

# ЛЕКЦИЯ

по дисциплине «ВОЕННО -ТЕХНИЧЕСКАЯ  
ПОДГОТОВКА»

**Тема №1.ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАДИОЛОКАЦИИ.**

**Занятие №2. Радиолокационная система РТВ..**

## УЧЕБНЫЕ ЦЕЛИ:

1. Ознакомить студентов с основными положениями роли принципов радиолокации в построении систем РЛС РТВ;
2. Рассмотреть вопрос взаимосвязи противника с силами и средствами ПВО.
3. Рассмотреть влияние внешней среды на работу радиолокационной системы РТВ.

# **Учебные вопросы:**

- 1. Принципы построения радиолокационной системы РТВ**
- 2. Внешняя среда радиолокационной системы РТВ.**

## Литература:

- 1). Ботов М.И., Вяхирев В.А Теоретические основы радиолокационных систем РТВ стр47-57.
- 2). Бердышев В.П. Основы построения радиолокационных станций стр 15-37.
- 3). Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. Учебник/Тяпкин В.Н. Фомин А.Н., Гарин Е.Н. и др., Сибирский федеральный университет 2011.
- 4). Радиолокационные системы. Учебник/ Бердышев В.П., Гарин Е.Н., Тяпкин В.Н., Фомин А.Н. и др. Сибирский федеральный университет 2011г.

**Радиолокация** - отрасль радиоэлектроники, обеспечивающая получение сведений об объектах за счет приема и анализа радиоволн.

**Объекты радиолокации**, т.е. физические тела, сведения о которых представляют практический интерес, называются радиолокационными целями.

**Совокупность сведений о целях, получаемых средствами радиолокации, называют радиолокационной информацией (РЛИ).**

**Технические средства получения радиолокационной информации называют радиолокационными станциями (РЛС) или радиолокаторами.** В процессе получения радиолокационной информации, решаются следующие задачи:

- *обнаружение целей;*
- *измерение координат и параметров движения;*
- *разрешение;*
- *распознавание целей,*
- *опознавание.*

**Обнаружение** состоит в принятии решения о наличии или отсутствии цели в каждом выделенном участке пространства с минимально допустимыми вероятностями ошибочных решений.

**Измерение** сводится к выработке координат и параметров движения цели с минимально допустимыми погрешностями. При использовании сферической системы координат обычно измеряют дальность до цели  $r$ , а также азимут  $\beta$  и угол места  $\varepsilon$  (рис.1). В качестве параметров движения цели могут вводиться производные координат, либо другие параметры траектории цели.

**Разрешение** состоит в выполнении задач обнаружения и измерения параметров произвольной цели при наличии других, кроме выбранной для наблюдения. Говорят о разрешении целей по дальности, угловым координатам, скорости и т.д. Разрешающую способность по координатам характеризуют элементарным объемом. Размеры последнего по дальности  $\delta r$ , в азимутальной плоскости -  $\delta l_{\beta}$  и в угломестной -  $\delta l_{\varepsilon}$  (рис.2) устанавливаются так, что наличие цели в соседнем объеме практически не ухудшает показателей качества обнаружения и измерения координат цели, которая расположена в центре выделенного объема (при импульсном облучении цели - импульсным объемом).

**Распознавание** заключается в установлении принадлежности разрешаемой цели к определенному классу.

**Опознавание** предусматривает установление принадлежности цели «свой-чужой» с помощью запросно-ответных устройств радиолокационного опознавания.

# **Вопрос 1. Принципы построения радиолокационной системы РТВ**

Радиолокационная система РТВ ПВО является составной частью (информационной подсистемой) системы более высокого порядка – **противовоздушной обороны(ПВО)**, в рамках которой на нее возлагается информационная функция. С целью реализации этой функции радиолокационная система РТВ осуществляет разведку воздушного противника в установленных высотных границах на территории Российской Федерации и сопредельных государств с помощью радиоэлектронных средств, основными из которых являются радиолокационные средства. Радиолокационными средствами являются средства получения координатной (и другой) информации о воздушных (и других) объектах на основе приема и анализа радиоволн, рассеиваемых (излучаемых) объектами.

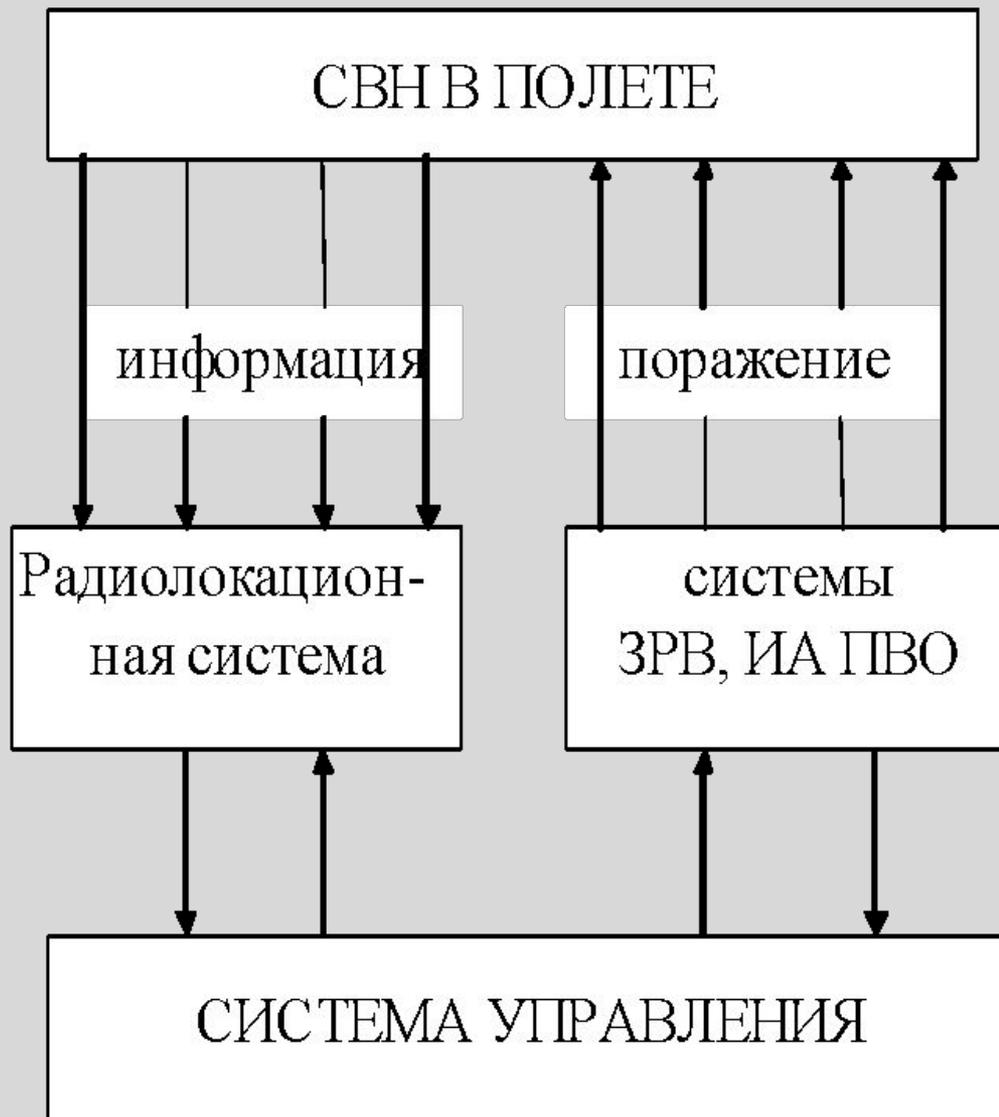


Рис.1.2. Система противовоздушной обороны ВВС

Из рис.1.2 видим, что большую систему по функциональному признаку можно разделить на следующие составные части: *исполнительную, информационную и управляющую.*

*Исполнительная часть (системы ЗРВ и ИА) располагает некоторыми возможностями или ресурсами, расходуемыми в соответствии с целевым назначением системы.*

*Информационная часть (радиолокационная система) доставляет в систему управления и непосредственно в исполнительную подсистему всю информацию о состоянии внешней среды (СВКН) и результатах взаимодействия с ней.*

*Управляющая часть перерабатывает информацию, поступающую от информационной и исполнительной части, и распределяет возможности и ресурсы информационной и исполнительной части в соответствии с полученной информацией.*

Взаимосвязь этих частей и их взаимодействие могут быть описаны следующим образом.

**1. Измерительная часть**, взаимодействующая с внешней средой, обеспечивает систему информацией о внешней обстановке. Это радиолокационная система.

**2. Управляющая часть** перерабатывает полученную информацию в соответствии с назначением системы. Это система управления.

**3. Исполнительная часть** воздействует на объект управления (внешнюю среду). Это системы ЗРВ и авиации ПВО.

**Информационная часть** (**радиолокационная система**) также может рассматриваться как большая система:

*-имеет четкое целевое назначение* – разведка и оценка воздушной обстановки и обеспечение боевых действий системы более высокого порядка системы ПВО (ЗРВ и ИА);

*-имеет сложную структуру* – в состав входит большое количество РЭТ различного назначения;

*-характеризуется сложными процессами функционирования* (обнаружение цели на фоне помех, определение их текущих координат, обмен информацией между системами управления ЗРВ и ИА – рис. 1.1);

*-имеет иерархическую структуру*, т. е. является подсистемой системы ПВО и сама состоит из подсистем:

1. радиоэлектронная техника – средства радиолокации (СРЛ), комплексы средств автоматизации (КСА);

2. радиоэлектронные устройства (передающие, приемные, защиты от помех, антенно-волноводные и т. д.);

3. функциональные узлы (звенья) – генераторы, усилители, фильтры и т. д.; схемные элементы (микросхемы, транзисторы, резисторы, конденсаторы, диоды и т. п.).

Кроме того, радиолокационная система обладает свойствами, которые отсутствуют у образующих её элементов: отдельных СРЛ, КСА.

Основными элементами радиолокационной системы являются радиолокационные станции (РЛС), действующие в режиме «излучения и приема пассивного ответа (эхо-сигнала) объекта». При этом каждая из РЛС, развернутая на конкретной позиции, создает свою **зону обнаружения  $\Omega_i$** , которая представляет собой область воздушного пространства, в пределах которой обеспечивается обнаружение воздушных объектов с заданным средним значением ЭПР и получение о них информации  $i$ -й РЛС с показателями качества, не хуже заданных.

Совокупность зон обнаружения  $\Omega_i$  включенных РЛС образуют в пространстве требуемое радиолокационное поле (РЛП) радиолокационной системы РТВ  $\Omega_{\text{РЛП}}$ :

$$\Omega_{\text{РЛП}} \leq \{\Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3 \dots\}$$

**Даже поверхностный, качественный анализ радиолокационного поля указывает на сложность аналитического описания состояния и функционирования радиолокационной системы. Это связано со следующим.**

1. Радиолокационная система состоит из огромного количества разнообразных элементов (РЛС) со своими связями и многообразными видами взаимодействий.
2. Прием радиолокационных сигналов всегда производится на фоне различных помех и носит случайный характер.
3. Случайностью воздушной (целевой) обстановки из-за неизвестности замысла противника.
4. Пространственной и временной нестационарностью помех и сигналов из-за случайного характера их модуляции.
5. Случайностью отказов элементов системы и связанных с этими случайными изменениями функциональных связей между ними из-за воздействия противника и собственных неисправностей РЛС.

**Таким образом, в силу сложности и большой роли случайных факторов радиолокационная система РТВ должна рассматриваться как большая система, а при ее построении (анализе) необходим системный подход.**

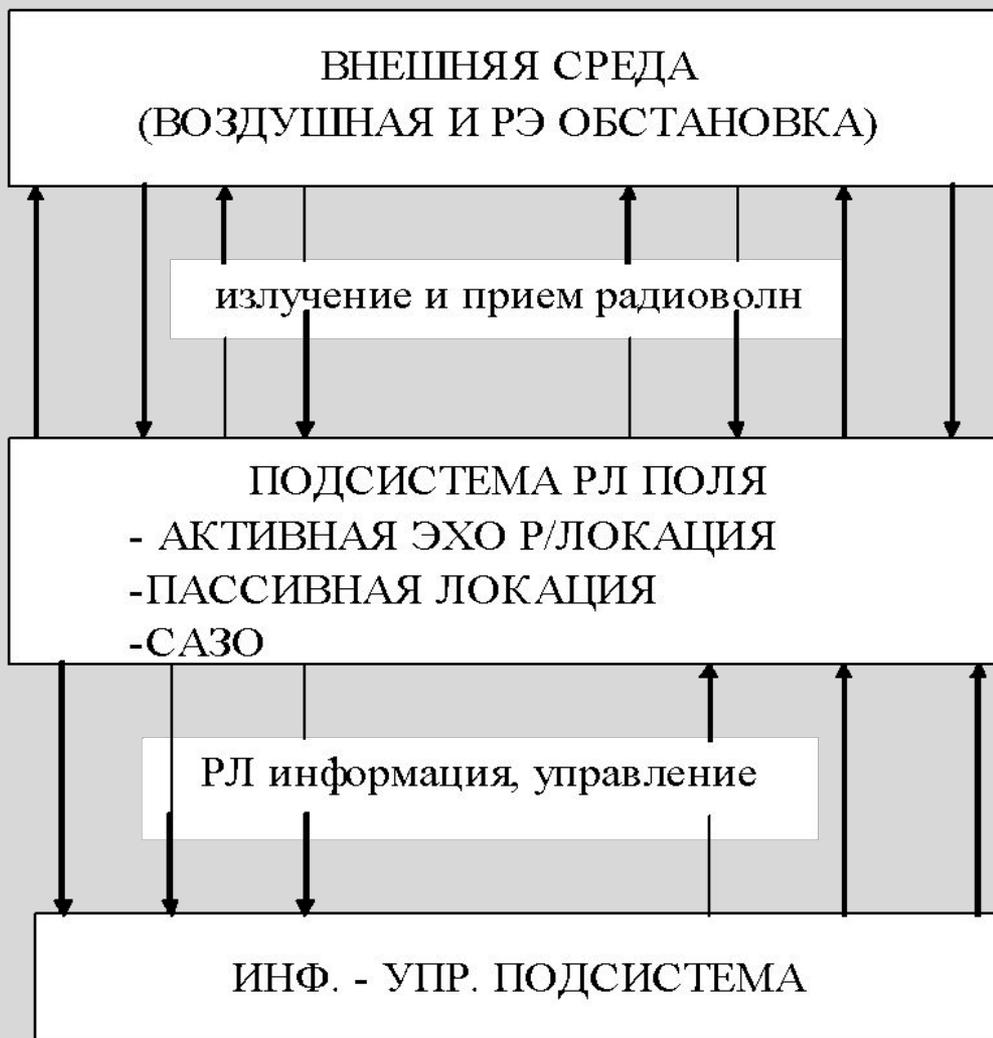


Рис.1.3. Радиолокационная система

Радиолокационная система, в свою очередь, также состоит :  
из подсистемы радиолокационного поля и информационно-управляющей подсистемы.

