорология». Широкое применение радиометеорологии обусловлено тем, что в отличие от классических измерителей (плювиограф, барометр и т. п.) они позволяют проводить измерения интегральных характеристик метеообстановки на больших пространствах с одновременной обработкой полученных результатов и представлением их в удобном для потребителя виде.

### **1.1 РАДИОНАВИГАЦИЯ И РАДИОЛОКАЦИЯ**

#### **1.1.1 Радионавигация**

Радионавигация – это совокупность операций по обеспечению вождения движущихся объектов (летательных аппаратов, судов и др.), а также по наведению управляемых объектов с помощью радиотехнических средств. При решении основной задачи навигации – определения местоположения объектов и навигационных элементов их движения – в радионавигации используют как специальные радиотехнические средства, так и применяемые в других областях техники, например в радиолокации и радиовещании. Действие радионавигационных средств основано на использовании особенностей распространения радиоволн.

Радионавигационные средства подразделяют:

– по роду решаемых задач и полноте их решения:

а) радионавигационные устройства (радиопеленгаторы, в том числе радиоконпасы, радиодальномеры, радиомаяки, радиосекстанты и др.), обеспечивающие решение только частных навигационных задач, обычно это определение одной линии (поверхности) положения движущегося объекта;

б) радионавигационные системы, обеспечивающие решение сложных комплексных навигационных задач;

- по используемому диапазону радиоволн (в соответствии с регламентом радиосвязи);
- по параметру радиосигналов, используемому при измерении навигационных элементов;
- по методу определения линий положения;
- по количеству подвижных объектов, обеспечиваемых навигационной информацией.

Радионавигационные средства различаются и по другим классификационным признакам. Например, выделяют автономные и неавтономные радионавигационные средства (по способу управления). К основным радионавигационным средствам можно отнести радиомаяки, радиодальномеры и радиовысотомеры.

**Радионавигационный маяк** – это передающая радиостанция, установленная в известном месте на земной поверхности или на движущемся объекте и излучающая специальные радиосигналы, параметры которых связаны с направлением излучения. Принимая сигналы радиомаяка на борту другого движущегося объекта (корабля, самолета), можно определить направление на маяк (его пеленг). По назначению радиомаяки делят на морские и авиационные. Существуют также радиомаяки, рассчитанные на одновременное обслуживание и морских, и воздушных объектов.

К навигационным радиомаякам условно относят и передающие радиостанции с ненаправленным излучением и отличительными для каждой из станций сигналами (позывными). Радиостанции имеют навигационное назначение, поэтому они получили название ненаправленных радиомаяков.

К радиомаякам условно относят и другие радиостанции с ненаправленным излучением, имеющие различные для каждой станции опознавательные признаки (фиксированные радиочастоты, специальные позывные сигналы) и используемые наряду с их прямым назначением в навигационных целях (вещательные радиостанции, радиоакустические маяки, радиобуи, радиолокационные маяки, аварийные радиомаяки).

**Радидальномер** – это устройство для измерения расстояний по скорости и времени прохождения радиоволн вдоль измеряемой линии и обратно после их отражения от конечной точки этой линии.

Различают радидальномеры:

- с *пассивным отражением* – на вход приемника попадает два сигнала: прямой, непосредственно с радиопередатчика, и запаздывающий (относительно прямого), после отражения его от объекта, расстояние до которого определяется;
- с *активным отражением* – применяется две станции – ведущая и ведомая (располагаемые на концах измеряемой линии). Радиосигналы могут быть импульсные и непрерывные. Радиосигналы, принимаемые ведомой станцией, преобразуются и ретранслируются.

При использовании непрерывных колебаний измерение расстояний производится фазовым методом. Если сигнал выбран с одной несущей частотой, то для определения расстояния волны, принятые ведомой станцией с одной частотой колебаний, можно трансформировать в волны с другой

частотой колебаний, жестко связанной с частотой исходных колебаний, и излучать. При этом для определения расстояния необходимо индикатором на ведущей станции измерить разность фаз излучаемых и принимаемых волн после обратной трансформации их частоты;

– *с импульсным излучением радиосигналов* – излучаемый сигнал представляет собой короткие радиоимпульсы; индикатор измеряет запаздывание отраженного импульса относительно прямого;

– *с непрерывным излучением радиосигналов* – используются радиосигналы с периодически изменяющейся частотой; индикатор измеряет разность частот между прямыми и отраженными колебаниями.

**Радиовысотомер** – это прибор для определения высоты полета летательного аппарата (ЛА), спутника и т. д. путем измерения времени прохождения радиоволн между моментами излучения и приема их прибором после отражения от подстилающей поверхности, от которой отсчитывают высоту полета, полагая скорость распространения радиоволн известной.

Различают радиовысотомеры:

– *с частотной модуляцией излучаемых радиоволн* – используют в авиации преимущественно при малых высотах полета (при заходе самолета на посадку и т. д.). В этом случае радиовысотомер излучает непрерывные радиосигналы, частота которых периодически изменяется по заданному закону. Высоту ЛА определяют по показываемой индикатором прибора разности частот излучаемых и отраженных радиосигналов;

– *с импульсной модуляцией излучаемых радиоволн* – применяют в авиации (например при аэрофотосъемке с больших высот) и в космических полетах (например, для подачи команды на включение тормозного двигателя летательного аппарата на заданной его высоте от поверхности планеты). В этом случае радиовысотомер излучает короткие импульсы радиосигналов. Высоту ЛА определяют путем измерения времени запаздывания отраженных радиоимпульсов относительно радиоимпульсов, непосредственно поступающих в приемник радиовысотомера из передатчика.

Применение радионавигационных методов и средств позволило увеличить точность прохождения маршрутов движущимися объектами и вывода их в заданный район, а также значительно повысить безопасность плавания судов и полетов самолетов в сложных метеорологических условиях. Объединение различных радионавигационных устройств в определенные системы в принципе позволяет обеспечить выполнение всех основных задач навигации. Однако в целях повышения надежности и безопасности вождения объектов в наиболее сложных условиях такие системы на практике используют совместно с нерадиотехническими средствами. Вместе они образуют комбинированные системы навигации.

**Радионавигационная система (РНС)** – это комплекс из нескольких однотипных или разнотипных радионавигационных устройств, взаимодействующих между собой (по радиоканалам или в рамках единой структурной

схемы) и обеспечивающих при совместной работе определение местоположения движущихся объектов и решение других комплексных задач навигации.

Наибольшее распространение в радионавигации получили:

– *гиперболические системы* – определяют координаты в направлении источника сигнала. Для измерения расстояния используются радиосигналы без применения ответчика. Если ответчик может обслуживать одновременно лишь небольшое число пользователей, то число пользователей гиперболической системы не ограничено.

Широко применяется импульсно-фазовая разностно-дальномерная система «Лоран-С» (LORAN – Long Range Navigation). Она принята в качестве стандартной РНС для судоходства в прибрежных водах США. Работая на низких частотах, эта система использует так называемую земную радиоволну, которая огибает поверхность Земли и поэтому в своем распространении не ограничена пределами прямой видимости. Сигналами системы можно пользоваться в радиусе около 2000 км от ее станций, и в большинстве охватываемых зон она обеспечивает точность около 500 м;

– *инерциальные системы* – показания высоты, определяемой средствами данной системы, принципиально неустойчивы. Поэтому многие бортовые системы инерциальной навигации показывают только широту и долготу, а высота, если она необходима, определяется иными средствами;

– *спутниковые системы* – осуществляют навигационное вещание в глобальном масштабе. Пользователь любой спутниковой системы должен знать координаты спутника в момент определения своего местоположения. Поэтому наземные радиостанции определяют параметры орбит и координаты местоположения спутников и передают эти данные на спутники, откуда они в кодированном виде передаются пользователю.

В США была создана спутниковая навигационная система ВМС «Транзит», которая позднее получила название «Навсат» (NAVSAT – Navy Navigation Satellite). Система «Навсат» непригодна для воздушной навигации. В 70-х гг. Министерство обороны США разработало глобальную спутниковую систему местоопределения «Навстар» (NAVSTAR – Navigation Satellite Providing Time And Range), лишенную недостатков системы «Навсат». По-другому эта система называется GPS (Global Positioning System). В конце 90-х гг. она стала доступной и для гражданских пользователей. Система основана на вычислении расстояния от пользователя до спутника по измеренному времени от передачи сигнала спутником до приема этого сигнала пользователем.

### **1.1.2 Радиолокация**

**Радиолокация** – это область науки и техники, предметом которой является радиолокационное наблюдение за различными объектами (целями) – их обнаружение, распознавание, измерение их координат (определение местоположения), производных координат и т. п.

Задачи радиолокации решаются при помощи отдельных радиолокационных станций (РЛС) и сложных радиолокационных систем. С радиолокацией тесно связана радионавигация, часто их методы и аппаратура практически не различаются.

Для радиолокационного наблюдения используют:

- эхосигналы, образующиеся в результате отражения радиоволн от объекта, облученного РЛС (радиолокация с зондирующим излучением);
- сигналы РЛС, переизлучаемые ретранслирующим устройством, находящимся на объекте, местоположение которого определяется (радиолокация с активным ответом);
- собственное радиоизлучение объекта – излучение радиоустройств, находящихся на объекте, или тепловое излучение самого объекта, определяющееся его температурой (пассивная радиолокация).

В радиолокации измеряют расстояние до объекта, направление прихода сигналов (пеленгация), радиальную и угловую скорости движения объекта и т. д. В метеорологии методами пеленгации определяются районы и характер облачности, осадков, зон грозových образований, местоположение представляющих опасность для мореплавания тропических циклонов и т. п. Пеленгацией выпускаемых в атмосферу радиозондов измеряют скорость и направление воздушных потоков на различных высотах, а пеленгацией свободно дрейфующих в воде предметов определяют скорость и направление морских течений.

Главные этапы радиолокационного наблюдения:

- *обнаружение* – процесс принятия решения о наличии целей с допустимой вероятностью ошибочного решения;
- *измерение* – оценка координат целей и параметров их движения с допустимыми погрешностями;
- *разрешение* – выполнение задач обнаружения и измерения координат одной цели при наличии других, близко расположенных по дальности, скорости и т. д.;
- *распознавание* – возможность установления некоторых характерных признаков цели.

Радиолокационное наблюдение за объектами позволяет также выявлять их многие характерные особенности, например, определять параметры ледового покрова водной поверхности, влагосодержание атмосферы, размеры и конфигурацию объекта и т. п. Данные измерений могут быть дискретными (вырабатываемыми через определенные интервалы времени) или непрерывными. Объекты могут быть одиночными или множественными либо представлять собой сплошные образования.

Возможно сложное (комбинированное) наблюдение, например, радиолокационный обзор пространства в некотором секторе, позволяющий производить поиск и обнаружение новых объектов и одновременно непрерывно получать текущие координаты уже обнаруженных объектов. Радиолокационная информация, поступающая от РЛС, транслируется по радиоканалу или по



кабелю на пункт управления. Процесс слежения РЛС за отдельными целями автоматизирован и осуществляется с помощью ЭВМ.

**РЛС** – это радиолокатор, радар, устройство для наблюдения за различными объектами (целями) методами радиолокации. Основные узлы РЛС – передающее и приемное устройства, расположенные в одном пункте (так называемая совмещенная РЛС) или в пунктах, удаленных друг от друга на некоторое расстояние (двух- и многопозиционные РЛС); в РЛС, применяемых для пассивной радиолокации, передатчик отсутствует. Антенна может быть общей для передатчика и приемника (у совмещенной РЛС), или могут применяться отдельные антенны (у многопозиционных РЛС).

В зависимости от способов получения радиолокационного сигнала различают:

– *активную радиолокацию* (активная радиолокация с пассивным ответом) – применяется для получения количественной информации о жидких и твердых осадках, исследования облаков, изучения атмосферной турбулентности, гроз, шквалов, ветра, оценки эффективности активных воздействий на облачные образования, обеспечения безопасности полетов ЛА и т. п.;

– *локацию с активным ответом* (вторичная) – основана на переизлучении первичного излучения своими объектами (ЛА), что повышает надежность и объем получаемой о них информации;

– *пассивную локацию* – используются собственные излучения элементов цели и ее ближайшей окрестности (рисунок 1, г).

**Активная радиолокация** реализуется в результате вторичного излучения (отражения) радиоволн целями. Активный характер локации выражается в использовании передающего устройства (рисунок 1, а), предназначенного для создания достаточно интенсивного первичного излучения или, как говорят, зондирования пространства.

При наличии цели возбуждается вторичное излучение как реакция (пассивный ответ) на зондирование. Вторичное излучение целей наиболее интенсивно в диапазоне от метровых до субмиллиметровых радиоволн. Для больших вторичных излучателей оно наблюдается также в декаметровом диапазоне.

При переходе в субмиллиметровый диапазон радиолокация смыкается с оптической локацией. Вторичное излучение цели улавливается приемными устройствами локатора и подвергается обработке, результат которой затем выдается потребителю.

При совмещении приемной позиции с передающей локационное средство называют однопозиционным, или совмещенным. В совмещенных средствах часто используют одну антенну, поочередно коммутируемую на передачу и на прием.

Наряду с совмещенными могут использоваться разнесенные локационные средства, приемные пункты которых отнесены от передающих на некоторую базу Б (рисунок 1, б). Данные объединяются с помощью линий связи. В общем случае активное локационное средство (система) является многопозиционным, т. е. может содержать несколько приемопередающих, передающих или приемных позиций.