**Информационно-управляющая подсистема** выполняет функции сбора, обработки и выдачи РЛИ потребителям. Она выполнена в виде сети взаимосвязанных командных пунктов (КП) и разведывательно-информационных центров (РИЦ) соединений ПВО, оснащаемых комплексами средств автоматизации. Информационно-управляющая подсистема обеспечивает объединение отдельных отчетов координат целей в трассы (вторичная обработка), отождествление и объединение РЛИ от различных источников (третичная обработка), управление работой подсистемы радиолокационного поля (РЛП) и потоком РЛИ.

**Подсистема РЛП** взаимодействует с внешней средой (воздушной и радиоэлектронной (помеховой) обстановкой), используя известные типы радиолокаций: активную эхо-локацию, пассивную локацию источников радиоизлучений (помех) и активную локацию с активным ответом (системы с активным запросом-ответом (САЗО) – для увеличения дальности локации своих истребителей).

Элементы подсистемы РЛП работают, как правило, в режиме последовательного обзора пространства и добывают первичную РЛИ в виде дискретных отсчетов координат и признаков целей с привязкой их во времени в пределах своих зон обнаружения

Радиолокационная техника (РЭТ) РТВ представляет собой сложную совокупность (систему) образцов радиолокационных станций (РЛС). Эта система сложилась исторически и развивается на протяжении десятилетий, подчиняясь определенным закономерностям. Сложность системы РЭТ РТВ обусловлена:

- разнообразием классов**, типов, технических решений и элементной базы радиоэлектронных средств (РЭС), одновременно и совместно находящихся в эксплуатации;
- территориальным распределением** и разнообразными климатическими условиями эксплуатации;
- необходимостью многоуровневого информационного обмена**, т. е. сопряжения РЭТ РТВ с разнообразными потребителями информации; большим суммарным расходом ресурсов (людских, энергии, топлива, материальных и денежных средств) на эксплуатацию и поддержание боевой готовности РЭТ;
- постоянным обновлением типажа РЭТ**, совершенствованием парка РЭТ по частям (элементам), необходимостью обеспечения совместимости (совместная эффективная работа) РЭТ разных типов и поколений.

*Так как основной особенностью РЛ системы является то, что она давно создана, функционирует и постоянно развивается, поэтому применение к РЛ системе принципа системного подхода предполагает в первую очередь обоснование наиболее вероятных и рациональных путей её развития, которые предусматривают:*

- 1) обновление парка РЛВ,**
- 2) совершенствование структуры (группировки) подразделений РТВ и**
- 3) совершенствование внутрисистемных связей.**

Перечисленные направления развития тесно взаимосвязаны.

## Вопрос2. Внешняя среда радиолокационной системы РТВ

Физической внешней средой радиолокационной системы является приземное (воздушное) пространство, в котором находятся объекты локации (радиолокационные цели) и распространяются радиоволны, обеспечивающие локацию объектов, а также передачу информации внутри системы. Наряду с указанными «полезными» объектами внешняя среда содержит:

*-источники помехового фона:*

*-пассивно переизлучающие отражатели (неоднородности среды распространения);*

*-источники посторонних (мешающих) излучений;*

*-а также объекты, обладающие поражающим действием на элементы радиолокационной системы – как естественного происхождения, так и создаваемые противником.*

## 2.1. Радиолокационные цели и мешающие отражения

Объектами (целями) являются аэродинамические (самолёты), аэростатические (АДА, воздушные шары) и ракетные летательные аппараты (ЛА), движущиеся в атмосфере. Основные классы объектов существенно отличаются между собой по геометрии ЛА, их радиолокационным и летно-техническим характеристикам. Следует различать:

- самолеты стратегической авиации (СА);
- самолеты тактической и палубной (авианосной) авиации (ТА);
- стратегические крылатые ракеты (СКР) – ударные беспилотные невозвращаемые самолеты;
- авиационные и зенитные ракеты (управляемые реактивные снаряды) различных классов;
- беспилотные (или дистанционно пилотируемые) ЛА – БПЛА, ДПЛА – разведывательные или беспокоящие, возможно - РЭБ;
- автоматические дрейфующие аэростаты (АДА) и воздушные шары, в перспективе, возможно, и дирижабли.

## Эффективные поверхности рассеяния СВН, м<sup>2</sup>

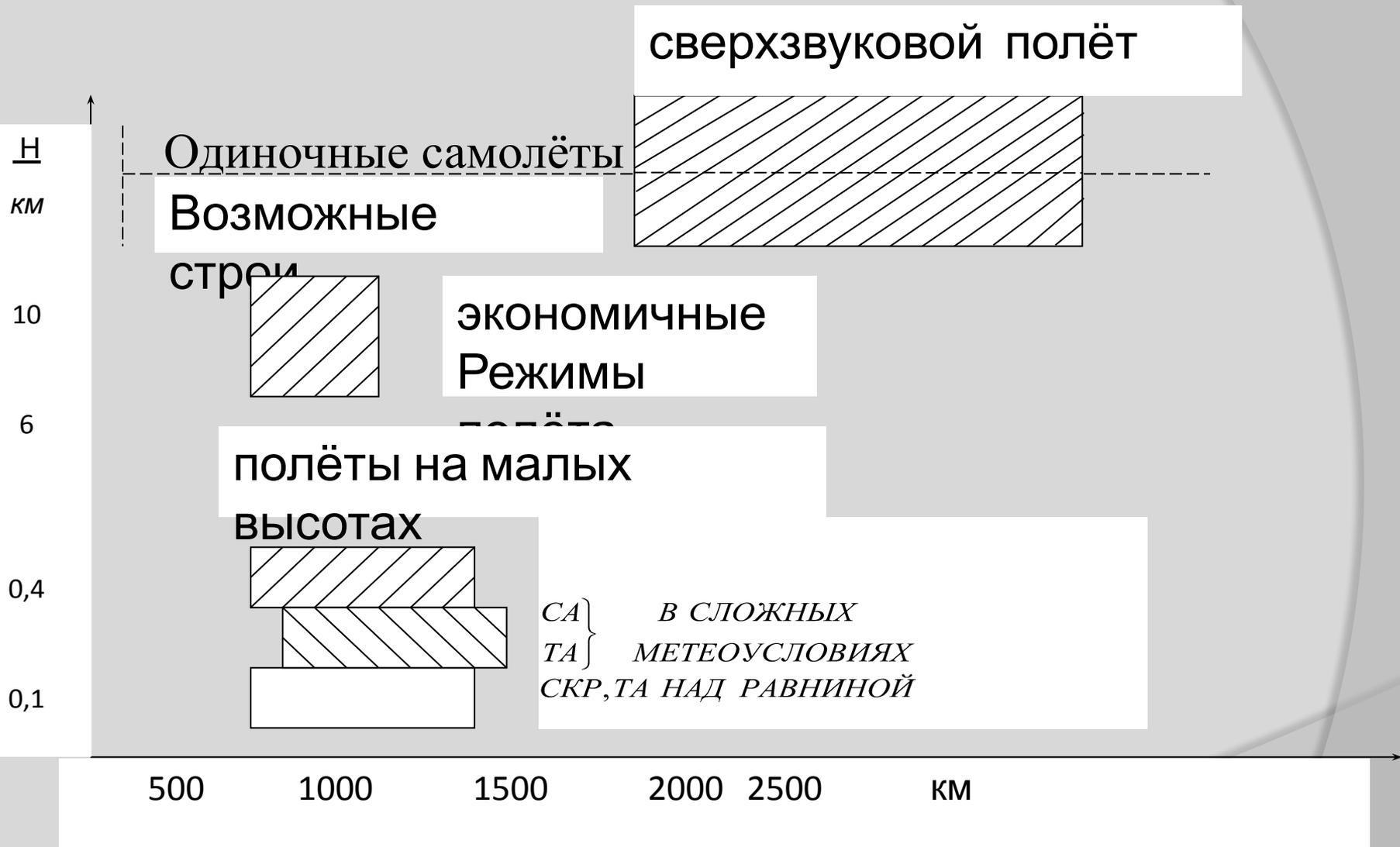
	Диапазон волн								
	Сантиметров.(3..10)			Дециметров(10..100)			Метровый(150..200)		
	ППС	борт	ЗПС	ППС	борт	ЗПС	ППС	борт	ЗПС
<b>СРЭМ (УРС)</b>	0,02.. ..0,03	0,07.. ..0,08	0,1..0, 2	0,03.. ..0,07	0,3...0, 8	0,2...0, 5	0,7.. ..2,5	0,8.. ..0,9	0,5.. ..1,0
<b>АЛКМ</b>	0,1.. ..0,2	0,35.. ..0,4	0,2.. ..0,3	0,1.. ..1,0	0,4...1,8	0,2...0, 4	1...2	1,8.. ..3,0	0,4.. ..4,8
<b>В-1А (СА)</b>	10..14	50	45	14..40	50...100	35..45	40...50	100	35..80
<b>В-52 (СА)</b>	75..80	63..70	120.. ..125	55..75	53..63	30...120	50..55	53..63	27..30
<b>FB-111 (ТА)</b>	8...8,5	10...11	7...7,5	8,5	9...11	7,5...8, 5	8,5...9	9...13	8,5..15
<b>В-4,-5 (ТА)</b>	7...10	6...7	15..20	10..20	7...15	10..15	14..17	15..29	10..15

Практический потолок самолетов:

- СА и ТА достигает-15Км ,
- самолетов-разведчиков – до 35км,
- дрейфующих аэростатов – до50Км .

В ближайшее время возможно появление нового класса целей – гиперзвуковых самолетов с высотами баллистического заброса до 100Км и более. Такие же большие высоты заброса характерны и для управляемых радиолокационных снарядов (УРС) «воздух-земля» (СРЭМ, АСАЛМ и т.п.).

Минимум высоты полета СВН определяется сложностью рельефа местности. Полет СВН на малых и предельно малых высотах будет одним из основных приемов преодоления воздушным противником нашей системы ПВО .



Основные боевые режимы полета СВН

Скорости полета основных СВН – самолетов СА, ТА и СКР лежат в диапазоне  $V_{ц} = 150 \dots 180$  м/с. Дозвуковые скорости характерны для малых высот и экономичных (крейсерских) режимов полета. Гиперзвуковые самолеты будут развивать скорость до  $V_{ц} = 8000$  км/час = 2200 м/с.

## 2.2 Мешающие отражения

Мешающими являются все отражатели, неоднородности среды распространения радиоволн, которые не являются радиолокационными целями.

Эхо-сигналы «точечных», изолированных отражений создают имитирующие пассивные помехи, которые перегружают системы обработки РЛИ; распределение совокупности отражателей создают маскирующие пассивные помехи (МПП).

Источниками МПП для РЛС являются :

- участки земной поверхности;
- облака гидрометеоров;
- облака искусственных металлических (металлизированных) отражателей-диполей, лент либо специальных аэрозолей;
- пылевые облака, крупные скопления птиц, насекомых, турбулентная атмосфера;
- искусственно ионизированные области.

**Маскирующий эффект МПП** определяется соотношением ЭПР цели  $\sigma_{\text{ц}}$  и средней ЭПР  $\sigma_{\text{МПП}}$  распределенного отражателя – совокупности отражателей в элементе разрешения РЛС.

Искусственные МПП создают, сбрасывая пачки дипольных отражателей (ДО.)

Наиболее распространены и интенсивны МПП – отражения от Земли.

Наиболее сильные мешающие отражения наблюдаются в горах, от больших застроек и. тд.

Одиночные или групповые целеподобные ПП создаются противником преднамеренно с помощью отдельных выбросов отражателей или запуска имитирующих ракет либо БПЛ.

Селекция целей на фоне маскирующих и имитирующих помех представляет одну из основных проблем при создании и совершенствовании образцов РЛВ РТВ.

## 2.3. Внешние излучения

РТВ образует многопозиционную систему, но каждая РЛС работает индивидуально, используя для получения РЛИ только собственное излучение. Поэтому для каждой РЛС любые посторонние излучения, воздействующие на приемный тракт, создают помехи эхо-локации; их принято называть активными помехами.

Источниками активных помех (АП) для РЛС РТВ могут быть:

- авиационные станции АП, устанавливаемые на борту постановщиков АП (ПАП) – ударных СВН или самолетов, вертолетов РЭБ, в том числе БПЛА;
- станции АП корабельного или наземного базирования;
- забрасываемые малогабаритные передатчики помех одноразового использования (ППОИ);
- свои РЭС, в том числе РЛС РТВ, излучающие в соответствующих частотных диапазонах в пределах радиовидимости;
- природные (естественные) источники ЭМ излучения;
- области ядерных взрывов.