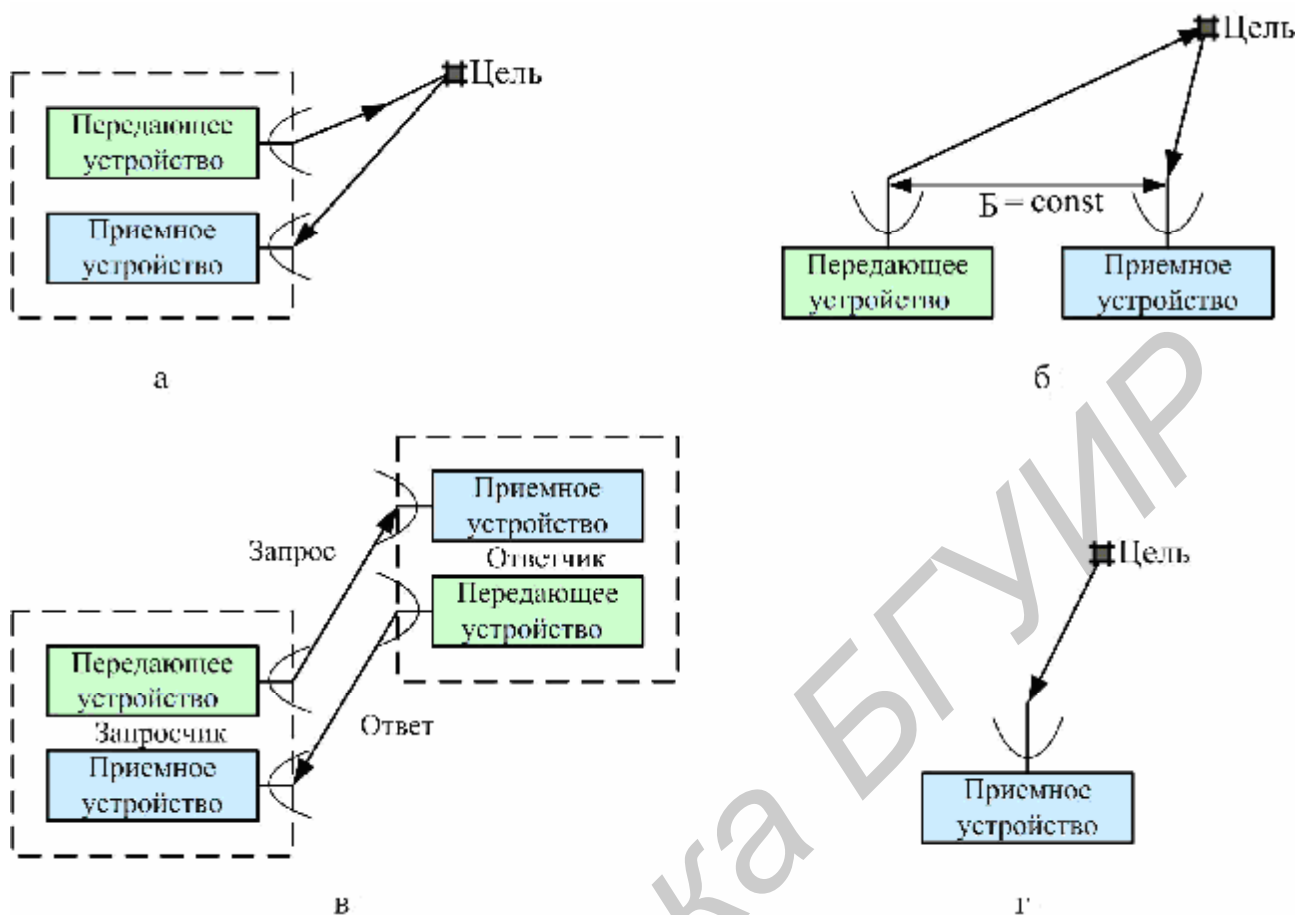


Рисунок 1 – Виды радиолокации

**Активная метеородиолокация** отличается от классической радиолокации в первую очередь тем, что основная информация о микрофизических параметрах метеобъекта содержится в амплитуде отраженного сигнала, а не только в его временном положении относительно момента излучения зондирующего импульса.

Такое отличие приводит к ряду особенностей, как в методах измерения, так и в используемой аппаратуре. Например, перестает быть существенным требование обеспечения максимально возможной чувствительности приемника или, иначе говоря, повышения величины энергетического потенциала станции, поскольку при измерениях микрофизических характеристик метеобъектов чувствительность приемника перестает быть определяющим фактором. Гораздо более значительными становятся требования точности измерения мощности отраженного сигнала и воспроизведения формы этого сигнала.

Данные требования обусловлены тем, что облака и осадки, являющиеся основными объектами исследования в радиометеорологии, будучи полидисперсными средами, состоят из взвешенных и выпадающих капель и ледяных кристаллов, вся совокупность которых, заключенная в некотором объеме, при зондировании воспринимается как единая цель.

Однако в реальности эта цель в значительной степени неоднородна, поскольку состоит из большого числа элементарных отражателей – частиц различного фазового состояния, размера, к тому же неравномерно распределенных в пространстве и находящихся в состоянии постоянного относительно перемещения. В результате мощность принятого отраженного сигнала изменяется от одного зондирующего импульса к другому.

Разновидностями активной радиолокации являются радиогеодезия, планетная радиолокация (планетная радиоастрономия), радиометеорология (радиолокация атмосферы Земли), радиолокация поверхности Земли, в том числе радиоокеанология, подповерхностная радиолокация.

Использование первичного излучения по-прежнему определяет активный характер этого вида локации. Устройство, содержащее источник первичного излучения, называют в данном случае запросчиком, а излучаемые им колебания – сигналами запроса. Особенностью данного вида локации является активный характер ответа на запросный сигнал.

Ответ вырабатывается установленным на объекте приемопередатчиком (рисунок 1, в), называемым ответчиком. Ответный сигнал принимается приемником запросчика. Несущие частоты, законы модуляции (коды) запросных и ответных сигналов могут изменяться в широких пределах. Это позволяет получать данные о наличии объектов, режимах их полета, запасе горючего, опознавать государственную принадлежность объектов, проводить их индивидуальное опознавание и т. д.

Метод радиолокации с активным ответом имеет ряд общих особенностей с запросно-ответным методом радионавигации. На основе совершенствования высокоточных систем единого времени в перспективе возможен переход к активным ответам на заранее запрограммированные вопросы без излучения запросных сигналов. Тогда кодированные ответы будут даваться в кодированные, заранее выбранные моменты времени.

К излучающим элементам в **пассивной локации** можно отнести нагретые участки поверхности (объема), передающие устройства различного назначения (в том числе источники помех), ионизированные образования в окрестности цели.

Наряду с однопозиционными пассивными средствами используют многопозиционные с приемными позициями, объединенными посредством линий связи. Пассивные средства могут сливаться с активными в активно-пассивные (одно- и многопозиционные) системы.

Разновидностями пассивной локации являются основанные на ней звездная радиоастрономия; радиотеплолокация поверхности Земли; работа международных спутниковых систем по обнаружению и измерению координат источников радиосигналов, стандартизованных международными соглашениями (например, предназначенных для поиска и спасения лиц, потерпевших аварию). Свообразными разновидностями систем пассивной радиолокации являются системы радиоэлектронной разведки.

Пассивные РЛС измеряют собственное излучение метеобъектов и решают задачи исследования распределения жидкокапельной влаги в поле кучевых облаков; прослеживания изменения содержания жидкокапельной влаги в конвективных облаках в процессе их эволюции; пространственного распределения жидкокапельной влаги в конвективных облаках; определения полного содержания воды в конвективном облаке и др.

Пассивная локация обеспечивает измерение уровня собственного радиотеплового излучения, источником которого является случайное тепловое движение электронов, находящихся внутри рассматриваемого тела. По уровню радиотеплового излучения атмосферы может быть восстановлен профиль температуры и влажности как в безоблачной атмосфере, так и при наличии облаков или осадков, а также решен ряд других задач: определение интегральных параметров влагосодержания облачной атмосферы, под которыми понимают влагозапас атмосферы, водозапас облаков и среднюю интенсивность дождя.

С практической точки зрения пассивный метод определения водозапаса облаков основан на измерении интегрального ослабления радиоволн или, иначе говоря, оптической толщины жидкокапельной влаги этих облаков и поиске функциональной связи с водозапасом.

Главным недостатком радиометрических методов является невозможность определения пространственных размеров различных облачных или иных образований (например зоны осадков), их дальности.

Таким образом, основным каналом получения информации о состоянии метеобъекта становится пассивный канал, единственный недостаток которого – сложность локализации контролируемых объектов, а активный канал используется для определения расстояния до выявленного объекта и его геометрических размеров, т. е. применяется по такому назначению, на которое не влияют перечисленные выше особенности метеобразований.

### **1.1.3 Основные принципы и методы радиолокации**

Среди многочисленных принципов и методов радиолокации следует выделить те, которые связаны с дальностью действия РЛС, измерением дальности, пеленгацией, защитой от пассивных помех (метод селекции движущихся целей), разрешением (метод бокового обзора), а также моноимпульсную и оптическую радиолокации.

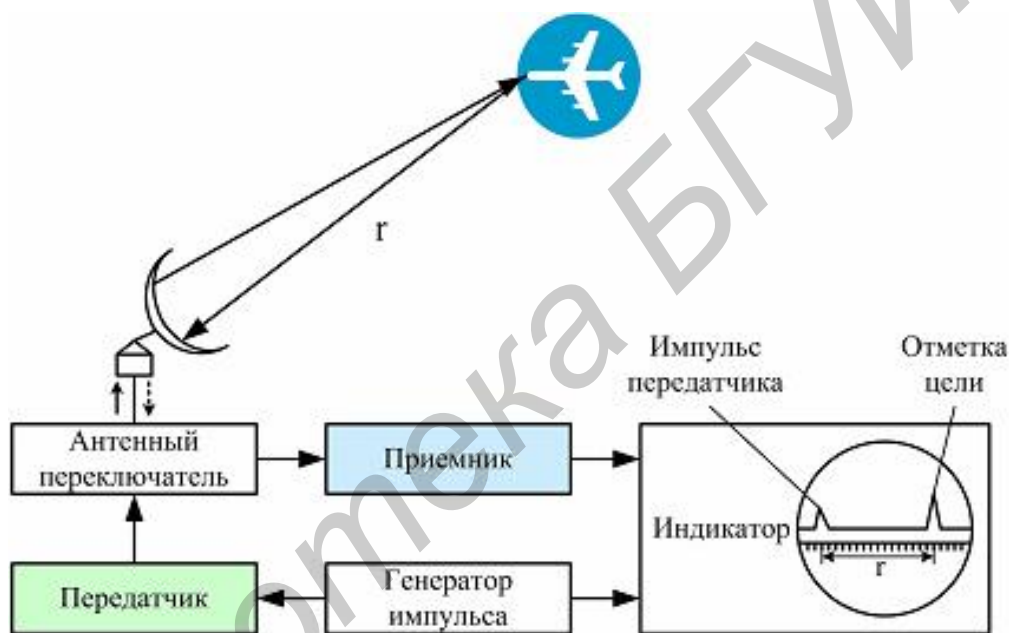
Дальность действия РЛС, использующих отраженные сигналы (в отсутствие пассивных помех), при расположении передатчика и приемника в одном месте определяется согласно основному уравнению радиолокации. В наземных РЛС обнаружения воздушных целей, ожидаемых на некоторой высоте, для рационального использования мощности, излучаемой антенной, выбирают антенны с такой диаграммой направленности, чтобы во всем рабочем секторе обеспечивалось постоянство принимаемых сигналов независимо от дальности.

Скрытые за горизонтом цели наблюдают с помощью радиолокаторов декаметрового диапазона волн (10 – 100 м, 3 – 30 МГц).

Загоризонтные РЛС предназначены для наблюдения за следующими объектами:

- самолетами, вертолетами, крылатыми ракетами над сушей и морем;
- надводными кораблями и состоянием морской поверхности;
- плазменными неоднородностями в космическом пространстве и атмосфере, образованными в том числе при запусках баллистических ракет.

Измерение дальности по отраженным сигналам обычно производится двумя способами. В основу первого (импульсного) способа положено излучение импульса и измерение времени запаздывания отраженного (или ретранслированного) объектом импульса относительно излученного. Измерение облегчается, если отраженный сигнал не накладывается на зондирующий, т. е. объект находится на достаточном удалении от РЛС.



$r$  – расстояние до цели

Рисунок 2 – Схема измерения дальности импульсным методом

В простейшем случае (рисунок 2) для реализации этого способа применяются импульсный передатчик, приемник (обычно супергетеродинного типа), задающий генератор-синхронизатор для запуска передатчика и задания шкалы времени, индикатор осциллографического типа, по шкале которого можно отсчитывать дальность. Модификациями этой схемы являются многошкальные схемы и автодальномеры (следящие схемы).

Важным элементом радиолокатора является синхронизатор (генератор импульса), согласующий во времени работу передатчика и других элементов локатора. Зондирование короткими импульсами обеспечивает одновременность приема и излучения. Это позволяет использовать общую антенну, коммутируемую антенным переключателем на передачу и прием. В момент

зондирования антенна соединена с передатчиком, по окончании очередного зондирования она соединяется с приемником.

Индикаторное устройство используется для обнаружения оператором целей, измерения их дальностей и угловых координат. Цепи автоматики и вычислительной техники связывают индикаторное устройство с антенной, вводят в него информацию о положении характеристики направленности, регулируют положение этой характеристики (цепи управления на рисунке 2 не показаны).

В основу второго способа положено наблюдение интерференции двух непрерывных волн, связанных с зондирующим излучением и отражением от объекта (или ретрансляцией).

При реализации этого способа с зондирующими колебаниями, частота которых модулирована по линейному закону, в смеситель приемного устройства (рисунок 3) поступают колебания передатчика и сигнала ЛА, в результате чего имеют место биения между ними с частотой, пропорциональной измеряемой дальности. После детектирования, усиления и ограничения сигналы поступают на частотомер – счетчик частоты биений, шкала которого может быть проградуирована непосредственно в единицах дальности.

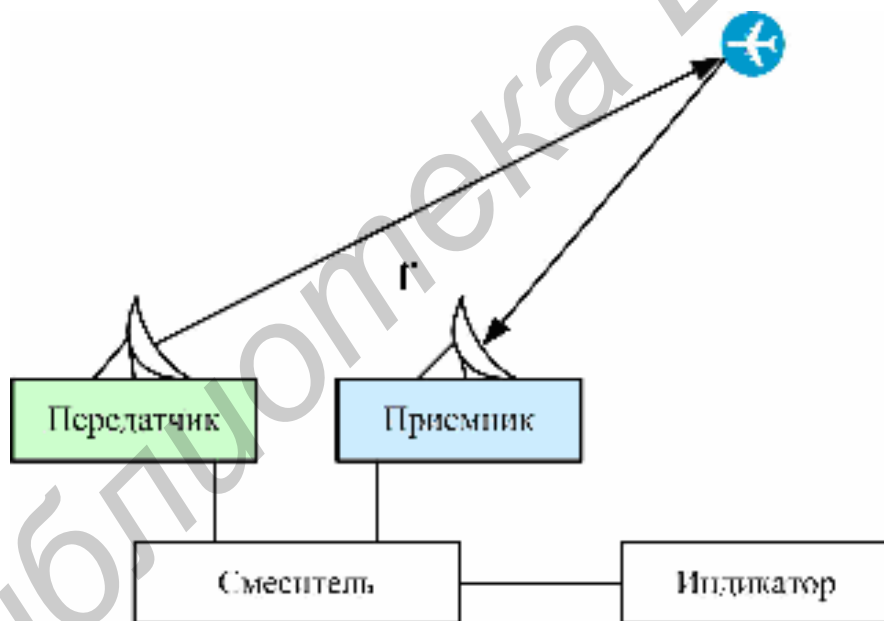


Рисунок 3 – Схема измерения дальности при непрерывных колебаниях

Пеленгация объектов может осуществляться при наблюдении из одного пункта и при разнесенном приеме. В устройствах, расположенных в одном пункте, широкое применение получил метод пеленгации путем сравнения амплитуд сигналов – амплитудный метод, позволяющий получить высокую точность в сочетании с автоматическим слежением за целью по направлению и высоким отношением сигнал/шум.

В простейшем случае достаточно сравнить амплитуды сигналов от объекта в двух положениях диаграммы направленности (ДН) антенны, чтобы по знаку и величине разности этих сигналов (так называемому сигналу ошибки) судить о величине и знаке отклонения направления на объект от равносигнального (в котором сигнал ошибки равен нулю). После усиления сигнал ошибки подается в следящую систему, которая поворачивает антенну вслед за перемещением объекта («следит» за равносигнальным направлением).

Ошибки измерения угловых координат современными РЛС колеблются от единиц градусов до десятых и сотых долей градуса. Меньшие значения ошибок обеспечиваются путем сужения характеристик направленности и сглаживания данных при длительном наблюдении. Сужение характеристик направленности обеспечивают увеличением размеров антенн (от единиц до сотен метров в отдельных случаях) и укорочением длины волны.

Существует два варианта амплитудного метода. В первом необходим только один приемный канал связи с одной антенной. Путем механической или электронной коммутации соответствующих цепей получают два положения диаграммы направленности антенны и вырабатывают сигнал ошибки, который управляет следящей системой. Образование сравниваемых сигналов реализуется последовательно во времени.

Во втором методе, называемым моноимпульсным методом, существует два отдельных приемных канала связи с двумя антеннами, и образование 1-го и 2-го сигналов происходит одновременно.

**Моноимпульсная радиолокация** – это метод измерения РЛС угловых координат объекта, основанный на определении угловой ошибки положения ее антенны, направленной на объект, по принятому одиночному (отраженному или переизлученному объектом) импульсному сигналу. Используется в так называемых моноимпульсных РЛС сопровождения. Основное преимущество этого метода заключается в более высокой точности измерений (ошибки снижаются до десятых долей угловой минуты). Это объясняется нечувствительностью моноимпульсных РЛС к флуктуациям амплитуды принятых сигналов.

Однако реализация этого метода связана с дополнительным усложнением приемного тракта РЛС – с необходимостью использования нескольких приемных каналов (в связи с чем этот метод получил также название *многоканального*).

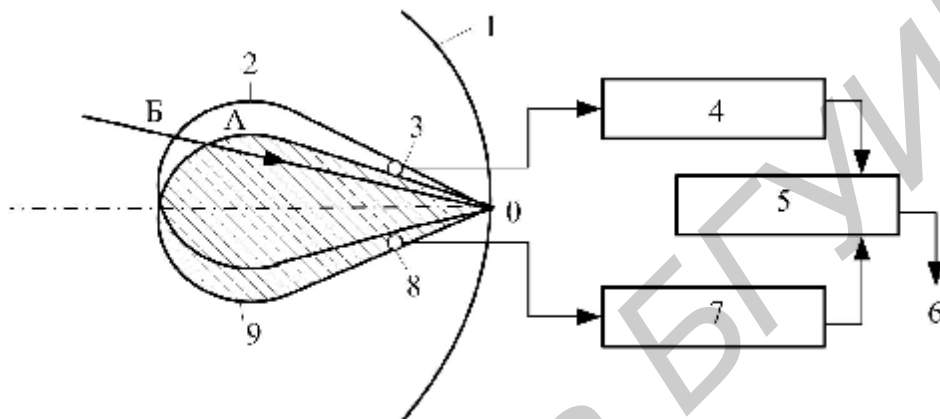
Различают два основных вида моноимпульсных РЛС:

- с амплитудным сравнением сигналов;
- с фазовым сравнением сигналов.

Работа моноимпульсных РЛС основана соответственно на использовании зависимости амплитуды или фазы сигналов, одновременно принятых по нескольким каналам, от направления прихода волн. При определении одной угловой координаты методом сравнения амплитуд для приема сигналов используются два идентичных приемных канала и антенна с двумя облучателями (рисунок 4), смещенными из ее фокуса, вследствие чего направления максимумов их диаграмм направленности образуют некоторый угол.

На рисунке 4 сплошной линией БО показано направление прихода сигнала от объекта, штрихпунктиром – равносигнальное направление; отрезок АО пропорционален амплитуде сигнала в приемнике 1-го канала; отрезок БО – сигналу 2-го канала.

С приемников детектированные в них сигналы подаются на устройство сравнения амплитуд. По отношению амплитуд на его выходе определяются значение и знак смещения направления на объект относительно равносигнального направления (так называемый сигнал ошибки). Сигнал ошибки часто используется для автоматического поворота антенны в направлении на объект.



- 1 – отражатель вращающейся антенны; 2 – диаграмма направленности 2-го канала; 3 – облучатель 1-го канала; 4 – приемник 1-го канала;  
 5 – устройство сравнения амплитуд; 6 – выход к устройству автоматического сопровождения объекта антенной; 7 – приемник 2-го канала;  
 8 – облучатель 2-го канала; 9 – диаграмма направленности 1-го канала  
 Рисунок 4 – Схема определения одной угловой координаты

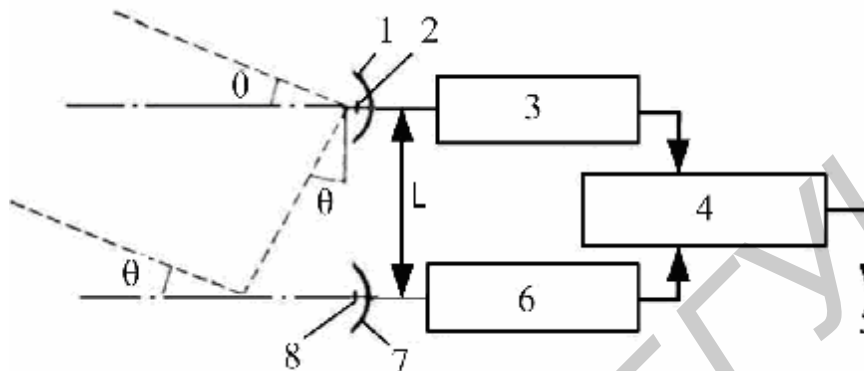
Для определения одной угловой координаты объекта методом сравнения двух фаз используется система из двух антенн (рисунок 5), разнесенных на расстояние  $L$  (база). Сигнал от объекта приходит к антеннам со сдвигом фазы. Принятые сигналы после усиления поступают в фазометр, по которому определяется разность фаз, характеризующая направление на объект в одной плоскости. Для определения двух угловых координат объекта (в ортогональных плоскостях) в моноимпульсных РЛС с амплитудным либо фазовым сравнением сигналов должны использоваться по крайней мере три (обычно четыре) ДН и соответствующее число приемных каналов.

Для углового сопровождения объекта посредством определения угловых координат в двух ортогональных плоскостях с помощью только двух диаграмм направленности совместно используется фазовое и амплитудное сравнение сигналов. Моноимпульсные РЛС со сравнением фаз принятых сигналов на практике применяются реже, чем моноимпульсные РЛС со сравнением амплитуд сигналов. Это вызвано отрицательным влиянием на качество их работы боковых



лепестков диаграммы направленности, свойственных реальным антеннам, и менее эффективным использованием общего раскрытия антенны.

Методы разнесенного приема позволяют достигнуть высокой точности пеленгации путем измерения разности времени прихода сигналов. В зависимости от вида принимаемых сигналов такое измерение может производиться импульсным, корреляционным и фазовым способами.



1 – отражатель 1-й антенны; 2 – облучатель 1-й антенны; 3 – приемник 1-го канала; 4 – фазометр; 5 – выход к устройству автоматического сопровождения объекта антенной; 6 – приемник 2-го канала; 7 – отражатель 2-й антенны; 8 – облучатель 2-го канала; штриховой линией показано направление прихода сигнала от объекта; штрихпунктиром – направление максимумов ДН антенн

Рисунок 5 – Схема определения одной угловой координаты

Большое значение в радиолокации имеет метод селекции движущихся целей – обнаружения отраженных целями сигналов, маскируемых радиоволнами, отраженными от местных предметов – зданий, холмов, леса (при наблюдении низколетящих ЛА и снарядов или объектов, движущихся по земле), волнующегося моря (при наблюдении перископов подводных лодок), «облака» пассивных дипольных помех (при наблюдении воздушных объектов) и т. д.

При этом методе, называемым также когерентно-импульсным, фаза излученных радиоволн запоминается, с тем, чтобы при приеме сигнала, отраженного от объекта, по мере движения объекта можно было фиксировать изменение разности фаз между принятым и посланным сигналами. Для неподвижного или малоподвижного фона помех изменения разности фаз в соседних периодах повторений импульсов близки к нулю, и при помощи устройств компенсации можно эти сигналы подавить, пропустив на выход РЛС только сигналы от движущихся объектов.

Известно два способа реализации такого метода: с передатчиком, фаза колебаний в котором может управляться, и с передатчиком, фаза колебаний которого от посылки к посылке импульсного сигнала случайна. В последнем

случае фаза СВЧ-колебаний магнетрона запоминается путем принудительного фазирования когерентного гетеродина приемника при каждой посылке зондирующего сигнала.

Методы оптимальной обработки сигналов (в когерентных РЛС) позволили получить высокую угловую разрешающую способность РЛС, движущихся относительно объектов (даже если размеры антенны сравнительно невелики, т. е. при широком радиолуче).

Для картографирования местности был разработан метод бокового обзора с синтезированным раскрывом антенны. В РЛС, использующих этот метод, антенна, вытянутая вдоль пути ЛА, принимает от каждой элементарной площадки местности сигналы, различающиеся временем запаздывания (в связи с перемещением ЛА) и частотой Доплера. Так как при оптимальной обработке сигналы запоминаются и суммируются с соответствующими фазовыми сдвигами, то можно получить эффект синфазного сложения сигналов.

Наиболее перспективным направлением в развитии радиолокации считается оптическая локация, несмотря на то что использование оптических локаторов затруднено при сложных метеорологических условиях.

**Оптическая локация** – совокупность методов обнаружения, измерения координат, а также распознавания формы удаленных объектов с помощью электромагнитных волн оптического диапазона – от ультрафиолетовых до дальних инфракрасных. Оптическая локация позволяет с высокой точностью (до нескольких десятков сантиметров) производить картографирование земной поверхности, поверхности Луны, определять расстояние до облаков, ЛА, космических, надводных и подводных (используя зеленый участок спектра) объектов.

Практически создание оптических локаторов с большой дальностью действия, высокими точностью и разрешающей способностью стало возможным только с появлением таких мощных источников когерентного излучения, как оптические квантовые генераторы (лазеры). В оптической локации используются те же принципы определения координат, что и в радиолокации: оптический локатор облучает объект с помощью передатчика и принимает отраженное от него излучение при помощи приемника. Электрический сигнал на выходе приемника содержит информацию о параметрах лоцируемого объекта; характеристики этого сигнала в среднем пропорциональны координатам объекта.

Виды оптической локации:

– **активная** – может проводиться с использованием некогерентных (прожекторных) и когерентных (лазерных) оптических сигналов:

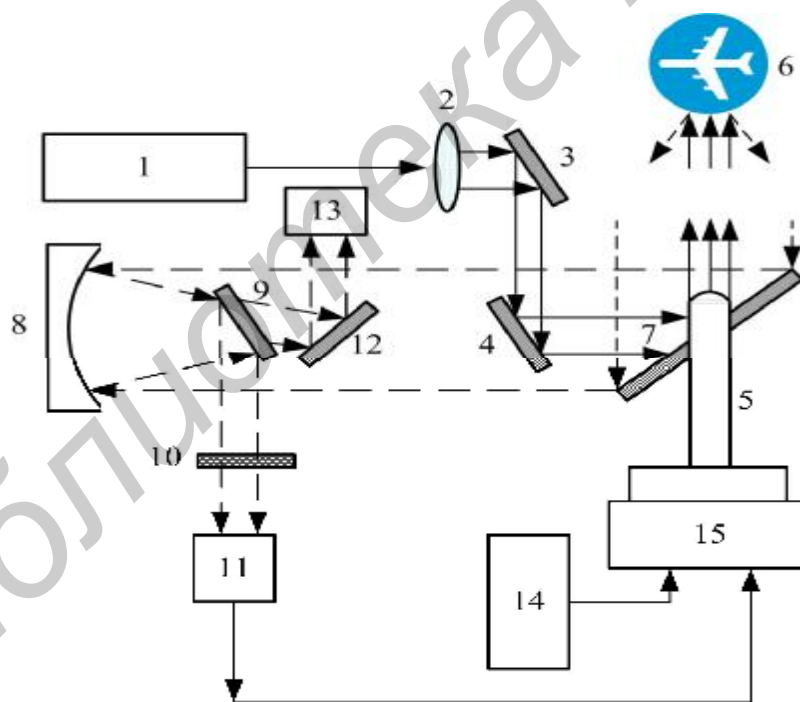
а) *прожекторная локация* – использовалась в период Первой и Второй мировых войн. Отраженные сигналы видимого диапазона наблюдались визуально. Прожекторы обеспечивали большую энергетику излучения, однако его некогерентность снижала возможности угловой концентрации. Прожекторы инфракрасного (ИК) диапазона используются в современных системах ночного видения, содержащих преобразователи ИК принятых изображений в видимые;

б) *лазерная локация* – появилась в начале 60-х гг. в результате создания источников оптического когерентного излучения – лазеров;

– **полуактивная** – использует явление вторичного излучения (отражения) целями оптических волн от источника естественного интенсивного первичного излучения. Чаще всего таким источником является Солнце. Средства полуактивной локации, основанные на этом принципе, называются оптико-электронными станциями. К средствам полуактивной оптической локации можно отнести также биологические зрительные системы. Пренебрегая фактором использования вторичного излучения, оптико-электронные станции часто относят к средствам пассивной оптической локации;

– **пассивная** – использует собственное оптическое излучение нагретых участков поверхности цели или ионизированных образований в ее окрестности. Поэтому средства пассивной оптической локации обычно работают в ближнем ИК-диапазоне. К ним относят ИК-пеленгаторы, тепловизоры, тепловые головки самонаведения, пассивные приборы ночного видения и др. Средства пассивной оптической локации играют важную роль в системах предупреждения о ракетном нападении и противоракетной обороны.

Схема одного из типов оптического локатора для слежения за авиационными и космическими объектами показана на рисунке 6.



- 1 – передатчик (лазер); 2 – коллиматор; 3, 4, 8, 12 – зеркала; 5 – передающая оптическая система; 6 – лоцируемый объект; 7 – приемная оптическая система; 9 – полупрозрачное зеркало; 10 – узкополосный оптический фильтр; 11 – диссектор; 13 – приемник дальномерного устройства (фотоэлектронный умножитель); 14 – устройство ручного управления; 15 – следящая система; пунктиром показан ход лучей, отраженных от объекта
- Рисунок 6 – Схема и принцип действия оптического локатора

Луч лазера, пройдя через коллиматор, направляется на объект системой зеркал. Отраженный от объекта луч улавливается плоским зеркалом и направляется на параболическое зеркало, с которого поступает одновременно на диссектор (или матрицу фотоприемника) для определения угловых координат и на фотоэлектронный умножитель для определения дальности объекта. Электрические сигналы с диссектора подаются в следящую систему, управляющую положением передающей и приемной оптических систем локатора.