По характеру воздействия на РЛС АП могут быть маскирующими (МАП) и имитирующими (ИАП). МАП с шумовой модуляцией или маскирующие шумовые помехи (МШП) являются основным видом умышленных АП, создаваемых противником с целью радиоэлектронного подавления (РЭП) РЛС РТВ и радиолокационной системы в целом. Взаимные помехи от других РЭС и источников излучений для РЛС РТВ обычно являются импульсными. По степени концентрации спектра мощности по частоте и направленности излучения АП делятся на прицельные и заградительные

Активные помехи могут ставиться с рубежа прямой видимости с высот 3...10км, однако более вероятна их постановка, начиная с рубежей радиолокационного обнаружения; возможно комбинированное применение противником МАП и МПП (рис.1.9).

Воздействие МАП (МШП) определяется спектрально-пространственной плотностью потока мощности  $I_p$  (вт/Гц.м<sup>2</sup>), создаваемого ПАП в точке стояния РЛС

При расчетах обычно пользуются усредненными значениями параметров помех и ДНА ПАП (табл. 1.2), а также средними значениями уровней бокового приема ДНА РЛС (рис. 1.10).

№	Характеристики	Зона барражирования	
		самолетов РЭБ	вертолетов и РЭБ ДПЛА
1	Удаление центра зоны барражирования от границы боевого порядка, км	250...400	15...35
2	Высота барражирования, км	3...10	0,3...3
3	Размеры зоны барражирования: длина, км ширина, км	30...60 10...15	10...12 3...4
4	Количество эшелонов	1...2	1...2
5	Высота между эшелонами, км	0,3...0,5	0,1...0,2

Таб.1.2. Характеристики зон барражирования самолетов и вертолетов РЭБ

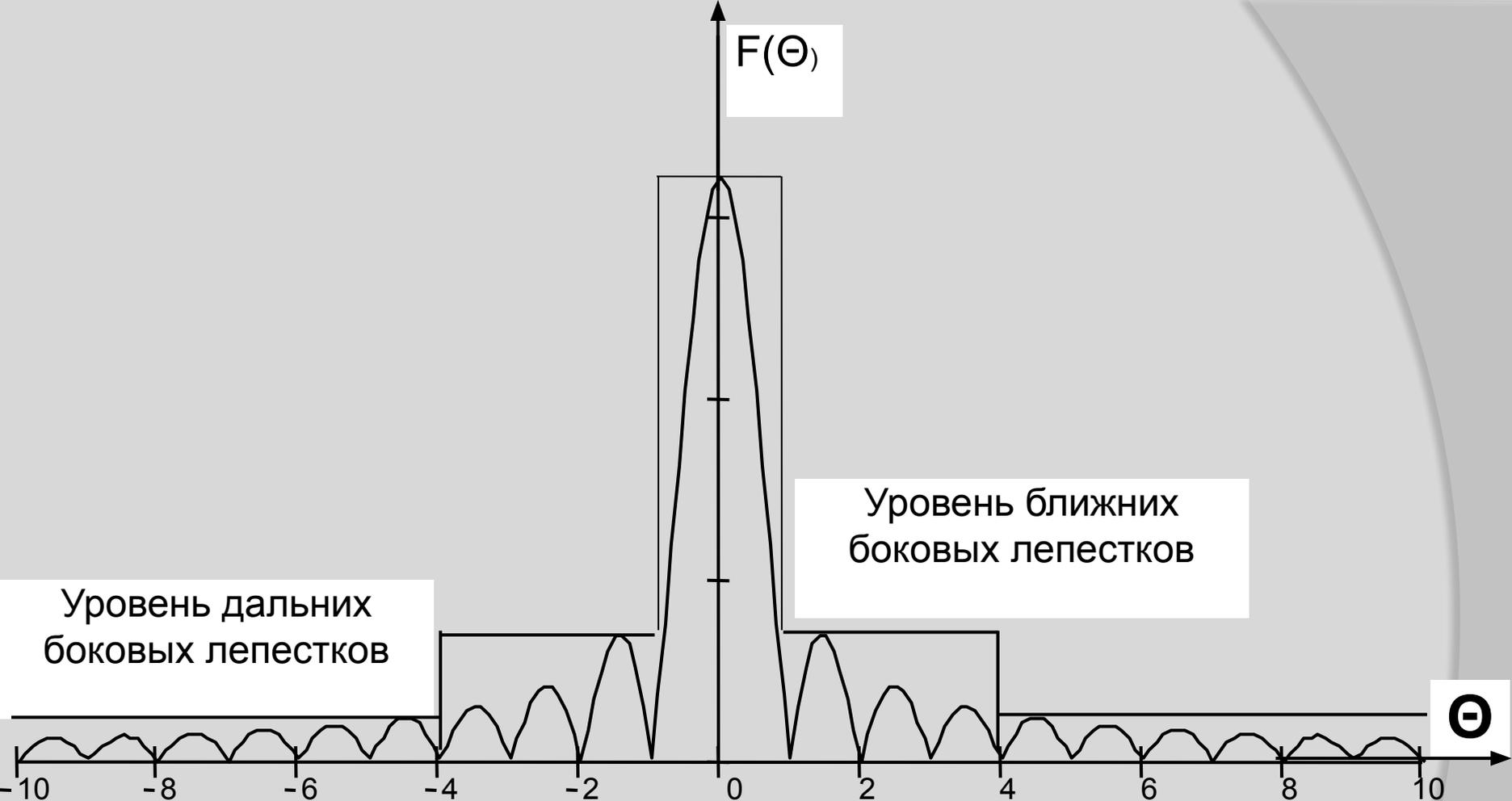
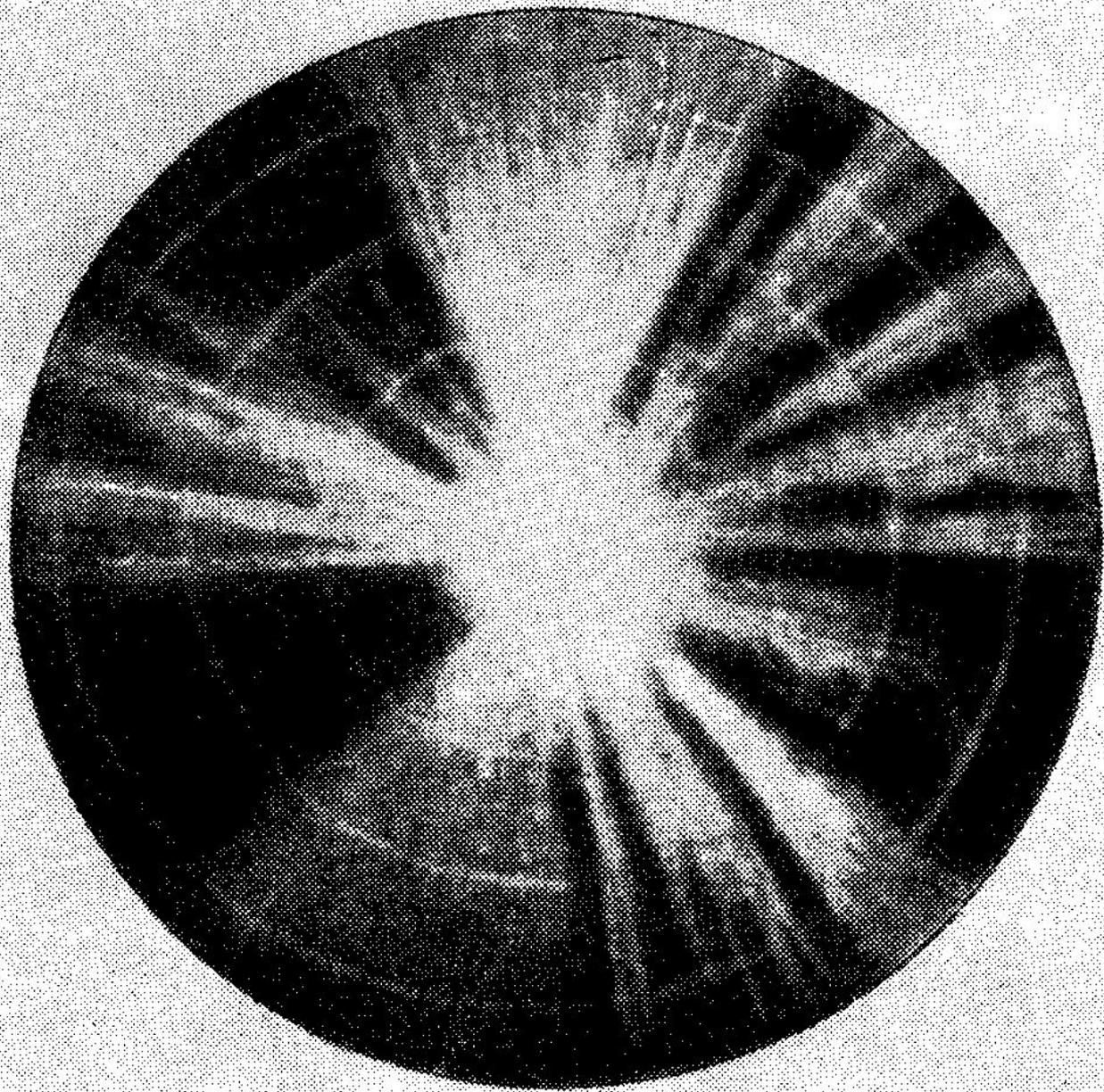


Рис.1.10 Диаграмма направленности антенны и её аппроксимации.



Основными эффектами среды распространения, которые следует учитывать в наземных РЛС РТВ, являются:

- непрямолинейность распространения (искривление) лучей радиоволн в вертикальной плоскости;*
- экранирующий эффект поверхности «сферической» Земли и ее неоднородностей (элементы рельефа, сооружения, растительность);*
- переотражение (рассеяние) радиоволн земной поверхности;*
- затухание радиоволн в атмосфере.*

**Искривление (рефракция) лучей** определяется градиентом  $\text{grad}(n)$  коэффициента преломления атмосферы. При нормальной положительной рефракции  $\text{grad}(n) < 0$  и луч «прижимается» к Земле, за счет чего несколько увеличивается

дальность прямой видимости  $R_{\text{пр}}$ . Это несомненно полезно для радиолокационной системы, но вызывает систематические ошибки измерения угла места целей, а, следовательно, и высоты Нц.

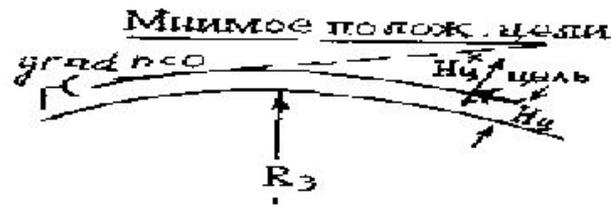


Рис.1.11 Искривление луча

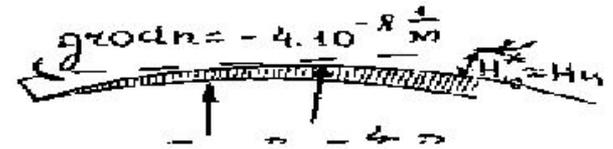


Рис.1.12. "Спрямление" луча при нормальной рефракции

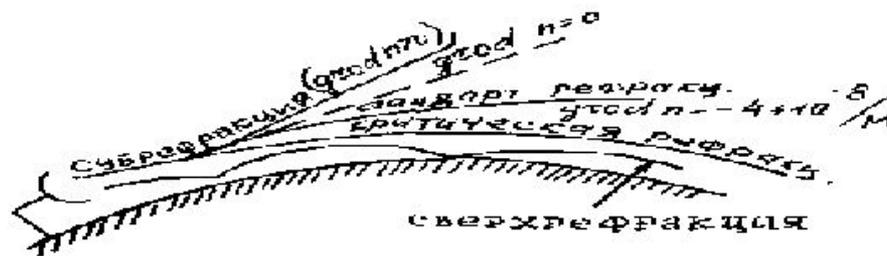


Рис.1.13. Типы рефракции радиоволн в атмосфере

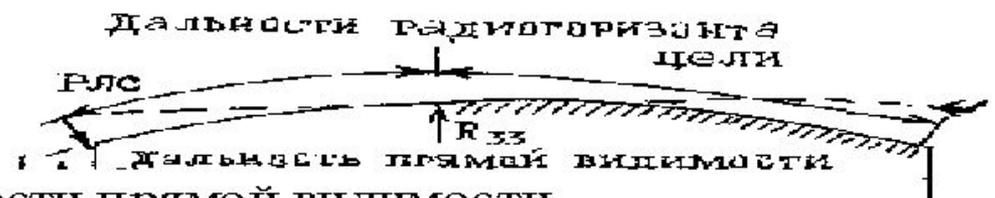


Рис.1.14. К расчету дальности прямой видимости

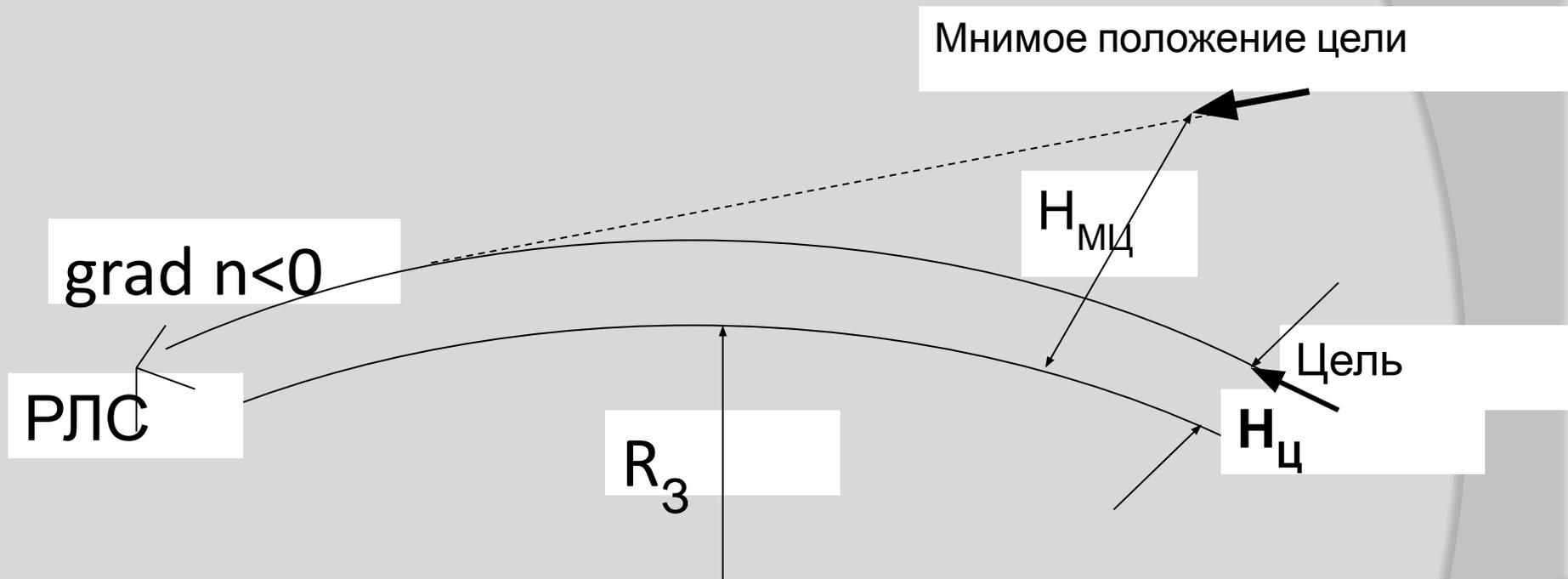


Рис. 4. Искривление луча

$$\text{grad } n = -4 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$$

РЛС

$$H_{\text{мц}} = H_{\text{ц}}$$

$$R_3$$

$$R_{3\text{э}} = \frac{4}{3} R_3$$

Рис. . «Спрямление» луча при нормальной рефракции

При  $grad(n) = -15,7 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$

рефракция становится критической (рис. 5), луч огибает сферическую Землю

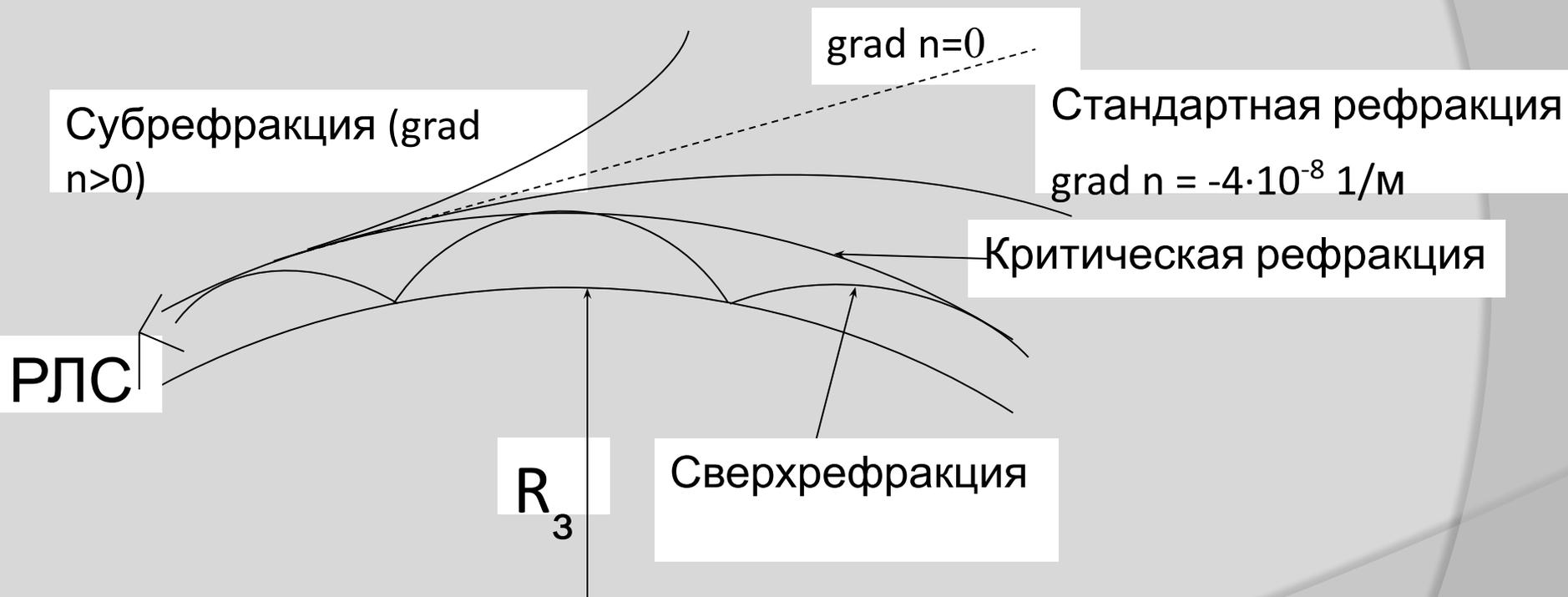


Рис 5.. Типы рефракции радиоволн в атмосфере

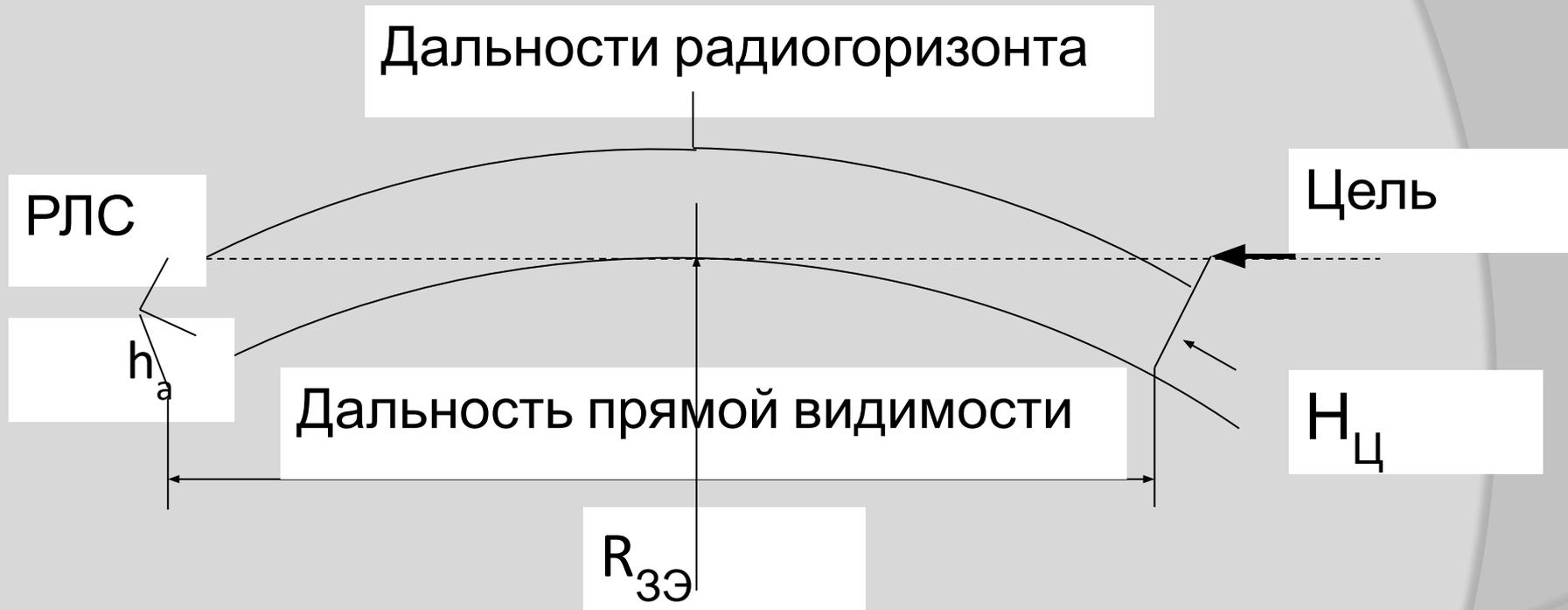


Рис.6. К расчету дальности прямой видимости

Необходимые поправки при расчете  $r_{пр}$  и  $H_{ц}$  вводятся за счет использования эквивалентного радиуса Земли  $R_{зэ}$ , что приводит к эффекту как бы «спрямления» лучей (Рис.1.6.). Обычно пользуются значением

$$R_{зэ} \approx \frac{4}{3} \cdot R_з = 8500 \text{ км}, \quad (R_з = 6370 \text{ км})$$

соответствующим усредненной типовой («стандартной») атмосфере при  $\text{grad } n = -4 \times 10^{-8} \text{ 1/м.}$

При отклонении  $\text{grad } n$  от указанного номинала необходимо изменять расчетное значение  $R_{зэ}$ , однако на практике подразделения РТВ не располагают данными о высотных профилях температуры и влажности атмосферы. Косвенные данные о реальной рефракции на конкретной позиции можно получить по виду радиолокационной карты местности, т.е. энергетического «рельефа» наблюдаемых отражений.

Если  $\text{grad } n = -15,7 \times 10^{-8} \text{ 1/м.}$ , рефракция критическая (Рис. 1.7.), луч огибает сферическую Землю. При  $\text{grad } n < -15,7 \times 10^{-8} \text{ 1/м.}$  наблюдается сверхрефракция и над ровной поверхностью образуется атмосферный волновод, что резко увеличивает дальность обнаружения маловысотных целей. Такая ситуация связана с инверсией температуры атмосферы по высоте и является типичной для морских (озерных) секторов зоны обнаружения прибрежных РЛС. Концентрация электромагнитной энергии в приземном слое атмосферы приводит к ухудшению радиолокационной наблюдаемости целей в более высоких слоях атмосферы.

**Экранирующий эффект «гладкой» Земли** (рис. 1.14) приводит к ограничению дальности прямой видимости «антенна РЛС – цель»:

$$r_{\text{ПР}} [\text{км}] \approx \sqrt{2R_{3Э} h_a} + \sqrt{2R_{3Э} h_{\text{Ц}}} \approx 4,12 \left( \sqrt{h_a [\text{м}]} + \sqrt{h_{\text{Ц}} [\text{м}]} \right),$$

Знак равенства здесь соответствует «оптической», т.е. предельной наблюдаемости очень узким лучом.

В диапазонах РЛС РТВ всегда есть переотражение радиоволн поверхностью Земли, которое уменьшает дальность обнаружения ( $r_{обн} < r_{пр}$ ). Коэффициент использования радиогоризонта для маловысотных целей

$$K_{pg} = \frac{r_{обн}}{r_{пр}}$$

может составлять от 0,6 до 0,95 в зависимости от диапазона волн и энергетического потенциала РЛС. Дальность прямой видимости может существенно сокращается в реальных условиях «негладкой» Земли. Для маловысотного радиолокационного поля существенными могут быть даже небольшие дополнительные углы закрытия ( $10^\circ - 20^\circ$ ), создаваемыми элементами рельефа, зданиями, лесом. Переотражение радиоволн от поверхности Земли оказывает заметное воздействие на нижнюю кромку зоны обнаружения РЛС РТВ и радиолокационного поля в целом. В метровом диапазоне волн влияние переотражений проявляется во всем рабочем диапазоне углов места РЛС. Факторы затенения и переотражения необходимо учитывать при измерениях угла места (высоты) целей и выборе позиций РЛС РТВ.

В большинстве рельефных ситуаций эти факторы являются для РЛ системы РТВ мешающими. Отражательные характеристики поверхности Земли не позволяют «прижать» к ней радиолокационное поле, например, за счет использования вертикальной поляризации радиоволн; как правило, происходит «отжатие».

**Затухание радиоволн в атмосфере на приземных трассах в диапазонах волн РЛС РТВ невелико и ощутимо, в основном, при  $\lambda = 10 - 15$  см. в особых погодных условиях (протяженные облака гидromеторов, грозовая облачность, осадки). Потери энергии на трассах протяженностью 200 – 400 км. могут достигать  $\sim 2-4$  дБ. Искусственно ионизированные области ядерных взрывов будут, по видимому, оказывать кратковременное влияние на работу РЛС в метровом диапазоне волн.**

## 2.4. Поражающие факторы

Огневое поражение РЭС является по взглядам вероятного противника важнейшей составной частью радиоэлектронной войны (борьбы). С этой целью могут использоваться удары авиации, в том числе специально выделенных групп самолетов с применением авиационных бомб и управляемых ракет. Особую опасность для РЛС РТВ представляют специальные противорадиолокационные ракеты и снаряды (ПРР, ПРС), запускаемые с дальностей от 15...20 км до 60...1000 км, обладающие высокой скоростью полета (1...2) М и высокой точностью попадания, обеспечиваемой пассивными радиолокационными головками самонаведения на излучения РЭС. Самонаведение ПРР, бомб и других средств поражения может также осуществляться с помощью телевизионных, лазерных, инфракрасных средств. Возможно наведение с помощью высокочастотных навигационных комплексов, например, «Навстар», на основе предварительной высокочастотной разведки местонахождения РЭС.

Помимо воздействия ударной волны, светового и проникающего излучений, необходимо учитывать специфическое воздействие на радиоэлектронную аппаратуру электромагнитного импульса (ЭМИ), наводимого ядерным взрывом на больших удалениях. ЭМИ может выводить из строя современные большие интегральные схемы. Защита от ЭМИ представляет серьезную техническую проблему при разработке РЭС РТВ и эксплуатации их в войсках.

# **Устойчивость РЛ системы по отношению к огневому поражению достигается:**

- маскировкой и укрытием РЭС;**
- оборудованием запасных и ложных позиций;**
- созданием скрытых и резервных полей и каналов связи;**
- своевременным обнаружением и уничтожением самолетов - разведчиков и носителей противорадиолокационного оружия;**
- мобильностью РЛС и маневром подразделений;**
- использованием отвлекающих и имитирующих излучений;**
- способностью РЭС к обнаружению пусков ПРР и оперативному применению технических средств и режимов защиты;**
- конструированием РЭС с учетом минимума ущерба от поражения излучающих антенн, созданием запаса поражаемых элементов для их быстрой замены.**

К поражающим факторам естественного происхождения относятся аномально высокие и низкие температуры, относительная влажность воздуха, прямое и косвенное воздействие атмосферных осадков, ветра, аэрозолей, химически агрессивных примесей атмосферы, солнечной радиации, насекомых, грызунов и микрофлоры, а также обвалов, оползней и т. д.