Основными преимуществами оптических локаторов перед радиолокаторами являются большая точность определения угловых координат объектов (по максимуму отраженного сигнала) и высокая разрешающая способность по дальности. Кроме того, оптический локатор обладает высокой угловой разрешающей способностью, которая обусловлена очень высокой направленностью излучения, т. е. способностью различать два соседних равноудаленных объекта. Высокая разрешающая способность оптического локатора дает возможность решать задачу распознавания формы объектов.

## **2 МЕТЕОНАВИГАЦИОННЫЕ РАДИОЛОКАТОРЫ**

### **2.1 Общие сведения**

Под *навигацией воздушных судов (ВС)* понимают науку о методах и средствах получения информации о положении и движении воздушного или космического объекта, методах и средствах их вождения из одной точки пространства в другую по обусловленным траекториям в установленное время с требуемой точностью и безопасностью перемещения. Основными задачами навигации является обеспечение точного перемещения летательного аппарата по заданной траектории и его точного вывода в заданный пункт в заданное время наиболее выгодным для данных условий полета способом.

Выполнение заданной программы перемещения ВС делится на этапы, последовательное и успешное решение которых обеспечивает выполнение конкретной задачи. Режим навигации ВС определяется совокупностью большого числа навигационных элементов (НЭ), которые представляют собой геометрические или механические величины, описывающие положение и перемещение ВС. К числу основных НЭ относят элементы, характеризующие положение и перемещение центра масс ЛА относительно различных систем отсчета – это координаты объекта, его линейные скорости и ускорения. В зависимости от масштабов перемещения ЛА системы координат могут быть местными, глобальными и космическими.

Местные системы координат, начало которых связывается с объектами на земной поверхности, используются в качестве систем отсчета при небольших перемещениях ЛА, когда кривизной Земли можно пренебречь. Глобальные системы координат жестко связаны с центром Земли и используются при навигации вокруг земного шара. Наиболее распространенными являются географическая и геоцентрическая системы координат.

Важными навигационными элементами полета ВС являются его земная, путевая и воздушная скорости. В каждый момент времени скорость полета ВС относительно земной системы координат, именуемая полной путевой скоростью  $\vec{W}$ , равна векторной сумме скорости перемещения ВС относительно воздушной среды  $\vec{V}$  и переносной скорости его движения вместе с воздушной средой  $\vec{v}$ .

Проекция треугольника, образованного составляющими скорости полета ВС на горизонтальную плоскость, называется *навигационным треугольником скоростей*. Составляющая вектора  $\vec{W}$  в горизонтальной плоскости называется путевой скоростью  $\vec{W}_\Pi$ , в вертикальной – скоростью подъема или спуска  $W_B$ . Угол между векторами  $\vec{W}_\Pi$  и  $\vec{V}$  в горизонтальной плоскости называется *углом сноса*  $\alpha$ . Основные параметры навигационного треугольника скоростей показаны на рисунке 7.

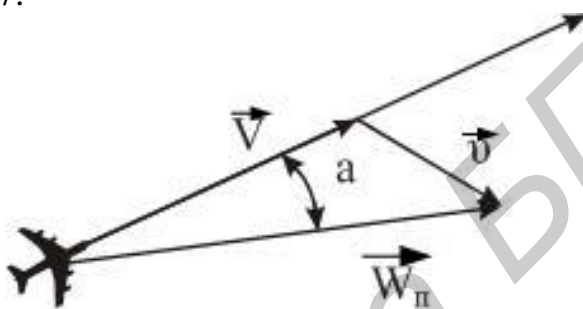


Рисунок 7 – Основные параметры навигационного треугольника скоростей

Элементы, определяющие пространственное положение и перемещение центра масс ЛА: угловые координаты объекта в горизонтальной системе координат (крен, тангаж, курс), угловые координаты ЛА относительно вектора скорости (углы атаки, скольжения и т. д.). **Крен** – отклонение судна (самолета или корабля) от вертикали в поперечной плоскости. **Тангаж** – угловое вращение или раскачивание судна (самолета или корабля) вокруг поперечной горизонтальной оси (главной поперечной оси инерции), т. е. когда судно «кивает». Угол этого вращения называется *углом тангажа*.

В авиации различают тангаж с увеличением угла (когда нос поднимается вверх) – *кабрирование*, и тангаж с уменьшением угла – *пикирование*. **Курс** – угол в горизонтальной плоскости опорной системы координат (например географической) между направлением, принятым за начало отсчета, и проекцией продольной оси ЛА, отсчитываемой по часовой стрелке.

Среди большого многообразия технических средств измерения навигационных элементов полета важное место занимают радиотехнические средства. Физической основой функционирования радиотехнических средств (в составе радиоэлектронного оборудования (РЭО)) ВС является ряд свойств электромагнитных волн формирователей и переносчиков информации о навигационных элементах полета.

К основным свойствам электромагнитных волн относят:

– распространение на большие расстояния;

- огибание препятствий и возможность отражения при длинах волн, много меньших размеров препятствий;
- направленное излучение и прием;
- распространение по кратчайшему расстоянию в пределах прямой видимости с – высокостабильной скоростью, близкой к скорости света;
- возможность направленного излучения и приема коротких волн;
- обеспечение высокой точности измерений практически в любых метеорологических условиях.

Определение местоположения самолета с помощью РЭО требует использования наземных или космических радионавигационных точек (радиомаяков), относительно которых измеряются дальности (расстояния), разности или суммы дальностей и ряд других геометрических величин.

Особенностью РЭО является чувствительность к радиопомехам внутреннего и внешнего происхождения (внутренние помехи связаны с функционированием конкретного радиотехнического измерительного средства). Надежность РЭО зависит от степени совершенства отдельных радиоэлектронных устройств (РЭУ), качества технического обслуживания и условий технической эксплуатации бортового оборудования.

Для выполнения задач навигации необходима надежная радиосвязь между экипажем самолета и наземными центрами управления воздушным движением (УВД). Благодаря радиосвязи эти центры получают информацию о ходе полета, об отклонениях от плана полета, особых случаях в полете, о действительных метеоусловиях на отрезках маршрута и т. д. Таким образом, информация, которой обмениваются экипажи с наземными пунктами управления, позволяет быстро формировать и оперативно корректировать истинную картину быстроизменяющейся обстановки в воздухе и на земле, без которой обеспечение безопасности полетов невозможно.

Управление воздушным движением немислимо без развития сети наземной авиационной связи, способной обеспечивать оперативный обмен информацией между взаимодействующими аэропортами и центрами управления, а также обмен информацией по управлению производственной и коммерческой деятельностью авиапредприятий, между центральными и местными службами гражданской авиации.

Авиационная воздушная связь должна быть непрерывной, бесперебойной, бесподстроечной и надежной. Основным диапазоном связи высокой надежности при больших расстояниях прямой видимости между ЛА и наземным центром управления движением определен диапазон метровых волн. Декаметровый диапазон (10 – 100 м), обладая большой дальностью связи, не обеспечивает высокой надежности связи. Дальность связи в диапазоне МВ определяется простым эмпирическим выражением  $r = (3,87 - 4,1)\sqrt{h}$ , где  $h$  – высота полета ЛА, м. При  $h \gg 10^4$  м получаем дальность связи в пределах прямой видимости  $r = (370 - 410)$  км.

Одной из областей применения радиолокации является метеонавигационная радиолокация. Большинство современных воздушных судов оснащены метеонавигационными радиолокаторами, которые выполняют ряд важных функций.

## 2.2 Метеонавигационные радиолокаторы

Метеонавигационные радиолокаторы (МНРЛ) устанавливаются в следующих целях:

- обнаружение находящихся в передней полусфере ЛА опасных для полета зон активной грозовой деятельности и мощной кучевой облачности с повышенной турбулентностью и определения их полярных координат (азимута и дальности);

- получение радиолокационной карты земной поверхности перед ЛА для облегчения ориентации экипажа по характерным наземным объектам;

- обнаружение горных массивов и отдельных горных вершин, а также ЛА над ними; измерения угла сноса самолета при полете над сушей.

Указанная информация выдается экипажу ЛА на визуальном индикаторе. Основное назначение такого метеонавигационного радиолокатора состоит в определении углового положения и дальности до грозового метеообразования (ГМО). Кроме того, МНРЛ определяет дальность до наземных ориентиров.

ГМО называют атмосферный объем, заполненный взвешенными частицами воды в парообразном, жидком и твердом состояниях. Среди метеобразований наиболее опасными считаются грозовая облачность, ливневые осадки и туманы. Информация о ГМО отображается на электронно-лучевом индикаторе РЛС, размещенном в кабине экипажа. В перспективных МНРЛ предусматривается выдача информации в навигационный комплекс. Функции МНРЛ зависят от класса радиолокатора. Классификация МНРЛ основана на различиях максимальной дальности  $D_{\max}$  и показателя энергетического потенциала  $PI$  в режиме обнаружения ГМО:

- I класс –  $PI = 119$  дБ,  $D_{\max} = 550$  км, предназначен для установки на сверхзвуковых, дальних и средних магистральных ЛА;

- II класс –  $PI = 111$  дБ,  $D_{\max} = 350$  км – ближние магистральные и тяжелые ЛА местных воздушных линий (МВЛ);

- III класс –  $PI = 101$  дБ,  $D_{\max} = 100$  км – легкие самолеты МВЛ и вертолеты;

- IV класс –  $PI = 90$  дБ,  $D_{\max} = 100$  км – вертолеты.

В таблице 1 рассмотрены функции МНРЛ.

Таблица 1 – Функции МНРЛ в зависимости от класса

Выполняемая функция	Класс МНРЛ			
	I	II	III	IV
Обнаружение, определение координат и степени опасности ГМО	+	+	+	+

Продолжение таблицы 1

Выполняемая функция	Класс МНРЛ			
	I	II	III	IV
Получение радиоконтрастного изображения земной поверхности и определение координат наземных объектов	+	+	-	+
Навигационный обзор земной поверхности с использованием симметричной диаграммы направленности и определение координат наземных объектов	-	-	+	-
Измерение угла сноса ВС	-	-	+	+

Особенностью МНРЛ является их автономность. Информация о координатах и характере радиолокационных объектов извлекается из отражений объектами зондирующего сигнала. Положение ГМО и наземных ориентиров определяется по результатам измерения дальности и курсового угла отражающего объекта, а характер последнего – по интенсивности отраженного сигнала.

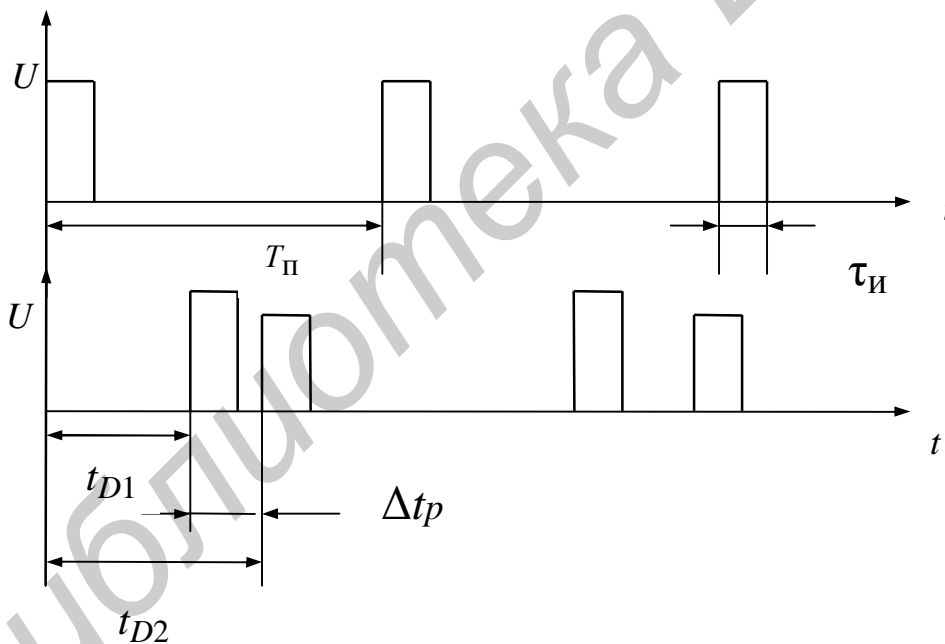


Рисунок 8 – Форма импульсов отраженных и зондирующих сигналов

Дальность до цели находят по времени запаздывания  $t_D = 2D/C$  отраженного сигнала. Зондирующие сигналы, а следовательно, и отраженные сигналы имеют форму импульсов (рисунок 8) с длительностью  $\tau_{\text{и}}$  и периодом повторения  $T_{\text{п}}$ .

Значение  $T_{\text{п}}$  выбирается из условия однозначного отсчета дальности:



$$T_{\Pi} \geq 2D_{\max}/C,$$

где  $D_{\max}$  – максимальная дальность действия МНРЛ.

Время  $t_D$  определяют по расстоянию  $L_{\Pi}$  между началом развертки на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и отметкой от цели (объекта) (рисунок 9). Курсовой угол цели  $\varphi_{\Pi}$  определяется с помощью антенны с узкой ДН в горизонтальной плоскости (плоскости развертки) на экране ЭЛТ.

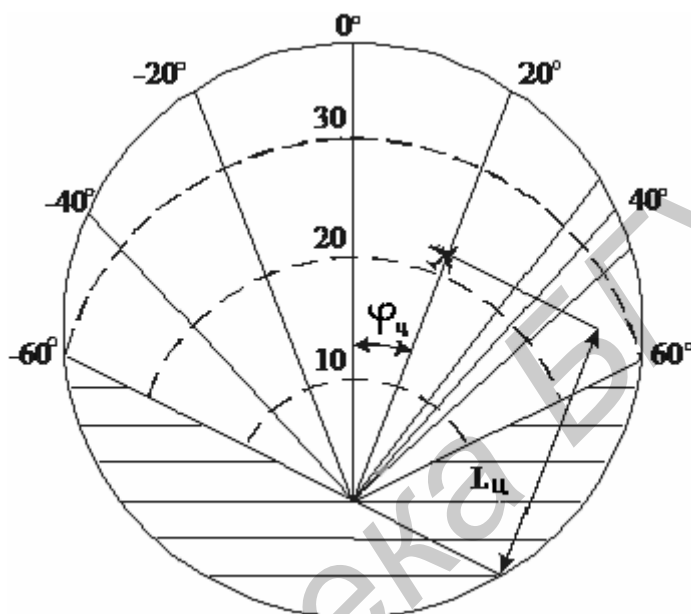


Рисунок 9 – Развертка сигнала на экране ЭЛТ

Характер отражающего объекта (в том числе и степень опасности ГМО) определяется обычно по яркости отметки от цели. Эта яркость зависит от эффективной площади рассеяния (ЭПР) и расстояния до объекта.