## Заключительная часть-5мин

- подвести итоги занятия;
- ответить на вопросы по теме;
- дать задание на самоподготовку:

### 1)ОТРАБОТАТЬ ВОПРОСЫ:

- А).Радиолокационная система как большая система.
- Б).Внешняя среда радиолокационной системы РТВ.



# Контрольные вопросы

1. Почему в РЛС с простым сигналом применяются однокаскадные схемы построения радиопередающих устройств?
2. Почему радиопередающие устройства с ЛЧМ сигналом не используют в качестве усилительного элемента пролетный клистрон?
3. По какой причине усилители радиопередающих устройств строятся по многоступенчатой схеме?
4. В следствии каких причин многоканальные радиопередающие устройства обязательно охвачены системой автоматического контроля?
5. Как объяснить, что радиопередающие устройства являются основным потребителем энергии в РЛС?
6. Какие элементы радиопередающих устройств влияют на информационную способность РЛС и обеспечивают её высокую помехозащищенность?

## ВЧ элементы РЛС

- Коаксиальные и двукоаксиальные линии передачи
- Волноводы
- Высокочастотные фильтры
- Микрополосковые линии
- Ферритовые вентили
- Волноводные переключатели
- Фазовращатели
- Антенные переключатели
- Волноводно-коаксиальные переходы
- Токосъемники
- Радиопоглощающие элементы ВЧ энергии
- Элементы защиты

## Основные технические характеристики волноводного

тракта :

1. *Степень согласования* волноводного тракта с нагрузкой характеризуется коэффициентом бегущей волны (КБВ) или обратной ему величиной - коэффициентом стоячей волны напряжения - КСВН. Величина КСВН показывает, насколько режим работы волноводного тракта отличается от режима бегущих волн. Практически считается, что нагрузка хорошо согласована с линией передачи, если  $КСВН < 1,2$ , и согласована удовлетворительно, если  $КСВН = 1,2...2,0$ .

2. *Потери энергии в волноводном тракте* обусловлены тепловыми потерями в металлических проводящих поверхностях и диэлектрическими потерями линий передачи. Величину потерь принято характеризовать коэффициентом поглощения. Для линий передач пользуются величиной погонного ослабления, выраженной в децибелах на один метр длины. Для волноводов значение погонного ослабления составляет  $0,01...0,05$  дБ/м, для полосковых и коаксиальных линий передачи -  $0,05...0,5$  дБ/м. Потери реальных трактов РЛС -  $0,5...1$  дБ на передачу и  $2...3$  дБ на прием.

3. *Максимальная передаваемая мощность в волноводном тракте* ограничивается возможностью электрического пробоя и допустимым нагревом диэлектрика линии передачи.

## Параметры длинной линии

1. Длинная линия характеризуется распределенными параметрами: емкостью  $C'$  [Ф/М] и индуктивностью  $L'$  [гн/М] на единицу длины. Элементарный участок  $dl$  такой линии имеет емкость  $C'dl$  и индуктивность  $L'dl$  (рис. 3.15).

2. Другим важным параметром длинной линии является ее волновое сопротивление

$$\rho = u/i = \sqrt{L'/C'}$$

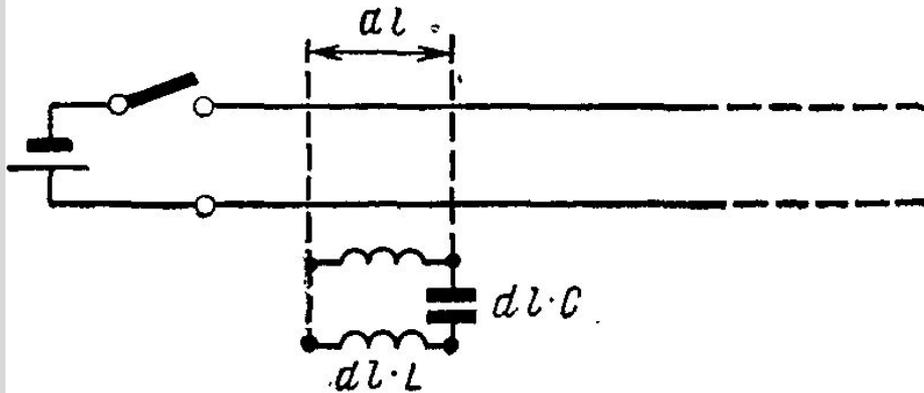


Рис. 3.15. Длинная линия и эквивалентная схема ее элемента.

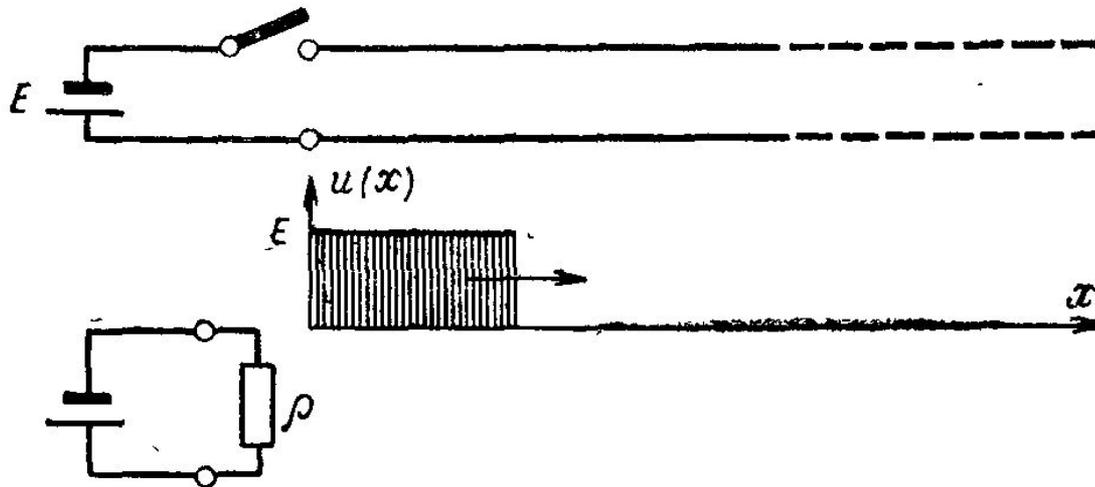


Рис. 3.16. Подключение бесконечно длинной линии к источнику постоянного напряжения.

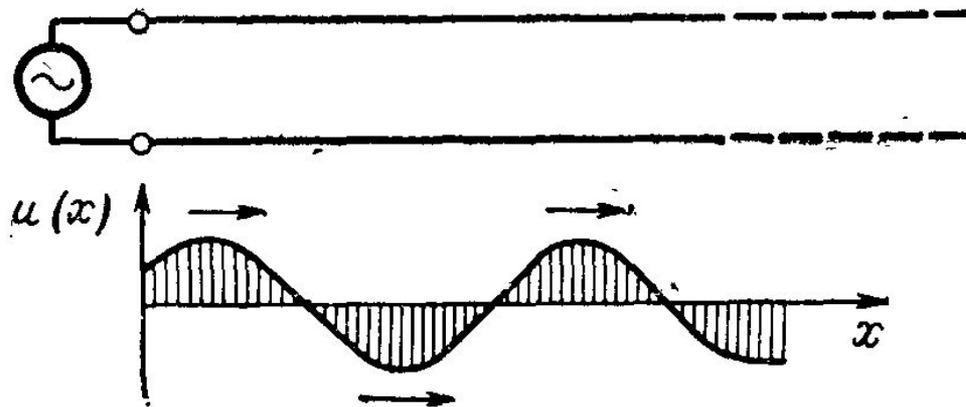


Рис. 3.17. Бегущая волна в бесконечно длинной линии.

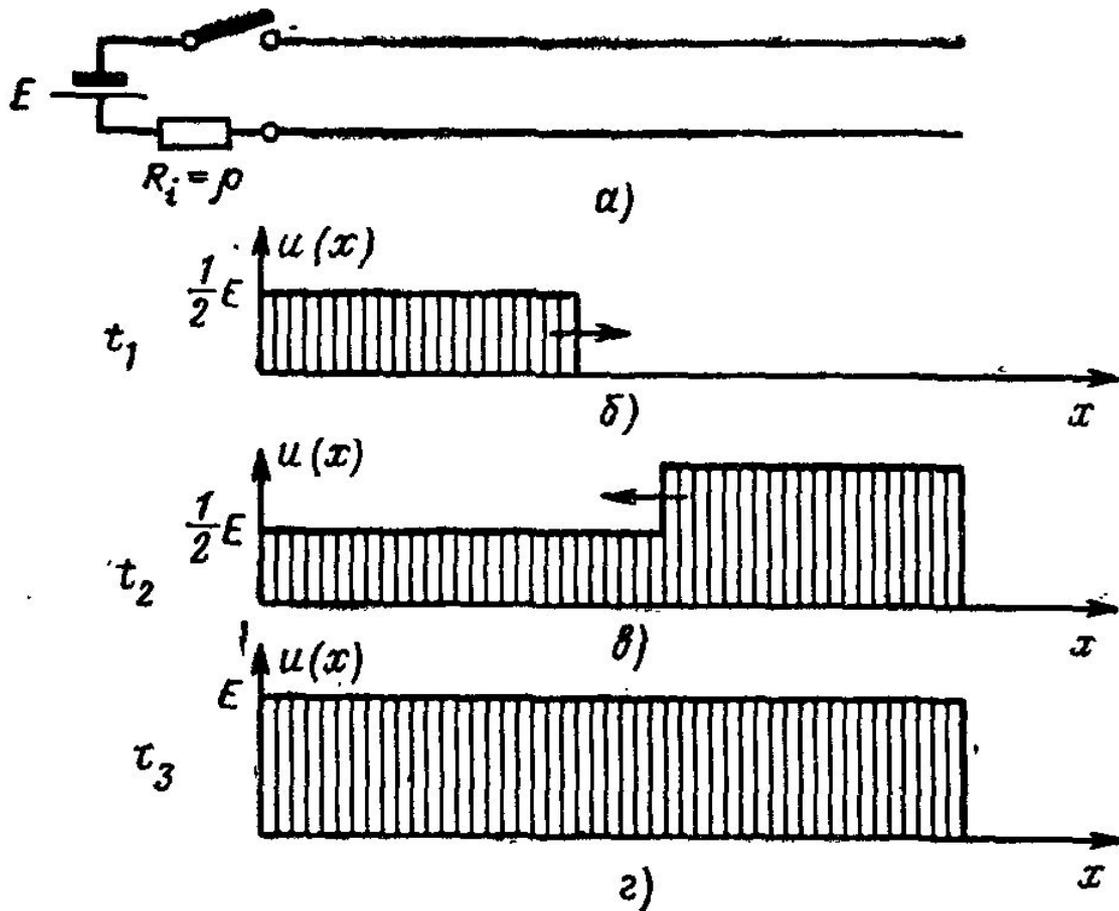


Рис. 3.18. Подключение линии, разомкнутой на конце, к источнику постоянного напряжения.

При подключении разомкнутой линии к источнику переменного напряжения

Первоначально от входных зажимов к концу линии распространяется бегущая (падающая) волна

$$u_1(x, t) = U_M \cos \omega [t - (x/v)].$$

От конца линии к входным зажимам распространяется вторая бегущая (отраженная) волна

$$u_2(x, t) = U_M \cos \omega [t + (x/v)].$$

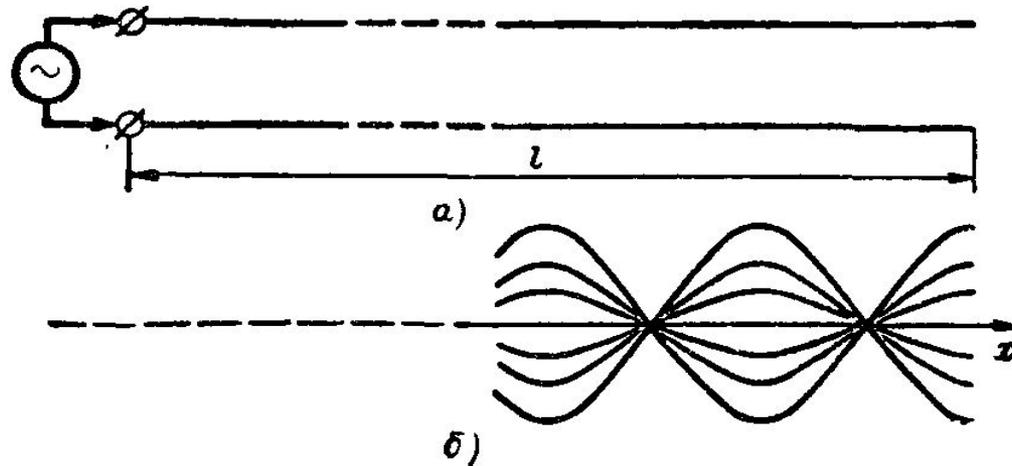


Рис. 3.19. Разомкнутая на конце линия (а) и стоячие волны (б) в ней.