При наблюдении за наземными объектами зависимость мощности радиолокационного сигнала от расстояния устраняется использованием специальной ДН, называемой «косекансной» в вертикальной плоскости. Более яркие отметки соответствуют объектам с большей ЭПР вне зависимости от удаления последних от МНРЛ.

Детальность радиолокационного изображения зависит от разрешающей способности МНРЛ. Разрешающая способность по дальности определяется длительностью импульса  $\tau_{\text{и}}$ , разрешающей способностью ЭЛТ и искажениями формы импульса при обработке. Потенциальная разрешающая способность по дальности равна  $0,5c\tau_{\text{и}}$  и соответственно такому  $\Delta D$  (рисунок 10), когда отметки от двух объектов, находящихся на экране ЭЛТ ( $Q_1$  и  $Q_2$ ), наблюдаются раздельно  $\Delta D_{\min} = 0,5c\tau_{\text{и}}$ .

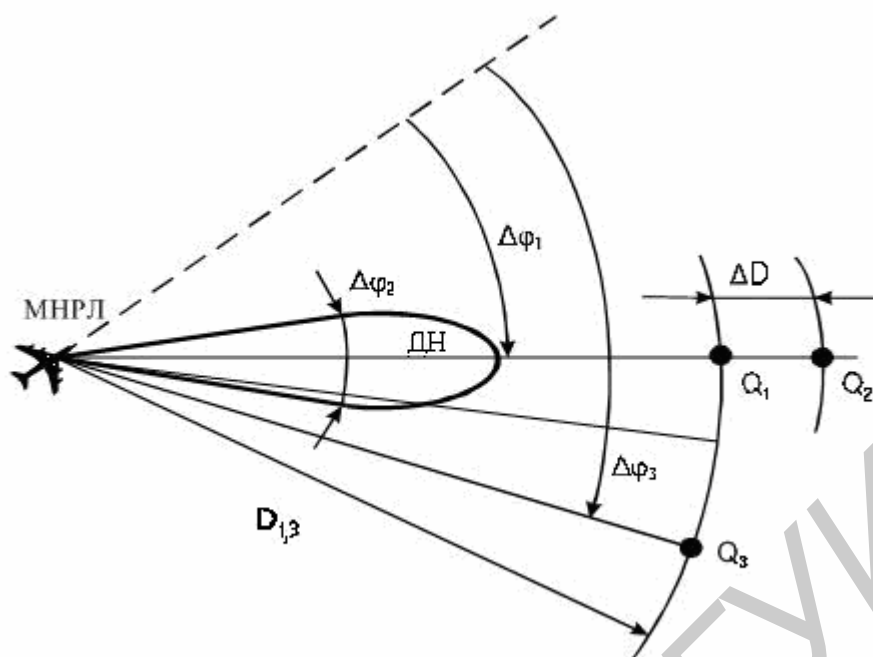


Рисунок 10 – Разрешающая способность МНРЛ по дальности

Разрешающая способность по азимуту определяется главным образом шириной ДН в азимутальной плоскости. Объекты  $Q_1$  и  $Q_3$ , находящиеся на одинаковой дальности  $D_{1,3}$ , наблюдаются на экране ЭЛТ отдельно, если

$$|(\varphi_3 - \varphi_1)| > \Delta\varphi.$$

Для определения составляющих вектора скорости ЛА относительно поверхности, отражающей электромагнитные колебания, предназначены доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС). Если такой поверхностью является земля, то с помощью ДИСС определяются составляющие вектора полной путевой скорости  $\vec{W}$ . Проекция вектора полной путевой скорости на земную поверхность называется *путевой скоростью самолета*. Она представляет собой геометрическую сумму векторов воздушной скорости и скорости ветра.

Угол сноса можно грубо измерить, используя ручной поворот антенны МНРЛ в горизонтальной плоскости (режим «СНОС»). Метод измерения основан на эффекте Доплера и заключается в наблюдении биений между частотами сигналов  $\Delta\varphi$ , отраженных в пределах ДН. При установке максимума ДН по направлению вектора путевой скорости  $\vec{W}$  разность доплеровских частот  $F_{д1}$  и  $F_{д2}$ , соответствующих границам ДН, минимальна. На детекторе приемника МНРЛ возникают биения с частотой  $F_{б} = |F_{д1} - F_{д2}|$ . Отклонение максимума ДН от направления  $\vec{W}$  приведет к увеличению  $\vec{W}$ . Напряжение с частотой  $F_{б}$  модулирует принимаемый сигнал, а следовательно, и яркость отметки цели на экране ЭЛТ.

Отсчет угла сноса осуществляется по азимутальной шкале индикатора МНРЛ. Антенну поворачивают в такое положение, при котором «мигание» отметки цели происходит с наименьшей частотой.

### **2.3 Состав, основные параметры и характеристики метеонавигационных радиолокаторов**

Основные принципы работы МРЛС не отличаются от работы обычных импульсных РЛС. Однако задачи, решаемые МРЛС, существенно влияют на их структуру.

В состав схемы МНРЛ входят:

- передатчик, который вырабатывает зондирующие импульсы заданной мощности и длительности;
- антенный переключатель, обеспечивающий поочередное подключение передатчика и приемника к общей антенне;
- приемник, осуществляющий необходимую обработку отраженного от объекта сигнала;
- индикатор, который отображает полезную информацию;
- механизм поворота и стабилизации антенны (МПСА), который обеспечивает управление положением ДН в пространстве и независимость этого положения от угловых колебаний ЛА.

Сигналы, необходимые для стабилизации антенны, формируются бортовыми датчиками пространственного положения (ДПП) ЛА. На индикатор могут подаваться сигналы от внешних устройств с целью передачи экипажу дополнительных сведений. Индикатор, кроме отображения отметки от радиолокационной цели, может выполнять функцию синхронизатора передатчика, управляя его запуском, устройством временной автоматической регулировки усиления и режимом сканирования антенны.

Однако в широко применяемых МНРЛ индикатор выполняет только функции отображения радиолокационной информации.

Обобщенная структурная схема МНРЛ представлена на рисунке 11.

Метеорологический радиолокатор работает в следующих режимах:

- режим кругового обзора – антенна вращается в горизонтальной плоскости с частотой 6 оборотов в минуту при постоянном угле наклона в вертикальной плоскости. На индикаторе кругового обзора создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции;
- режим ступенчатого обзора – антенна вращается в горизонтальной плоскости, а ее наклон в вертикальной плоскости изменяется после оборота антенны. Величину изменения наклона антенны после каждого оборота можно регулировать от  $0^\circ$  до  $50^\circ$ . Указанным образом наклон антенны в вертикальной плоскости в данном режиме изменяется в пределах от  $1^\circ$  до  $110^\circ$ . На индикаторе кругового обзора (ИКО) создается общая картина состояния атмосферы в зоне действия станции;

– режим вертикального обзора – антенна качается в вертикальной плоскости с частотой два качания в минуту при постоянном азимуте. На индикаторе «дальность – высота» (ИДВ) отображается вертикальный разрез атмосферных образований при выбранном азимуте;

– режим вертикального зондирования – антенна неподвижна, но может быть установлена в любом направлении в горизонтальной плоскости и под любым углом в пределах от  $1^\circ$  до  $105^\circ$ . Радиолокатор в данном режиме просматривает выбранный узкий сектор пространства.

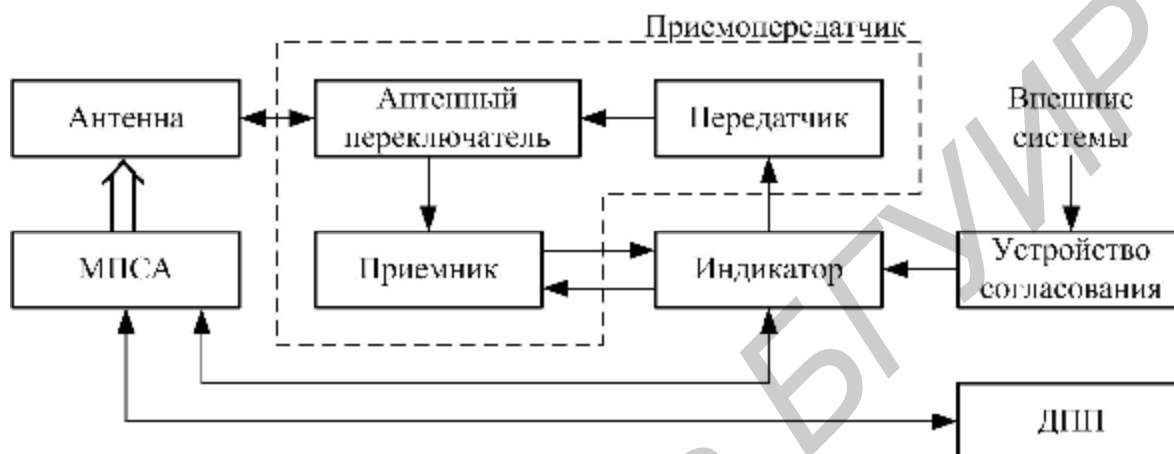


Рисунок 11 – Обобщенная структурная схема МНРЛ

Антенна МНРЛ предназначена для получения требуемой ДН. В режиме обнаружения опасных ГМО (режим «Метео») применяется симметричная узкая ДН «карандашного» типа. В режиме обзора земной поверхности (режим «Земля») часто используют «косекансную» или «веерную» диаграмму. Конструктивно антенны МНРЛ выполняют в виде параболоида вращения с диаметром 200 – 1160 мм (в зависимости от типа ВС), в фокальной плоскости которого находится облучатель.

Для получения «веерной» ДН вводится отклоняющий электромагнитную энергию подвижный козырек или дополнительный отражатель специального профиля. Его выполняют из армированного горизонтальными проводниками стекловолокна. Для перехода на «веерную» ДН меняют поляризацию излучаемых колебаний с вертикальной (при которой дополнительный отражатель не оказывает влияния на ДН) на горизонтальную.

В современных МНРЛ широко используются плоские фазированные щелевые антенны, имеющие больший коэффициент направленного действия и существенно меньший уровень боковых лепестков, чем у параболических антенн. Механизм поворота и стабилизации антенны служит для управления сканированием антенны в горизонтальной плоскости, а также для наклона ее в вертикальной плоскости.

Сканирование осуществляется автоматически, а наклон антенны изменяется по желанию экипажа с помощью ручной установки антенны.

Устройство стабилизации предназначено для поддержания луча ДН в выбранном положении при перемещениях ВС. Находит применение система раздельной стабилизации по осям, при которой ось азимутального поворота антенны поддерживается вертикальной при угловых колебаниях самолета, и косвенная система стабилизации, при которой совмещение луча с горизонтальной плоскостью достигается перемещением его в вертикальной плоскости. Необходимые для стабилизации антенны сигналы получают от датчиков пространственного положения ВС.

Передатчик МНРЛ обычно магнетронного типа. Непосредственно сам магнетрон (рисунок 12) состоит из анодного блока, который представляет собой металлический толстостенный цилиндр с прорезанными в стенках полостями, выполняющими роль объемных резонаторов.



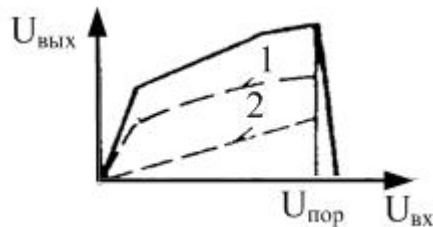
Рисунок 12 – Магнетрон в корпусе

Мощность передатчика МНРЛ не превышает 10 кВт. Длительность зондирующих импульсов составляет 1 – 6 мкс. В некоторых зарубежных МНРЛ на больших дальностях используются импульсы большой длительности (несколько микросекунд), а на малых дальностях длительность импульсов уменьшается примерно до 1 мкс.

Приемник МНРЛ супергетеродинного типа обычно имеет один преобразователь частоты. В приемниках часто применяется ВАРУ (временная автоматическая регулировка), увеличивающая коэффициент усиления сигнала, уменьшающегося пропорционально дальности, и обеспечивающая независимый от дальности уровень сигнала на выходе приемника. Применение ВАРУ особенно целесообразно при обзоре земной поверхности антенной с узкой ДН.

Улучшение стабильности несущей частоты и увеличение длительности излучаемых импульсов позволяют сузить полосу пропускания приемника. Для повышения чувствительности в МНРЛ последних выпусков применяют кварцевую стабилизацию частоты гетеродина и малошумящий входной усилитель на основе арсенида галлия. Эти меры позволяют снизить коэффициент шума приемника до 5 дБ.

Для сжатия динамического диапазона входных сигналов, с тем чтобы приблизить его к динамическому диапазону управляющих напряжений ЭЛТ, иногда применяется логарифмическая амплитудная характеристика усилителя промежуточной частоты (УПЧ) приемника (рисунок 13).



1 – логарифмическая характеристика УПЧ; 2 – амплитудная характеристика видеоусилителя

Рисунок 13 – Характеристики тракта приема

Видеоусилитель МНРЛ предназначен для усиления видеосигналов до уровня, необходимого для работы ЭЛТ или другого типа выходного устройства радиолокатора.

В ряде МНРЛ в видеоусилителе осуществляется ограничение сигналов по уровню для приведения всех сравнительно слабых сигналов к одному уровню, а сильных – к другому.

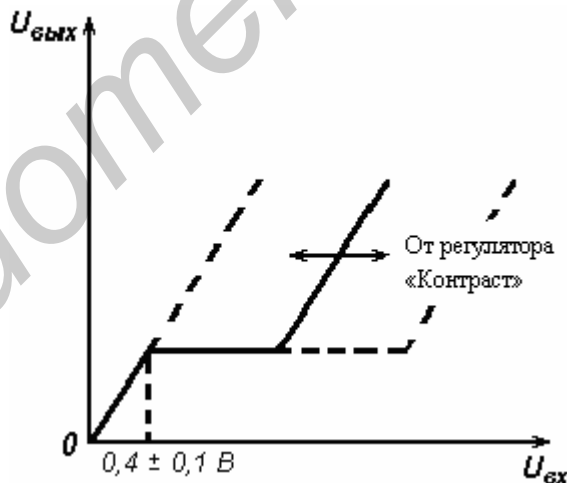


Рисунок 14 – Амплитудная характеристика видеоусилителя

Такие видеоусилители имеют специальную амплитудную характеристику с двумя уровнями ограничения (рисунок 14) и называются «трехтоновыми», так как они обеспечивают получение на экране индикатора изображения с тремя световыми тонами, соответствующими отсутствию сигнала, слабым и сильным сигналам, отраженным от земной поверхности.

Для выделения среди облачности зон, опасных для полета, амплитудная характеристика видеосуилителя может изменяться таким образом, чтобы сильные сигналы области грозовой активности подавлялись при усилении (рисунок 15).

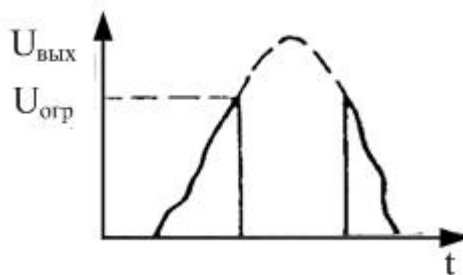


Рисунок 15 – График зависимости выходного напряжения приемника от времени

При такой амплитудной характеристике области грозовой активности отображаются на индикаторе в виде темных участков, окруженных яркими зонами, соответствующими отражениям от облачности. Подобная индикация называется *контурной*.

В современных МНРЛ для унификации приемопередатчиков, т. е. обеспечения возможности применения индикатора любого типа, на выходе приемника устанавливают аналого-цифровой преобразователь. Сигналы квантуются по амплитуде, и каждому диапазону интенсивностей осадков соответствует выходной сигнал определенной амплитуды и определенный код. Производится дискретизация сигналов по времени в соответствии с разрешающей способностью МНРЛ по дальности и азимуту.

Индикатор МНРЛ является основным устройством, с помощью которого экипаж получает информацию от МНРЛ. Наибольшее распространение получили монохроматические индикаторы с темповой индикацией на ЭЛТ с послесвечением.

Обычно используется секторная развертка луча ЭЛТ. В таких индикаторах каждому уровню сигнала соответствует своя яркость свечения изображения, поэтому для определения степени опасности ГМО необходимо сравнение на экране всех градаций яркостей. Этот недостаток устраняют применением контурной индикации.

В современных индикаторах применяется телевизионный тип развертки луча, обеспечивающий большую яркость и стабильность изображения.

Основные параметры МНРЛ приведены в таблице 2.

В зависимости от типа ЛА они несколько меняются. Дополнительно для МНРЛ I класса оговариваются следующие параметры при отдельной стабилизации антенны по осям: наибольший угол крена антенны равен  $40^\circ$ ; наибольший суммарный угол тангажа и ручного наклона антенны –  $25^\circ$ ;

динамическая погрешность системы стабилизации не должна превышать  $1^\circ$  при скорости изменения крена  $20^\circ/\text{с}$  и скорости изменения тангажа  $5^\circ/\text{с}$ .

Таблица 2 – Основные параметры МНРЛ

Параметр	Класс МРЛ			
	I	II	III	IV
Угол обзора в горизонтальной плоскости, градус	$\pm 100$	$\pm 60$	$\pm 45$	$\pm 60$
Расчетная дальность обнаружения гидрометеообразований, км	550	350	200	100
Частота обзора в горизонтальной плоскости, Гц	0,5	0,2	0,2	0,2
Наибольший угол ручного наклона ДНА, градус	$\pm 14$	$\pm 14$	$\pm 14$	$\pm 14$
Наибольший угол стабилизации антенны с косвенной стабилизацией, градус	35	35	20	35
Погрешность совпадения азимутальных шкал индикаторов и антенны, градус:				
– при значении угла менее $20^\circ$ и более $340^\circ$	1	1	2	1
– более $20^\circ$ и менее $340^\circ$	1,5	2	3	2
Максимально допустимая погрешность совмещения, градус:				
– оси ДН со строительной осью антенны	0,5	0,5	1,5	0,5
– шкалы регулятора наклона со шкалой наклона антенны	1	1	2	2
Нелинейность развертки по дальности, %	20	20	20	20

Основные параметры зарубежных МНРЛ (таблица 3) регламентируются региональными стандартами и нормами.

Наиболее высокие требования, которым должны удовлетворять современные МНРЛ, содержатся в нормали Arinc–708. Этой нормалью предусматривается, что главная функция МНРЛ заключается в обнаружении и определении координат ГМО.



Параметры МНРЛ в соответствии с нормалью Arinc-708 представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Основные параметры МНРЛ зарубежных фирм

Основные параметры	МНРЛ					
	Primus-90	RDR-160	RDR-1400	WXR-250	WXR-700	KWX-60
Дальность действия, км	540	300	430	450	600	280
Сектор сканирования, градус	±80	±45	±60	±60	±90	±45
Количество сканирований в минуту	–	16	12	14	–	30
Угол наклона антенны, градус	±14,7	±15	±15	±15	±40	±12
Излучаемая мощность, кВт	10,0	6,0	10,0	5,0	0,125	3,0
Длительность импульсов, мкс	3,5 и 6	3,5	0,5	–	До 20	–
Потребляемая мощность, Вт	–	96	96	98	–	95

Таблица 4 – Параметры МНРЛ в соответствии с нормалью Arinc-708

Дальность действия, км	9 – 950
Сектор обзора, градус: – в горизонтальной плоскости – в вертикальной плоскости	±90 ±14
Число сканирований в минуту	15
Точность стабилизации антенны при скорости изменения тангажа и крена 20°/с в каждом направлении, градус	±0,5
Число элементов разрешения по дальности	128, 256 или 512
Точность индикации (δ): – дальности, % от измеряемого расстояния – азимута, градус	±4 ±2
Диапазон частот, МГц	9345±20; 9375±20; 5400
Стандартная антенна	Плоская решетка диаметром 762 мм
Допустимый уровень боковых лепестков, дБ	–21

Хотя точность определения координат наземных объектов существующими нормами не оговаривается, она должна быть такой, чтобы погрешность определения местоположения не превышала 3 – 4 км. Это требование соответствует допустимой погрешности определения дальности 1,5 – 2 % от измеряемого расстояния, а азимута – не более 1°.

## 2.4 Метеонавигационный радиолокатор «Гроза»

При помощи МНРЛ «Гроза» производится обнаружение областей активной грозовой деятельности с определением наиболее опасных для полета зон грозового фронта и обзор земной поверхности.

*Конструкция* МНРЛ «Гроза» (рисунок 16) включает:

- антенный блок с рефлектором диаметром 560 мм;
- приемно-передающий блок с повышенной разрешающей способностью;
- индикаторный блок с пультом управления радиолокатором;
- волноводный тракт.

Антенный блок размещается в носовом отсеке ЛА под обтекателем и жестко закреплен на специальном кронштейне. Приемопередатчик и блок стабилизации и управления антенной монтируются на единой амортизационной раме. Индикатор устанавливают в кабине экипажа. Индикатор совмещен с устройством управления радиолокатором.

В *состав* различных модификаций МНРЛ «Гроза» могут входить:

- один индикатор и один приемопередатчик;
- два индикатора и один приемопередатчик;
- один индикатор и два приемопередатчика.

При этом назначение и принцип действия МНРЛ остаются без изменения.

Антенный блок РЛС «Гроза» выполняет следующие *функции*:

- излучение в пространство высокочастотных импульсов, генерируемых передающим устройством станции в пределах узкого и веерного луча в зависимости от режима работы РЛС;
- прием сигналов, отраженных от наземных и воздушных объектов;
- изменение направления излучения и приема сигналов в азимутальной плоскости;
- гироскопическая стабилизация осей узкого и веерного лучей в плоскости горизонта или другой заданной плоскости при кренах и тангаже самолета;
- модуляция пилообразного тока развертки по закону синуса и косинуса текущего азимутального угла поворота антенны.

В зависимости от класса и типа самолета антенный блок выпускается в двух модификациях, отличающихся только диаметром рефлектора (760 и 560 мм).

Приемно-передающий блок состоит из передающей части, приемной части и источников питания. В передающую часть входят тиристорно-магнитный модулятор и мощный СВЧ-генератор. В приемную часть входят циркулятор, предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ), усилитель промежуточной частоты (УПЧ), узел временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ).

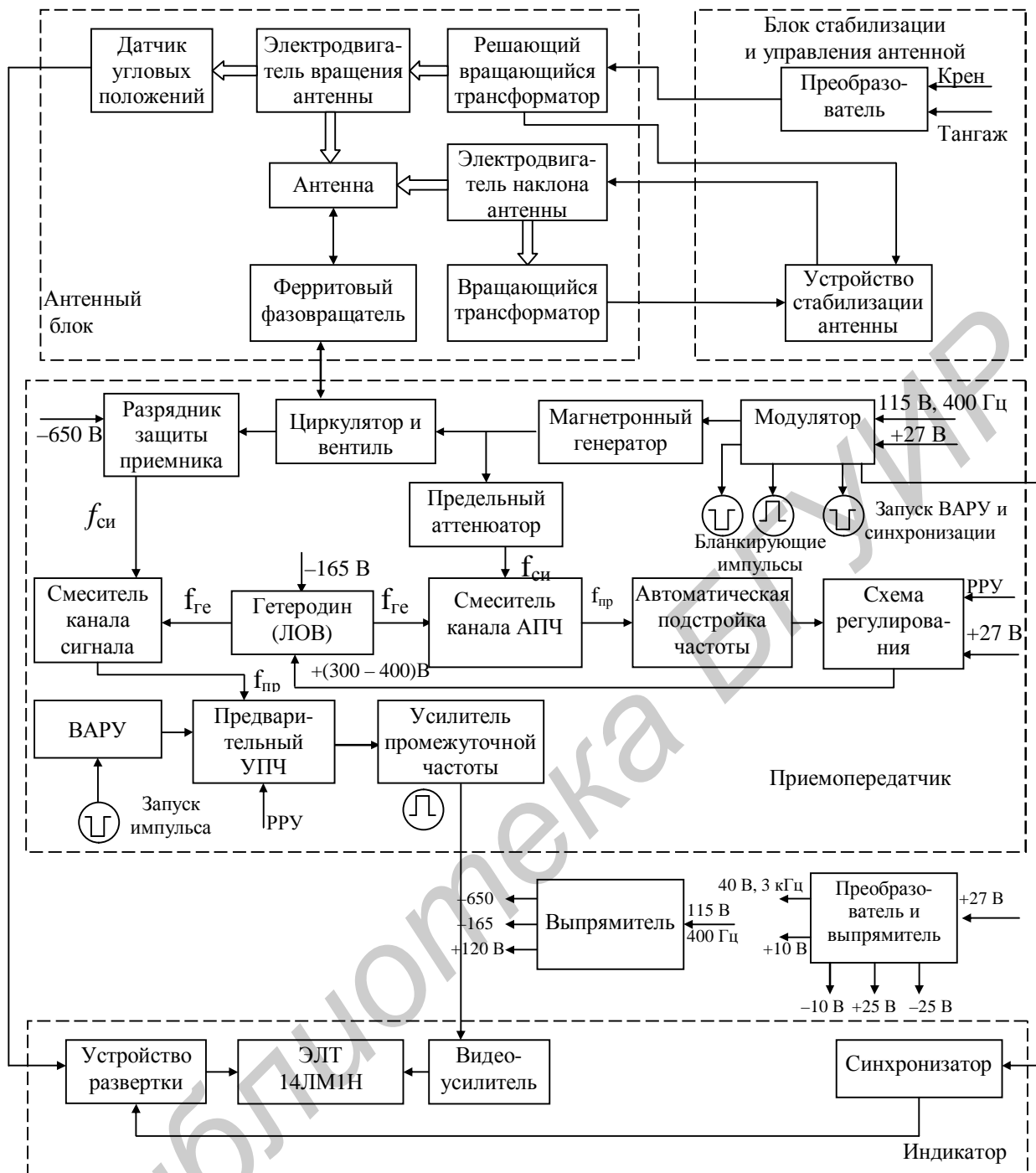


Рисунок 16 – Структурная схема МНРЛ «Гроза»

Приемопередатчик работает следующим образом. Модулятор блока формирует высоковольтный импульс отрицательной полярности, который поступает на катод магнетрона. Магнетронный генератор генерирует при этом импульсы СВЧ, поступающие к выходному волноводу блока через циркулятор. Циркулятор служит для переключения антенны с приемного на передающий канал блока. Кроме модулирующего импульса, модулятор генерирует старт-импульс синхронизации других блоков станции, а также импульсы бланкирования самолетного ответчика системы опознавания объектов.

Отраженные от объекта и принятые СВЧ-импульсы поступают во входной волновод блока и далее через циркулятор (вентиль) и разрядник защиты приемника – на смеситель канала сигнала. На смеситель поступает также СВЧ-сигнал от гетеродина, выполненного на лампе обратной волны (ЛОВ). После преобразования на выходе смесителя образуются импульсы промежуточной частоты, поступающие на ПУПЧ.

В ПУПЧ и УПЧ с линейно-логарифмической амплитудной характеристикой происходит усиление и детектирование принятых и преобразованных сигналов. С выхода УПЧ видеосигнал поступает в индикаторный блок РЛС. Часть СВЧ-энергии, генерируемой во время импульса магнетроном, через предельный аттенуатор поступает на смеситель АПЧ, куда также поступает СВЧ-сигнал от гетеродина.

После преобразования на выходе смесителя образуются импульсы промежуточной частоты, которые поступают на вход узла АПЧ, где вырабатывается сигнал, пропорциональный отклонению промежуточной частоты от номинального значения. Этот сигнал воздействует через схему регулирования на напряжение управляющего электрода гетеродина ЛОВ, перестраивая его по частоте таким образом, чтобы свести к минимуму отклонение промежуточной частоты от номинального значения.

Индикаторный блок состоит из следующих функциональных узлов:

- устройство создания радиально-секторной развертки;
- устройство синхронизации;
- панель видеоусилителя;
- электронно-лучевая трубка.

Устройство развертки предназначено для формирования в отклоняющих катушках линейно нарастающих импульсов тока, модулированных по амплитуде частотой азимутального сканирования антенны и необходимых для создания на экране ЭЛТ радиально-секторной развертки «азимут – дальность». Устройство синхронизации предназначено для формирования калибрационных и управляющих сигналов: ключевого импульса управления схемой развертки, импульса подсвета линии развертки и калибрационных меток дальности. Видеоусилитель предназначен для регулировки яркости радиолокационного изображения.

## **2.5 Основные режимы работы радиолокатора «Гроза»: «Земля», «Метео», «Контур», «Снос» и «Коррекция»**

**Режим «Земля»** используется для получения радиолокационной карты местности. Форма ДН «веерная». Для того чтобы амплитуда отраженных сигналов не зависела от дальности до объекта, используется ВАРУ и логарифмический УПЧ. Видеоусилитель в этом режиме «трехтоновый». Для коррекции искажений радиолокационного изображения, вызываемых отличием горизонтальной дальности от наклонной и расширением отметок на экране от

удаленных целей малоразмерных объектов вследствие конечной ширины ДН антенны, применяется гиперболическая развертка луча на экране индикатора.

Различные значения эффективной отражающей поверхности наземных объектов используются для получения изображения местности на экране индикатора. Различие амплитуд сигналов, поступающих на вход приемника РЛС, вызывает различную яркость свечения отдельных элементов экрана, что позволяет судить о характере объектов (рисунок 17).