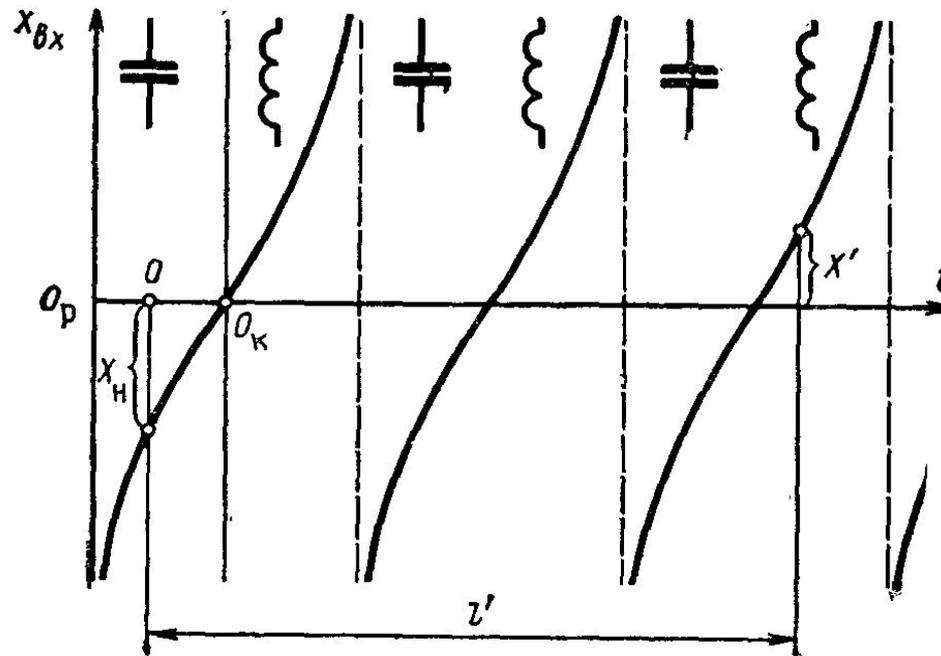


Рис. 3.20. Реактивное сопротивление линии в зависимости от ее длины.

1. Напряжения и токи в каждой точке разомкнутой длинной линии сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ .
2. Амплитуды токов и напряжений изменяются вдоль линии. В одних точках—узлах—напряжение всегда отсутствует, в других—пучностях—имеет максимальное значение. Пучности и узлы чередуются через  $\lambda/4$ . Пучности тока соответствуют узлам напряжения и наоборот. Такое распределение поля вдоль линии **называется стоячей волной** (рис. 3.19, б). Для источника разомкнутая длинная линия представляет реактивное сопротивление.

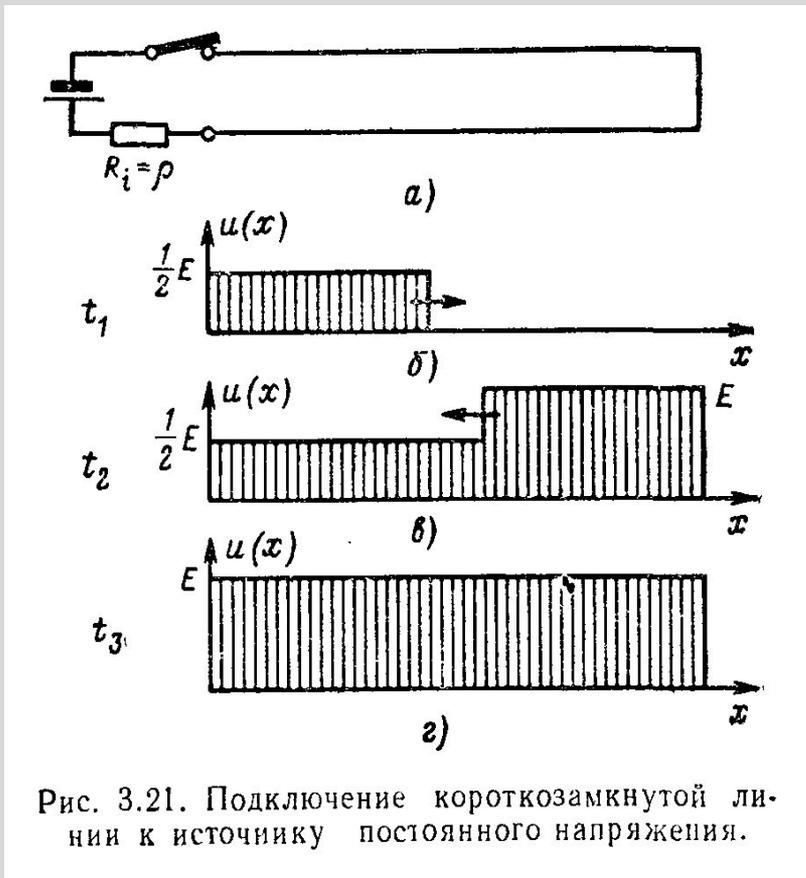


Рис. 3.21. Подключение короткозамкнутой линии к источнику постоянного напряжения.

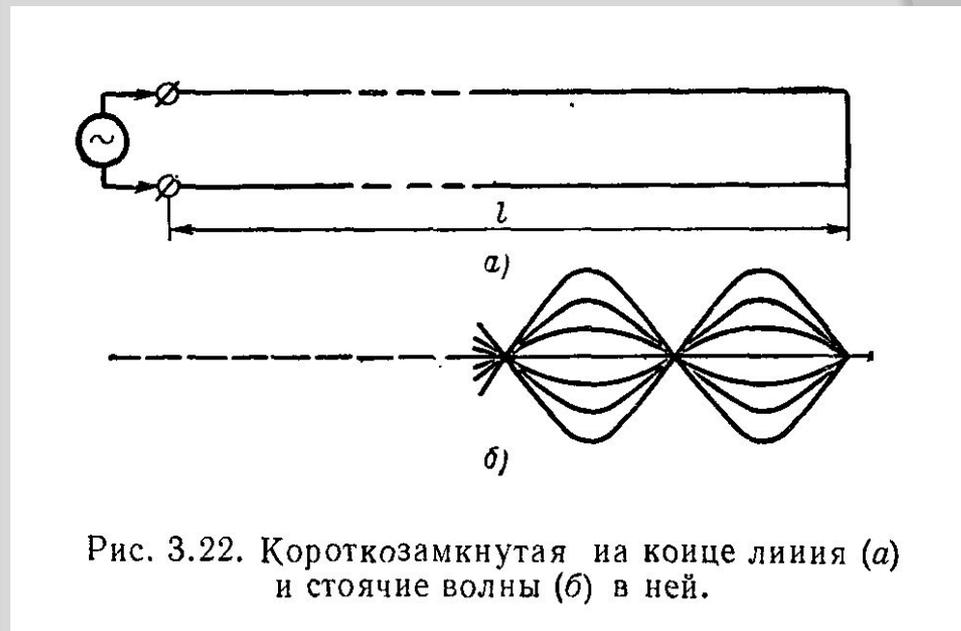


Рис. 3.22. Короткозамкнутая на конце линия (а) и стоячие волны (б) в ней.

## ВЧ элементы РЛС

- Коаксиальные и двукоаксиальные линии передачи
- Волноводы
- Высокочастотные фильтры
- Микрополосковые линии
- Ферритовые вентили
- Волноводные переключатели
- Фазовращатели
- Антенные переключатели
- Волноводно-коаксиальные переходы
- Токосъемники
- Радиопоглощающие элементы ВЧ энергии
- Элементы защиты

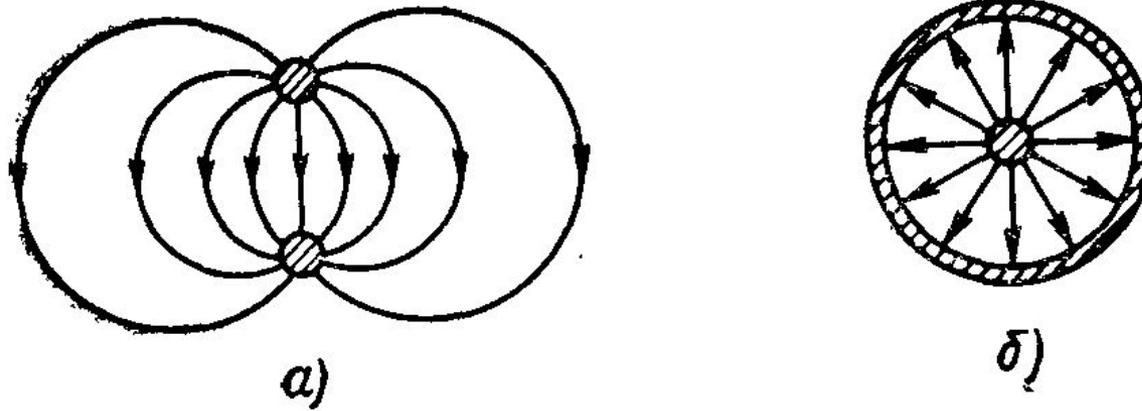


Рис. 4.1. Электрическое поле двухпроводной (а) и коаксиальной (б) линий.

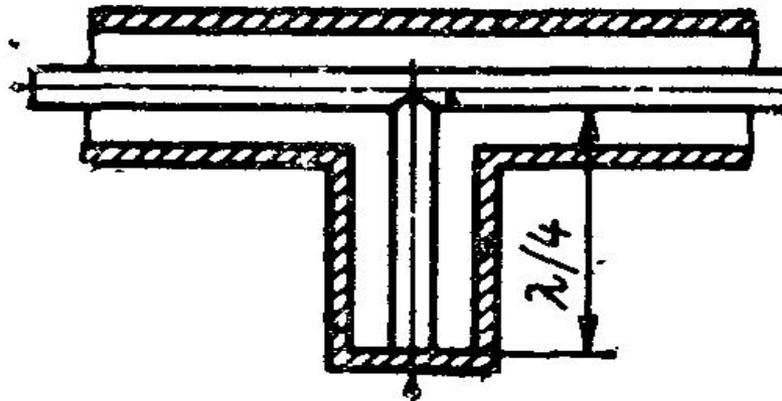


Рис. 4.2. Металлический изолятор.

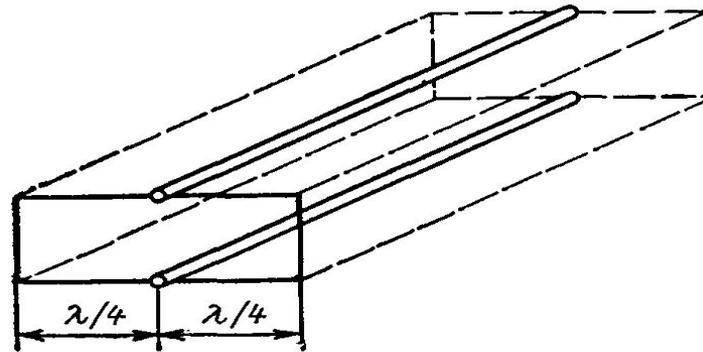


Рис. 4.3. Двухпроводная линия — аналог волновода.

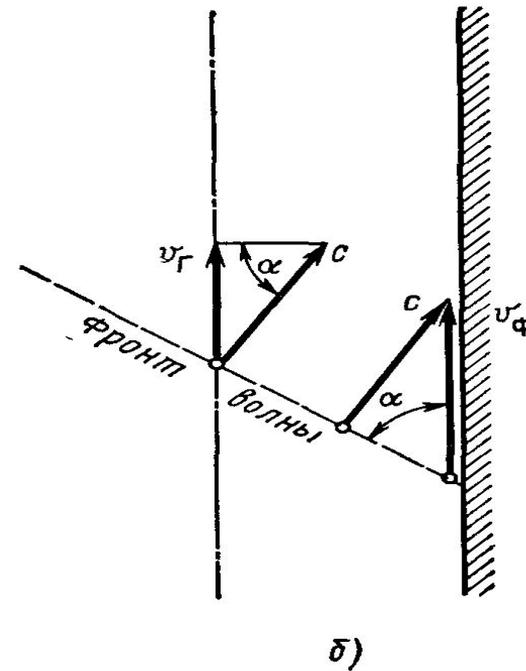
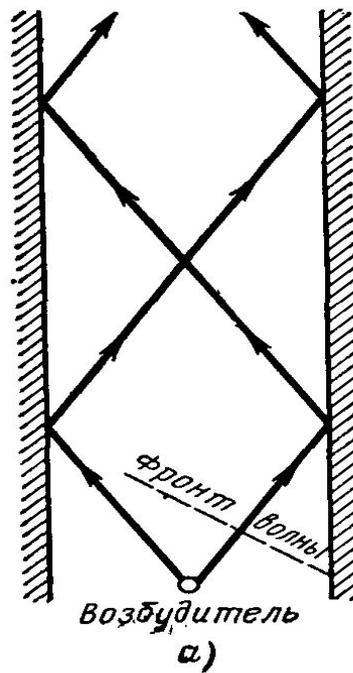
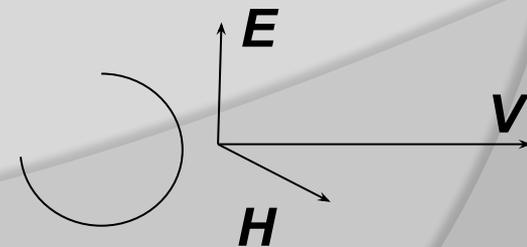


Рис. 4.4. Распространение радиоволн в волноводе (а); соотношение между фазовой и групповой скоростями (б).

$$K_{БВ} = \frac{U_{min}}{U_{max}} = \frac{U_{min}}{I_{max}} = \frac{\rho}{Z_H}$$

Выводы из уравнений Д. Максвелла при граничных условиях

1. Изменение электрического поля порождает изменение магнитного поля, и наоборот
2. Оба поля существуют одновременно
3. Вектор электрического **E** поля перпендикулярен вектору магнитного поля **H**
4. Поток энергии электромагнитного поля прямо пропорционален плотности энергии
5. Вектор скорости электромагнитной волны **V** перпендикулярен векторам **E** и **H**



6. Скорость распространения электромагнитной волны зависит от диэлектрической и магнитной проницаемости среды
7. Электрическое поле охватывает линии переменного магнитного поля. Линии переменного электрического поля перпендикулярны поверхности проводника (начинают и заканчиваются на поверхности)
8. Магнитное поле охватывает ток или линии переменного электрического поля. Линии магнитного поля параллельны поверхности проводника (либо распространяются по поверхности проводника, либо не касаются последнего)

Волноводы характеризуют типом волны, устанавливающейся в поперечном сечении:

1. В поперечном направлении действует вектор  $E$ ; вдоль волновода имеется составляющая магнитного поля. Такое поле обозначают ТЕ или Н (рис. 4.5, а).

2. В поперечном сечении располагаются только магнитные силовые линии; вдоль волновода есть составляющая

вектора  $E$ . Такое поле называют полем типа Е или ТМ (рис. 4.5, б). К этим обозначениям добавляют индексы, указывающие, сколько полуволн укладывается по каждой поперечной стороне волновода. Например

$H_{10}$  — означает, что по одной из поперечных сторон поле не меняется, а по другой стороне укладывается одна полуволна. Наиболее широкое распространение в радиотехнике получили прямоугольные волноводы с волной типа  $H_{10}$

**Фидерная линия** – двухпроводная линия, предназначенная для передачи энергии высоких частот.

**Длинными линиями** называются такие линии передачи электромагнитной энергии, геометрическая длина которых больше или соизмерима с длиной волны.

**Прямая (падающая) волна** – волна распространяющаяся от генератора к нагрузке.

**Волновое сопротивление** фидерной линии это сопротивление оказываемое распространению электромагнитной волны.

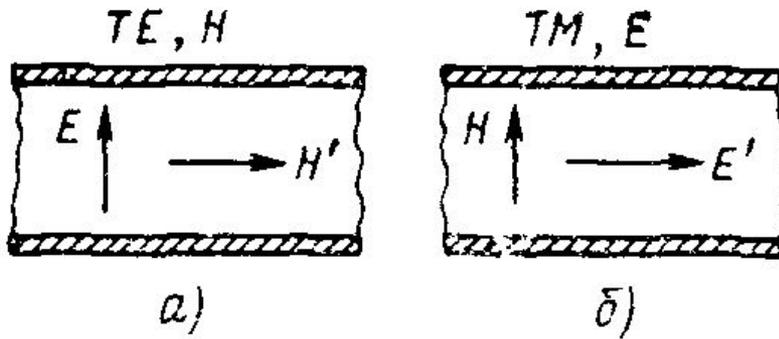


Рис. 4.5. Типы волн в волноводе.

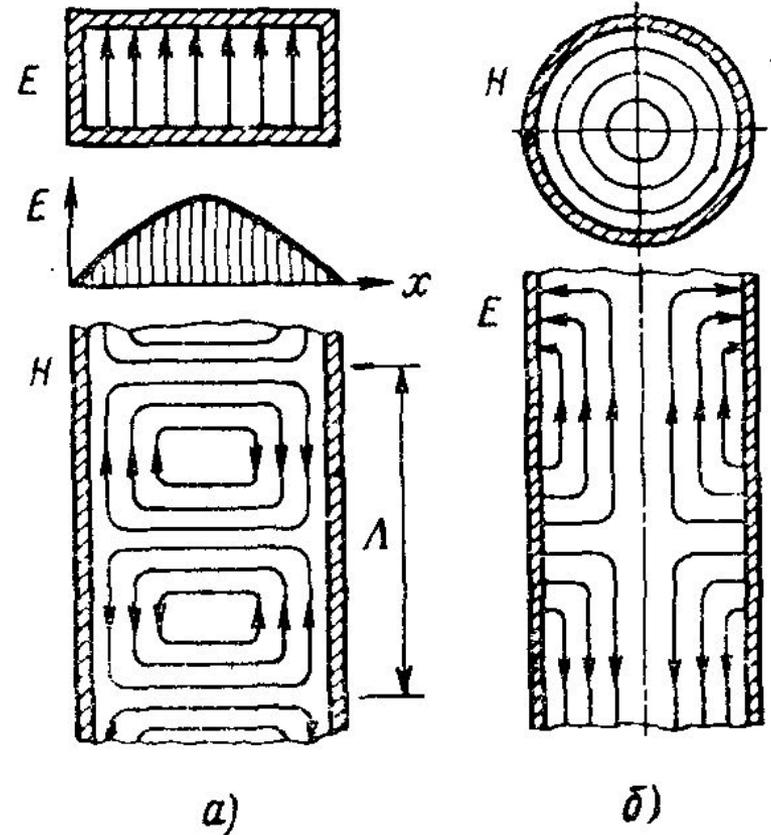


Рис. 4.6. Поле  $H_{10}$  в прямоугольном (а) и  $E_{01}$  в круглом (б) волноводах.

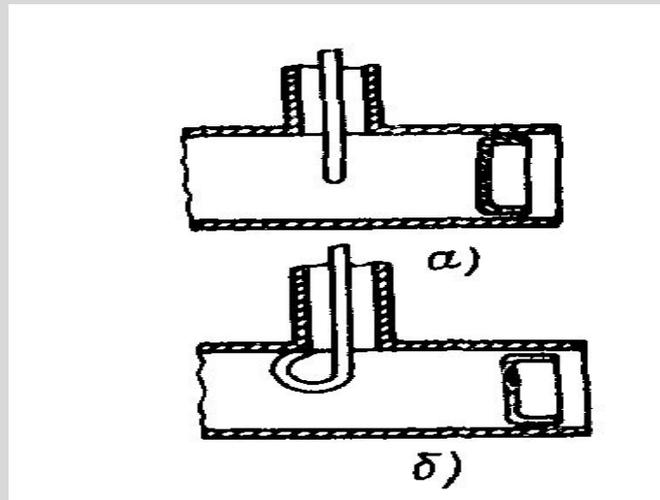


Рис. 4.10. Элементы связи: штырь (а) и петля (б).

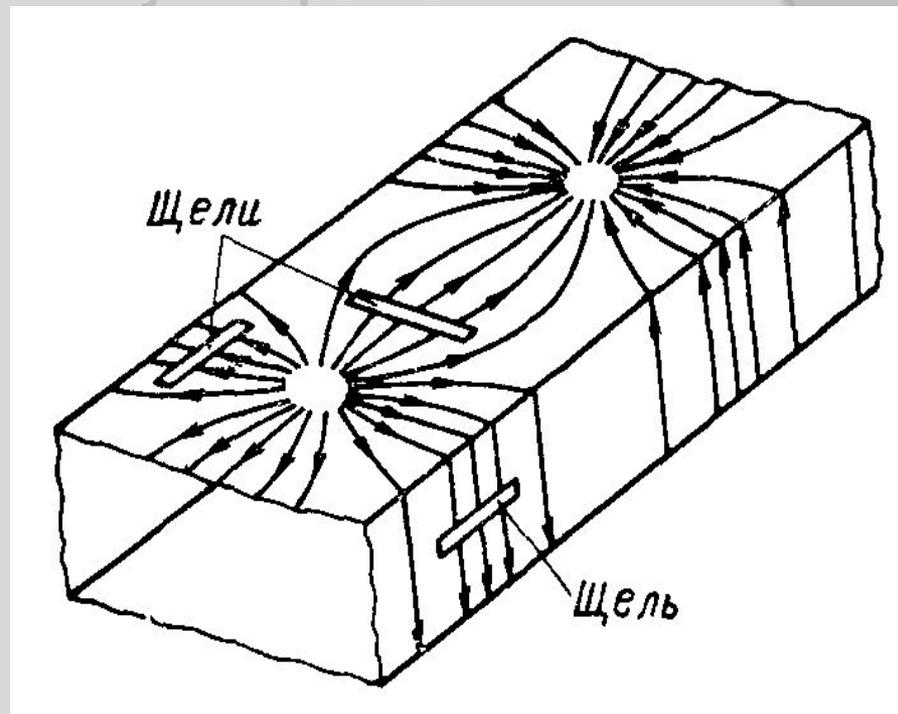


Рис. 4.11. Расположение излучающих щелей в волноводе.

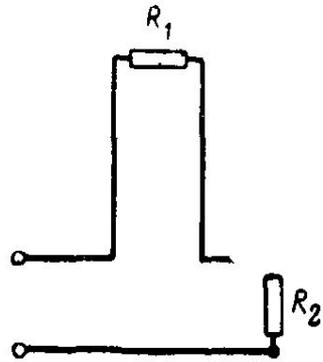
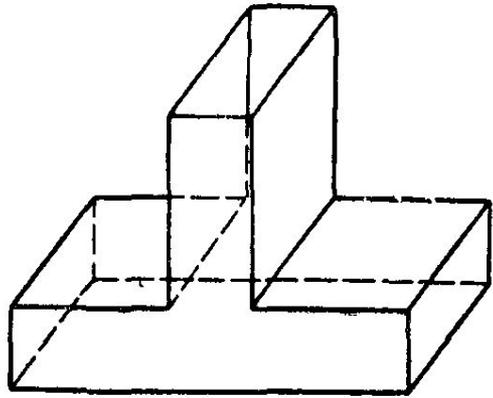


Рис. 4.12. Последовательное ответвление волновода.

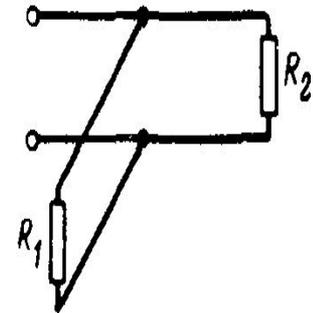
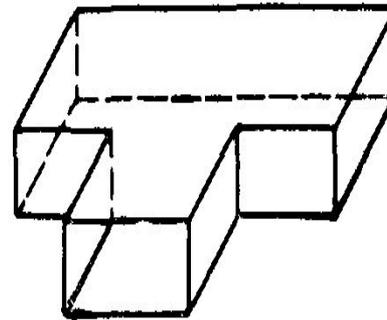


Рис. 4.13. Параллельное ответвление волновода.

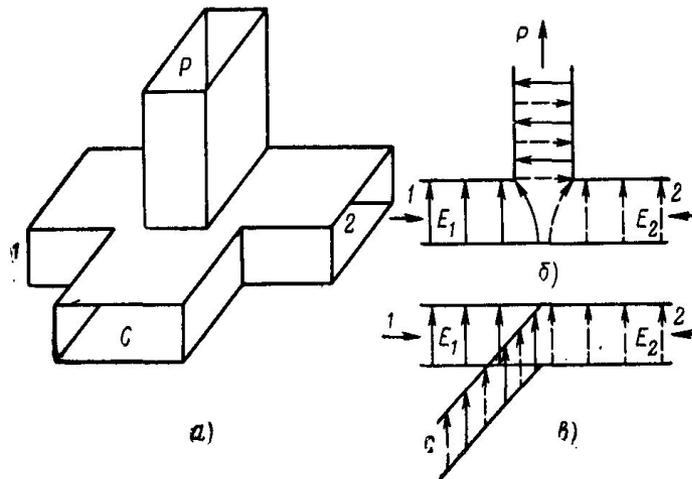


Рис. 4.14. Суммарно-разностный T-образный волноводный мост (а) и его эквивалентные двухпроводные схемы (б, в).

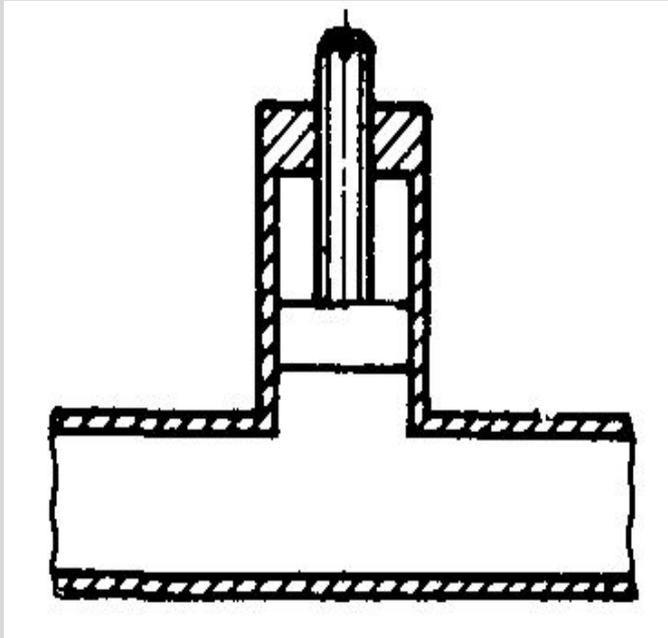


Рис. 4.17. Регулируемое реактивное сопротивление.

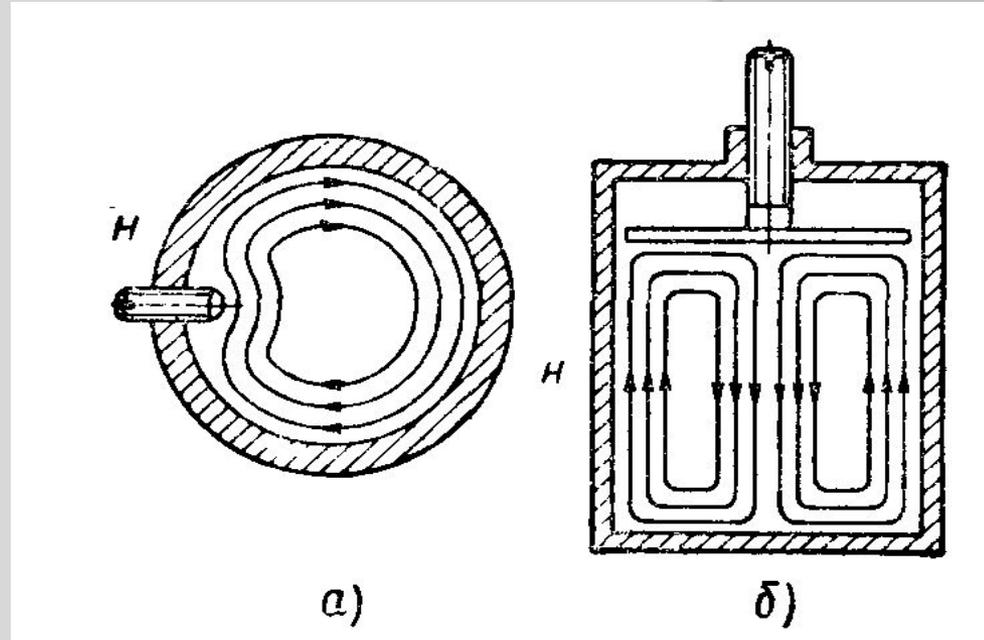


Рис. 4.18. Органы перестройки объемных резонаторов: винт (а), плунжер (б).