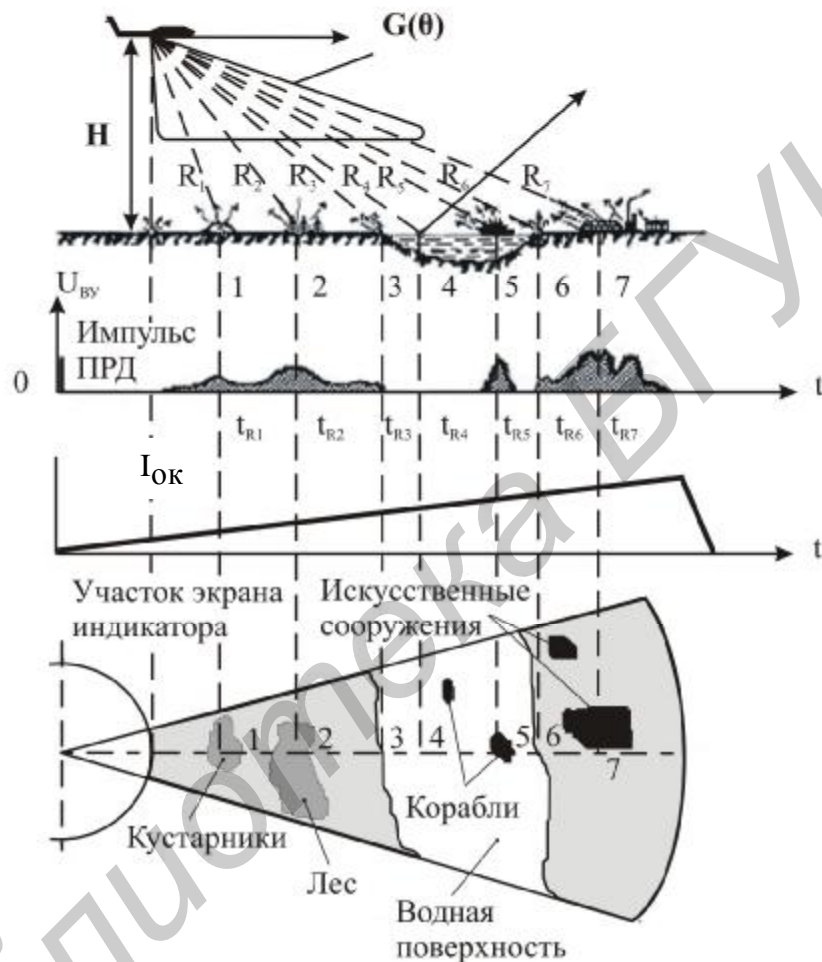


Рисунок 17 – Принцип получения радиолокационного изображения на индикаторе кругового обзора

Для получения изображения местности антенна РЛС в данном режиме имеет веерный луч – широкий в вертикальной плоскости и узкий в горизонтальной плоскости. При работе МНРЛ в режиме «Земля» на индикаторе в полярных координатах «азимут – дальность» получается непрерывная радиолокационная карта земной поверхности в пределах азимутальных углов  $\pm 100^\circ$  впереди самолета.

В нижней части рисунка 17 приведен участок такого изображения. Выше приведены временные диаграммы с характером изменения напряжения на

выходе видеоусилителя и форма тока в отклоняющей катушке  $I_{OK}$ , обеспечивающего развертку электронного луча по дальности.

Первые отраженные сигналы приходят с дальности, равной высоте полета, поэтому около центра экрана образуется темное пятно с радиусом, пропорциональным высоте полета ЛА. Затем экран засвечивается сигналом, отраженным от различных объектов. От спокойной водной поверхности происходит зеркальное отражение и участок экрана, ей соответствующий, остается незасвеченным (темным). В связи с этим на темном фоне хорошо видны отражения кораблей, мостов и других надводных объектов. Искусственные сооружения создают достаточно интенсивные отраженные сигналы, и их изображение также выделяется на фоне местности. Для правильности воспроизведения обстановки на индикаторе необходимо, чтобы одинаковые объекты давали на экране одинаковую яркость засвета независимо от различия расстояний до каждого из них.

При работе РЛС на развертках «30», «50» и «125» обзор земной поверхности осуществляется «веерной» «косекансной» ДН на соответствующее расстояние. Для получения такой диаграммы в этом режиме используется антенный отражатель (рефлектор) двойной кривизны. При масштабе развертки 250 км для обзора земной поверхности в целях повышения дальностей наблюдения средних промышленных центров используется поочередно два вида диаграмм направленности, переключаемых автоматически.

При движении рефлектора вправо формируется узкая диаграмма направленности «карандашного» типа. За счет большого послесвечения экрана индикатора радиолокационные изображения от узкого и веерного лучей воспринимаются оператором как единое целое. При работе на развертке «375» обзор поверхности осуществляется только узким лучом, который имеет в два раза больший коэффициент направленного действия.

Получение с помощью одной антенной системы двух различных форм диаграммы направленности осуществляется следующим образом. Сдвоенный отражатель антенны состоит из симметричного параболического отражателя и отражателя специальной формы, выполненного в виде «козырька» в верхней части параболоида. Параболический отражатель при облучении его электромагнитной энергией формирует диаграмму направленности в виде узкого луча «карандашного» типа. Он изготовлен из полностью металлизированной стеклоткани.

Специальная форма поверхности отражателя рассчитана из условия получения в вертикальной плоскости «косекансной» ДН. Этот отражатель представляет собой поверхность двойной кривизны, выполненной из металлизированной стеклоткани, металлизированные нити которой расположены строго горизонтально и имеют шаг 3 мм. Оба отражателя жестко соединены между собой и установлены на металлический штампованный держатель чашеобразной формы. Формирование соответствующей ДН осуществляется изменением плоскости поляризации излучаемых колебаний.

При вертикальной поляризации облучающая электромагнитная энергия беспрепятственно проходит сквозь отражатель с горизонтальным расположением металлизированных нитей и отражается от симметричного параболоида. При этом формируется ДН в виде узкого луча. При изменении вертикальной поляризации облучающих колебаний на горизонтальную происходит отражение от являющегося для данной поляризации непрозрачным отражателя специальной формы и формируется «веерная» ДН «косекансного» типа. На рисунке 18 приведены диаграммы направленности в двух плоскостях для обоих режимов работы антенны.

Для поворота плоскости поляризации излучаемых высокочастотных колебаний на  $90^\circ$ , необходимого для изменения формы ДН с узкого луча на веерный, в РЛС «Гроза» применен ферритовый фазовращатель. Ферритовый стержень фазовращателя установлен на фторопластовой втулке внутри круглого волновода. Вдоль оси феррита действует постоянное магнитное поле, создаваемое электромагнитом, размещенным на волноводе. Угол поворота плоскости поляризации зависит от величины и направленности этого поля, которые устанавливаются с помощью реле изменения поляризации при смене режима работы станции.

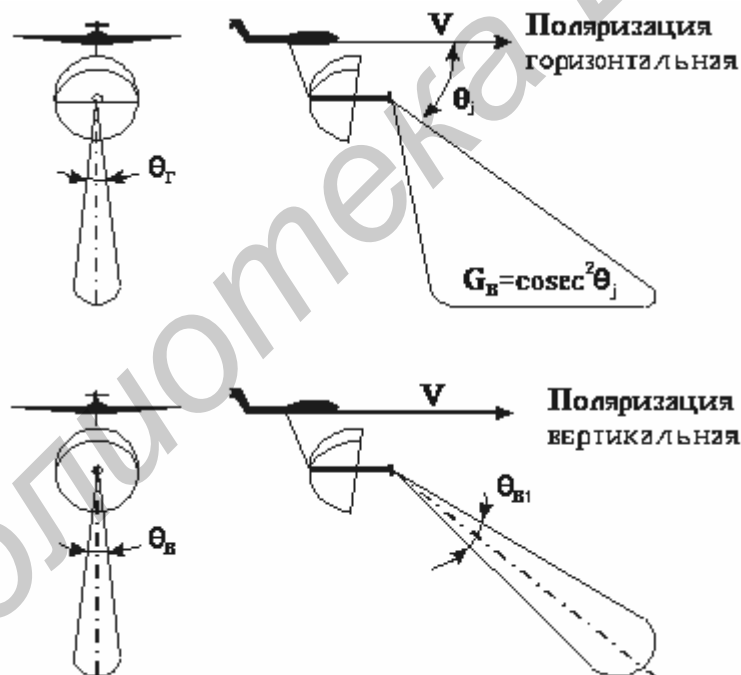


Рисунок 18 – Принцип получения «веерной» и «игольчатой» ДН при смене поляризации

Для наилучшего наблюдения радиолокационных отражений от средних и крупных промышленных центров, а также для выравнивания отражений от фона с целью наиболее четкого воспроизведения на индикаторе водных ориентиров в режиме «Земля» применяется «трехтоновой» видеоусилитель.

Ступенчатая амплитудная характеристика видеоусилителя позволяет исключить из радиолокационного изображения промежуточные сигналы, лежащие между слабыми и сильными сигналами и затрудняющие расшифровку изображения и ориентировку.

**Режим «Метео»** служит для обнаружения и определения координат ГМО. Радиолокационное изображение представляет собой горизонтальный разрез грозовой облачности плоскостью полета, что дает возможность качественно судить о степени опасности гидromетеообразований. Опасными принято считать те, которые обнаруживаются на дальностях свыше 100 км, так как факт их обнаружения свидетельствует о сильной турбулентности атмосферы в этих образованиях.

В режиме «Метео» ось антенны гиросtabilизирована. При малых амплитудах сигналов логарифмическая амплитудная характеристика УПЧ остается линейной. При работе РЛС в этом режиме обеспечивается получение на индикаторе в полярных координатах «азимут – дальность» радиолокационного изображения воздушной обстановки в пространстве, ограниченном азимутальными углами  $\pm 100^\circ$  относительно строительной оси самолета и углами места  $\pm (1,5^\circ - 2^\circ)$  относительно плоскости горизонта.

Для того чтобы сектор обзора не изменял свое положение в пространстве при кренах и тангаже самолета (особенно важно при обходе грозовых зон), ось ДН антенны гиросtabilизирована. При необходимости обзора пространства под другими углами места ДН антенны может быть наклонена вручную относительно плоскости горизонта на угол  $\pm 10^\circ$ . В данном режиме работы обзор пространства осуществляется РЛС с помощью симметричной узкой диаграммы направленности, получаемой в антенне при вертикальной поляризации излучаемых колебаний.

Пример радиолокационного изображения при работе РЛС в режиме «Метео» представлен на рисунке 19, а.

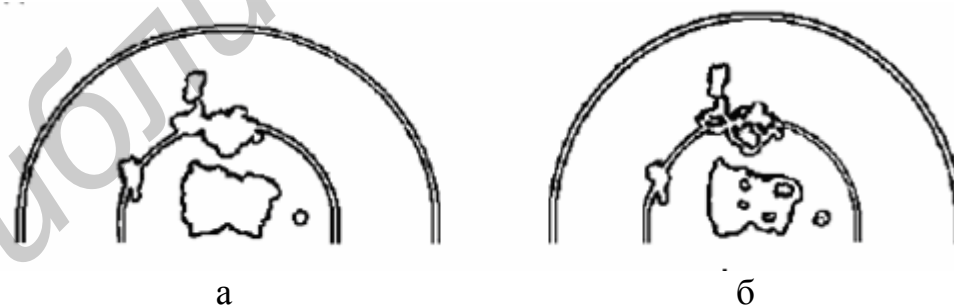


Рисунок 19 – Пример радиолокационного изображения при работе РЛС в режиме «Метео» (а) и «Контур» (б)

**Режим «Контур»** позволяет оценить степень опасности ГМО. Обработке подвергаются сигналы, отраженные от образований, находящихся на дальностях 40 – 60 км. Слабым сигналам соответствует линейный участок амплитудной характеристики УПЧ, а сильным – логарифмический, кроме того,



видеоусилитель в этом режиме ограничивает сильные сигналы, пришедшие, например, из зон с сильной грозовой активностью. Поэтому сигналы, амплитуда которых превышает уровень ограничения в приемном тракте, не дают изображения на экране индикатора МНРЛ; ГМО на этом экране имеет контур, по ширине которого можно оценить интенсивность осадков, а следовательно, и турбулентности. Чем выше градиент осадков в облачности, тем уже контур ее изображения. Примерный вид радиолокационного изображения грозовых зон при включении режима «Контур» представлен на рисунке 19, б.

Затемнение областей, соответствующих участкам с высокой отражающей способностью, обеспечивается применением специальной характеристики, подавляющей все принимаемые сигналы, амплитуда которых превосходит определенный фиксированный уровень. Для предотвращения полного или частичного подавления сигналов от более слабых областей грозовой зоны, вызванного увеличением амплитуды отраженных сигналов при уменьшении дальности до них, в режиме «Контур» производится временная регулировка усиления приемного устройства. Закон изменения усиления в зависимости от дальности выбран в РЛС таким, что обеспечивает практическое постоянство амплитуды принимаемых с одного и того же объекта сигналов при изменении дальности до него от 30 – 40 м до нескольких километров. В остальном работа радиолокатора в режиме «Контур» аналогична работе в режиме «Метео».

**Режим «Снос»** предназначен для грубого измерения угла сноса самолета. Измерение основано на эффекте Доплера, который проявляется в амплитудной флуктуации сигнала на выходе приемного тракта, вызванной биениями между отдельными составляющими доплеровского спектра сигнала. Частота биений зависит от скорости полета и курсового угла. При совпадении путевой линии с осью ДН частота биений будет минимальной (единицы герц). На экране индикатора частота биений характеризует частоту яркостной модуляции линий развертки. Угол сноса определяют при ручном перемещении антенны по минимуму частоты яркостной модуляции и отсчитывают по азимутальной шкале индикатора МНРЛ.

На рисунке 20 показан навигационный треугольник скоростей с учетом только горизонтальных составляющих: воздушной скорости  $V$ , совпадающей по направлению с осью самолета, скорости ветра  $v$  и результирующего вектора, совпадающего с линией пути, – путевой скорости  $W$ . Угол сноса  $\beta$  между векторами  $V$  и  $W$  определяется в данном режиме работы.

Измерение угла сноса ВС основано на фиксации минимальной частоты биений вторичного эффекта Доплера, которые возникают при отражении сигнала от земной поверхности или иных протяженных объектов.

Рисунок 20 также позволяет пояснить принцип получения линий равных доплеровских частот на земной поверхности при горизонтальном полете. Значение частоты Доплера при отражении сигнала от точки земной поверхности  $O$ , лежащей на линии пути при бесконечно узкой диаграмме направленности РЛС, определяется формулой

$$F_{\text{д}} = \frac{2W_r}{\lambda} = \frac{2W}{\lambda} \cdot \cos g,$$

где  $\lambda$  – длина волны передатчика.

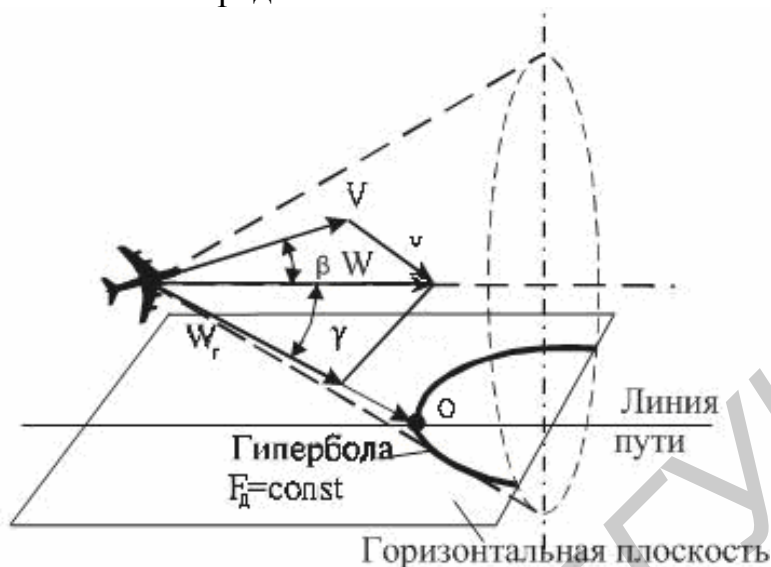


Рисунок 20 – Навигационный треугольник скоростей и линия равных доплеровских частот

Следовательно,  $F_{\text{д}} = \text{const}$  при  $\gamma = \text{const}$ . При  $\gamma = \text{const}$  и вращении луча вокруг вектора  $W$  на земной поверхности луч прочерчивает кривую равных доплеровских частот, которая является гиперболой, так как образуется линия пересечения конуса и горизонтальной поверхности, параллельной оси конуса. Полученную гиперболу называют изодоплеровской, потому что она проходит через точки земной поверхности, которым соответствует постоянная частота Доплера. Меняя значение  $\gamma$ , можно получить семейство изодоплеровских гипербол, каждой из которых будет соответствовать свое новое значение  $F_{\text{д}}$  (рисунок 21). Используя это семейство, можно определить  $F_{\text{д}}$  при получении сигналов, отраженных от любой точки земной поверхности.

В реальной РЛС луч антенны имеет конечную ширину в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а зондирующий сигнал – импульс с длительностью  $\tau_{\text{и}}$ . В каждый момент времени на вход приемника РЛС одновременно будут поступать сигналы, отраженные от совокупности отражателей, лежащих в пределах участка местности  $S_i$  (см. рисунок 21). Протяженность участка  $S_i$  в направлении от самолета определяется разрешающей способностью РЛС по дальности и углом наклона  $\gamma_i$ , а в поперечном направлении – шириной диаграммы  $\theta_r$  и произвольно выбранным расстоянием  $R_i$ .

Участок  $S_i$  для двух положений диаграммы направленности антенны РЛС по азимуту, спроектированный на сетку изодоплеровских частот, показан на рисунках 21 и 22. Как следует из рисунка 22, если ось луча смещена

относительно линии пути на угол  $\psi$ , то частоты колебаний, отраженных от всех точек площадки  $S_i$ , различны.

Площадь участка  $S_i$  будет приближенно равна

$$S_i \approx \left( \frac{ct_{и}}{2 \cos g_i} \right) \cdot (q_i R_i).$$

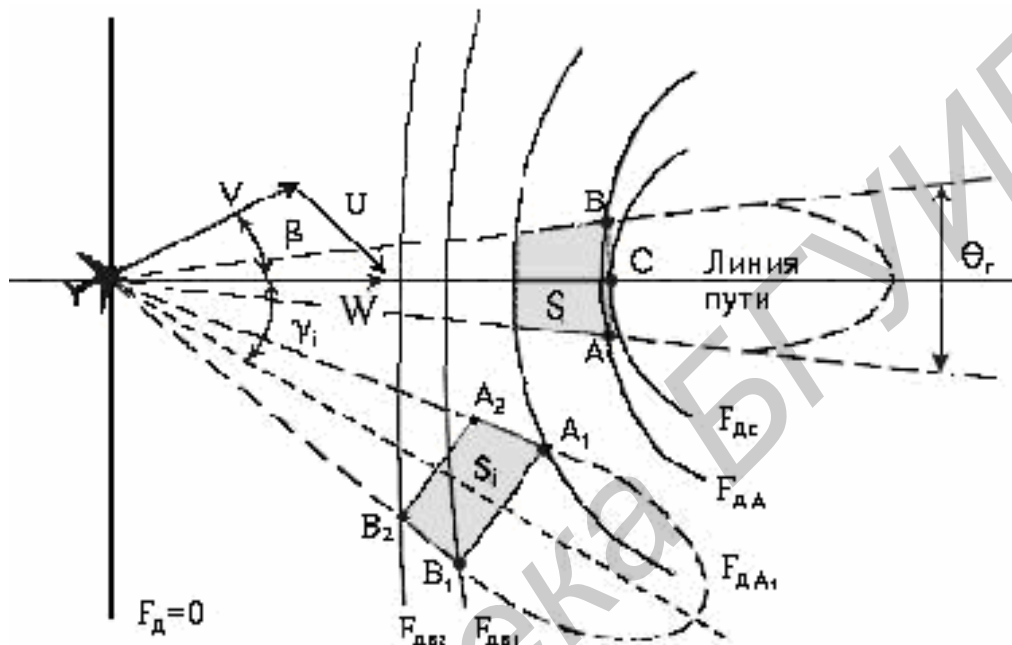


Рисунок 21 – Семейство изодоплеровских гипербол

Наибольшее различие соответствует точкам  $A_1$  и  $B_2$  (см. рисунок 21). Максимальная доплеровская частота в пределах участка  $S_i$  будет получена от точечного отражателя в точке  $A_1$ , а минимальная – от отражателя в точке  $B_2$ . Для равноудаленных от РЛС точек в пределах участка  $S_i$  наибольшее отличие в радиальных скоростях и, следовательно, в доплеровских частотах  $F_d$  соответствует точкам  $A_1$  и  $B_2$ :

$$F_{dA_1} = \frac{2W_r}{I} \cos\left(y - \frac{q_r}{2}\right),$$

$$F_{dB_1} = \frac{2W_r}{I} \cos\left(y + \frac{q_r}{2}\right),$$

где  $\theta_r$  – ширина ДН в горизонтальной плоскости.

Сигналы, отраженные от разных точек  $S_i$ , суммируются на входе приемника и на выходе амплитудного детектора образуют разностные частоты, которые называются *вторичными доплеровскими частотами (биениями)*.



МНРЛ «Гроза» в режиме «Коррекция» позволяет производить коррекцию текущих координат места самолета. Для этого используется какой-нибудь четко наблюдаемый и легко опознаваемый объект с известными координатами и по возможности наименьших размеров. Его координаты вводятся в навигационный вычислитель, который при работе в режиме «Коррекция» определяет ожидаемые наклонную дальность и курсовой угол этого объекта в данный момент времени. Полученная информация наносится на экран индикатора в виде светящегося кольца ожидаемой дальности и радиальной линии ожидаемого курсового угла (электронное перекрестие). На пересечении этих линий и должно по расчетам вычислителя находиться радиолокационное изображение наземного объекта.

Радиолокатор при коррекции навигационного вычислителя является только индикатором совмещения, служащим для определения момента наложения перекрестия на изображение объекта. Все управление перекрестием и установка необходимых режимов работы различной аппаратуры борта осуществляется с пульта вычислителя.

Параметры основных модификаций МНРЛ «Гроза» приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные параметры МНРЛ «Гроза»

Параметр	Гроза-40	Гроза-154	Гроза-62
Угол обзора в горизонтальной плоскости, градус	±100	±100	±100
Дальность обнаружения, км:			
– грозовых очагов	130	200	200
– промышленных центров	160	250	250
– крупных городов	330	350	300
– незастроенных участков суши	100	150	170
– водных ориентиров	100	150	170
Частота обзора в горизонтальной плоскости, Гц	0,17 – 0,21	0,2 – 0,23	0,17 – 0,2
Угол наклона антенный в вертикальной плоскости, градус	±20	±10	±10
Погрешность измерения угла сноса, градус	1,5	1,5	1,5
Потребляемая мощность:			
– от трехфазной сети 200 В, 400 Гц, В·А	500	390	390
– от сети постоянного тока 27 В, Вт	90	80	85
Частота ВЧ-импульса, МГц	9370	9370	9370
Мощность в импульсе, кВт, не менее	9	9	9

Продолжение таблицы 5

Параметр	Гроза–40	Гроза–154	Гроза–62
Длительность импульса, мкс	2	3,5	3,5
Частота повторения импульсов, Гц	400	400	400
Чувствительность приемника по пропаданию сигнала, дБ/мВт, не менее	100	100	100
Ширина ДН по уровню 0,5, градус	4,2	3	3 – 4
Промежуточная частота, МГц	30	30	30
Масса, кг	40	45	50

Обнаружение и определение местонахождения объектов производится посредством электромагнитных волн. Эти волны отражаются (или рассеиваются) большинством объектов, которые создают при этом эхосигналы, аналогичные звуковым эхо. Когда луч радиолокатора встречается на своем пути какой-нибудь объект (самолет, корабль, айсберг, стаю птиц или облачность), он отражается от объекта в широком диапазоне углов. Часть волновой энергии попадает на приемник радиолокатора, принося с собой информацию об объектах.

На самолетах радиолокаторы используют для решения многих задач, в том числе для определения высоты полета. В аэропортах один радиолокатор служит для управления воздушным движением, а другой – для управления заходом на посадку (помогает пилотам посадить самолет в условиях плохой видимости). Радиолокация применяется для прогнозирования погоды, причем метеорологические службы могут использовать специально оборудованные самолеты, оснащенные радиолокаторами для отслеживания различных метеопараметров.

С помощью метеорологических РЛС решаются следующие задачи:

- обнаружение атмосферных образований;
- определение координат границ этих образований, оценка вида обнаруженных гидрометеоров;
- изменение высоты и толщины облачного слоя;
- распределение облачности по высотам;
- определение количественных характеристик атмосферных образований и интенсивности осадков, а также градовых очагов в облаках;
- определение направления и скорости перемещения облачности;
- прогноз тенденции развития атмосферных образований.

Результаты метеонаблюдений являются основными материалами для оценки состояния воздушного пространства, составления прогнозов, предупреждений об опасных явлениях и для разработки климатических характеристик районов.

Проведенные исследования показали, что для определения ближней границы ГМО при малой и средней интенсивности осадков целесообразно использовать волны длиной  $\lambda = 2 - 3$  см, а при большой интенсивности лучшие результаты будут при  $\lambda = 4 - 5$  см и более.

Эти результаты свидетельствуют о том, что в метеорологических РЛС (МРЛС) целесообразно применять несколько частотных диапазонов. С учетом практических возможностей и опыта эксплуатации используют в основном два диапазона. МРЛС-1 работает в миллиметровом и сантиметровом диапазонах, МРЛС-2 – в сантиметровом, МРЛС-5 – в сантиметровом ( $\lambda = 3$  см) и граничном (между сантиметровым и дециметровым диапазонами) ( $\lambda = 10$  см). МРЛС-5 и МРЛС-6 – одноканальные, работают в сантиметровом и дециметровом диапазонах радиоволн соответственно.

МРЛС уже более полувека является незаменимым прибором для обнаружения гроз, града, ливней, шквалов и других явлений.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Цель работы.
- 2 Краткие теоретические сведения о метеонавигационных радиолокаторах.
- 3 Структурная схема МНРЛ «Гроза».
- 4 Выводы по работе.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется на персональной ЭВМ в диалоговом режиме. Программа составлена в соответствии с современными требованиями к программному продукту и обеспечивает необходимый сервис и защиту от неправильных действий пользователя. В процессе выполнения лабораторной работы пользователь может получать помощь и пояснения.

В ходе лабораторной работы необходимо:

- 1 Изучить теоретический материал.
- 2 Выполнить тест (на тестовое задание дается всего 15 минут, поэтому внимательно изучите теорию).
- 3 Составить отчет.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В каких целях используются метеонавигационные радиолокаторы?
- 2 Что такое радионавигация? Что такое радиолокация? Их сходства и различия.
- 3 Какие функции выполняют радионавигационный маяк, радиодальномер, радиовысотомер?
- 4 Определение радиолокации, ее основные виды.
- 5 Поясните основные принципы и методы получения радиолокационной карты местности.

6 Дайте определение радионавигации и назовите основные виды радионавигационных устройств.

7 Состав, основные характеристики метеонавигационных радиолокаторов.

8 От чего зависит детальность радиолокационного изображения?

9 Какие радиосредства используют станции радиодальномера с активным отражением?

10 РНС – это... Виды РНС.

11 Этапы радиолокационного наблюдения.

12 РЛС – это... Виды РЛС.

13 Поясните импульсный способ измерения дальности.

14 Сущность амплитудного метода пеленгации.

15 Сущность моноимпульсного метода пеленгации.

16 Принцип определения координат методом сравнения амплитуд.

17 Принцип определения координат методом сравнения фаз.

18 Оптическая локация.

19 Основное назначение МНРЛ.

20 Режимы работы МНРЛ.

21 Дайте определение ГМО.

22 От чего зависит яркость ГМО?

23 Состав МНРЛ «Гроза».

24 Режимы работы МНРЛ «Гроза».

25 Поясните структурную схему МНРЛ «Гроза».

26 Поясните принцип получения радиолокационного изображения на индикаторе кругового обзора.

27 Поясните принцип получения «всерайонной» диаграммы направленности.

28 Каким образом обеспечивается разрешающая способность МНРЛ по дальности?

29 Для каких целей формируется «трехтоновая» характеристика видеосигнала?

30 В каком диапазоне частот работают МНРЛ?

## ЛИТЕРАТУРА

1 Помыкаев, И. И. Навигационные приборы и системы / И. И. Помыкаев – М. : Машиностроение, 1983.

2 Теоретические основы радиолокации / под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : Наука, 1970.

3 Бартон, Д. Радиолокационные станции / Д. Бартон. – М. : 1967.

4 Курикша, А. А. Квантовая оптика и оптическая локация / А. А. Курикша. – М. : Сов. радио, 1973.

5 Степаненко, В. Д. Радиолокация в метеорологии / В. Д. Степаненко. – Л. : Гидрометеиздат, 1966.

6 Гришин, Ю. Н. Радиотехнические системы / Ю. Н. Гришин; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высш. шк., 1990.

7 Давыдов, П. С. Эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования / П. С. Давыдов. – М. : Транспорт, 1990.



Учебное издание

## **МЕТЕОНАВИГАЦИОННЫЕ РАДИОЛОКАТОРЫ**

Методические указания  
к лабораторной работе  
по курсу «Системы видео-конференц-связи, телемедицины, дистанционного  
образования и геоинфокоммуникаций»  
для студентов специальности «Системы распределения мультимедийной  
информации» всех форм обучения

Составитель  
Астровский Иван Иванович

Редактор Е. Н. Батурчик  
Корректор Л. А. Шичко  
Компьютерная верстка Л. А. Шичко

---

Подписано в печать 23.01.2009.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 3,0.	Тираж 75 экз.	Заказ 399.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6