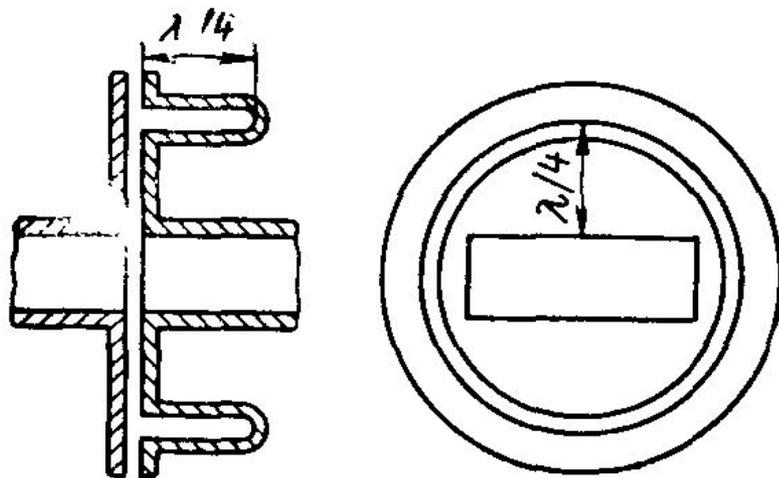


Рис. 4.21. Соединительный фланец волновода.

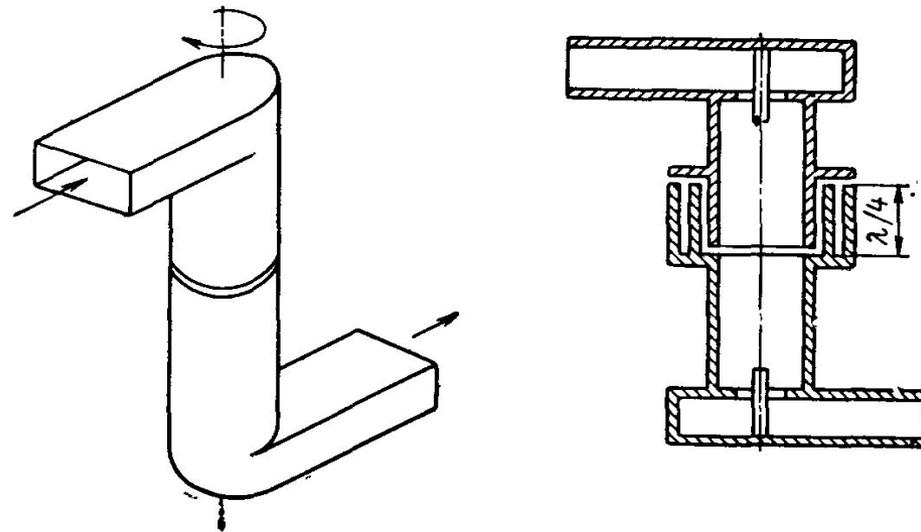


Рис. 4.22. Вращающееся сочленение.

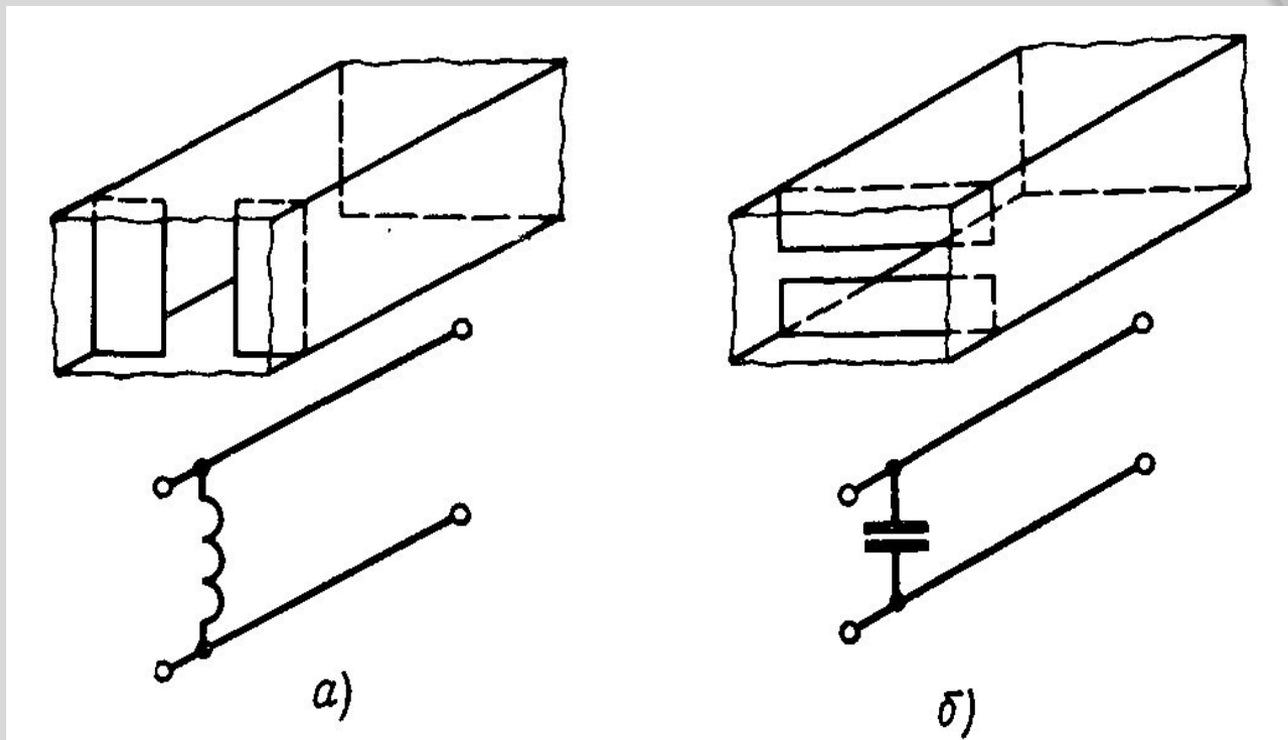


Рис. 4.16. Индуктивное (а) и емкостное (б) сопротивления в волноводе.

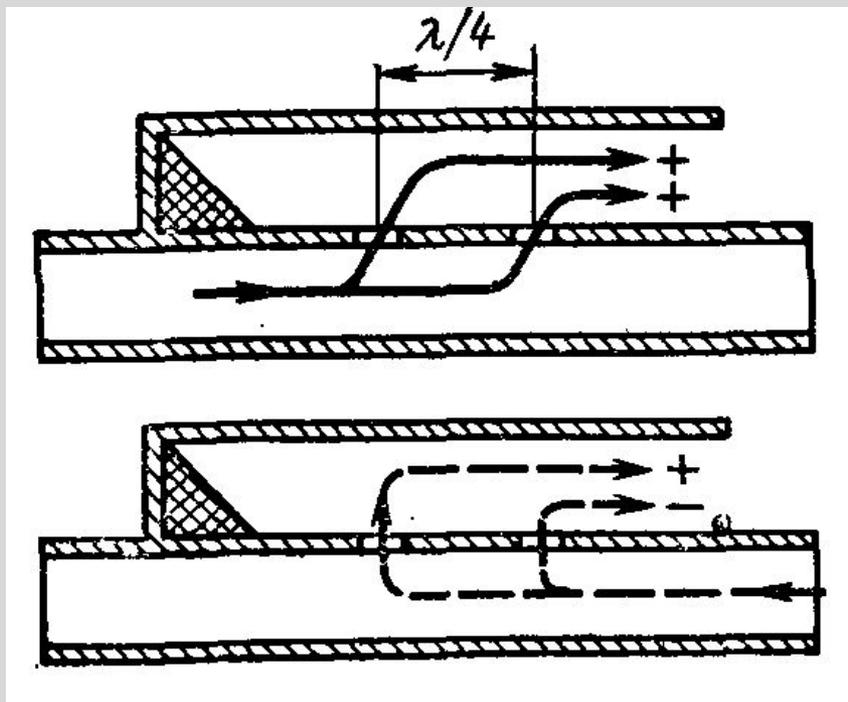


Рис. 4.23. Направленный ответвитель.

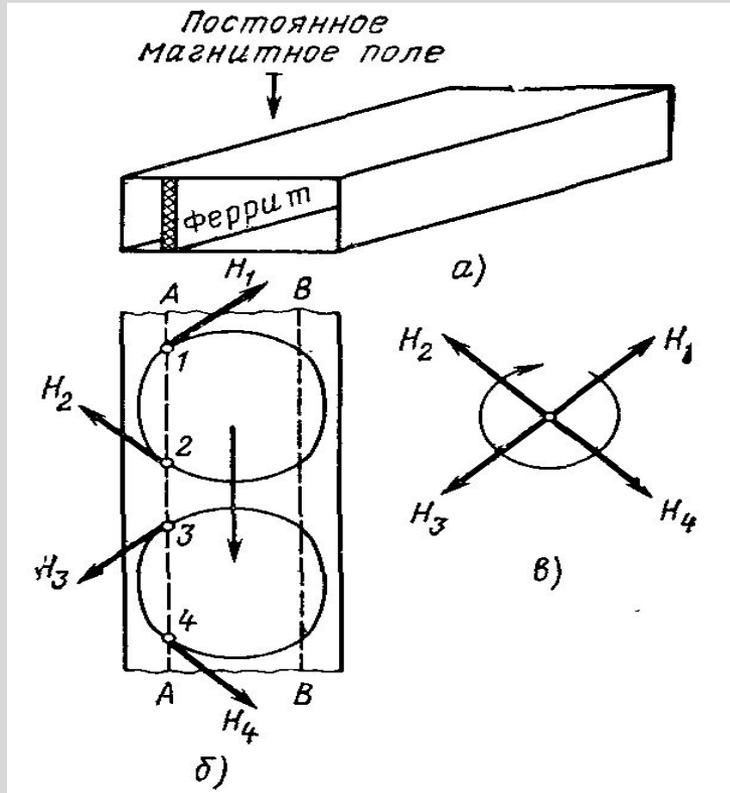


Рис. 4.24. Размещение феррита в волноводе (а). Направление вектора магнитного поля (б) и его последовательные положения (в).

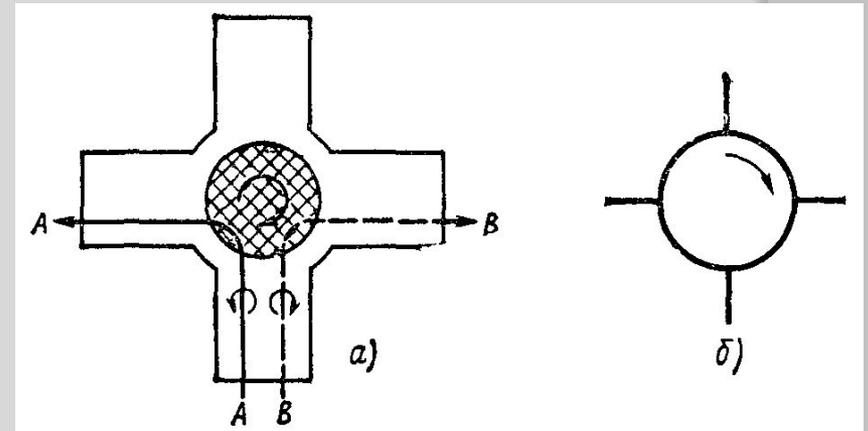


Рис. 4.25. Циркулятор (а) и его схематическое изображение (б).

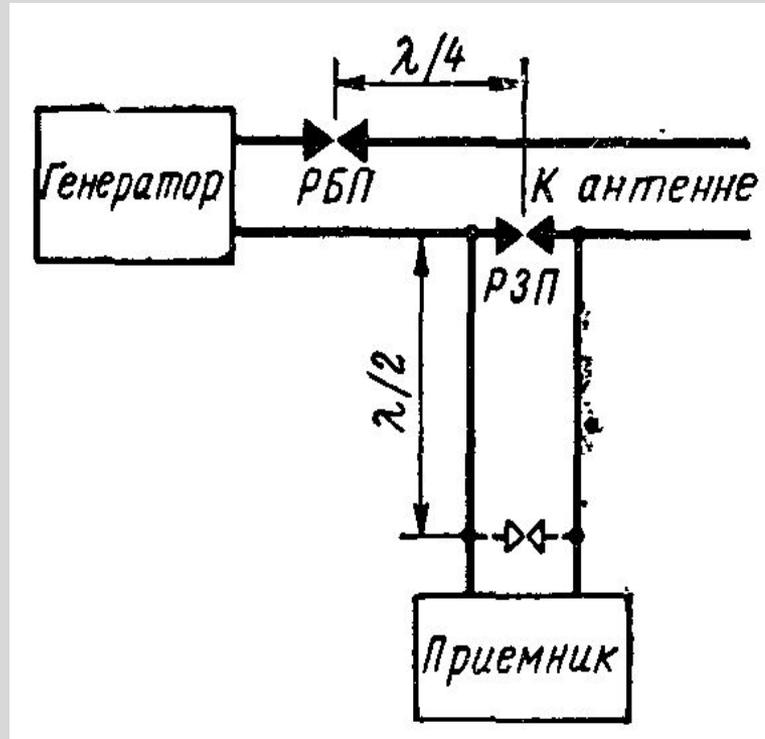


Рис. 4.27. Антенный переключатель.

**Антенна – устройство предназначенное для излучения и приема электромагнитной энергии, представляющее собой открытый колебательный контур выполненный так, чтобы как можно большая часть подводимой от РПУ энергии излучалась в пространство**

## **Антенные элементы РЛС**

- ⦿ Рупорные облучатели
- ⦿ Вибраторные антенны
- ⦿ Щелевые антенны
- ⦿ Зеркало антенны
- ⦿ Механизмы перемещения (вращения и качания) антенны

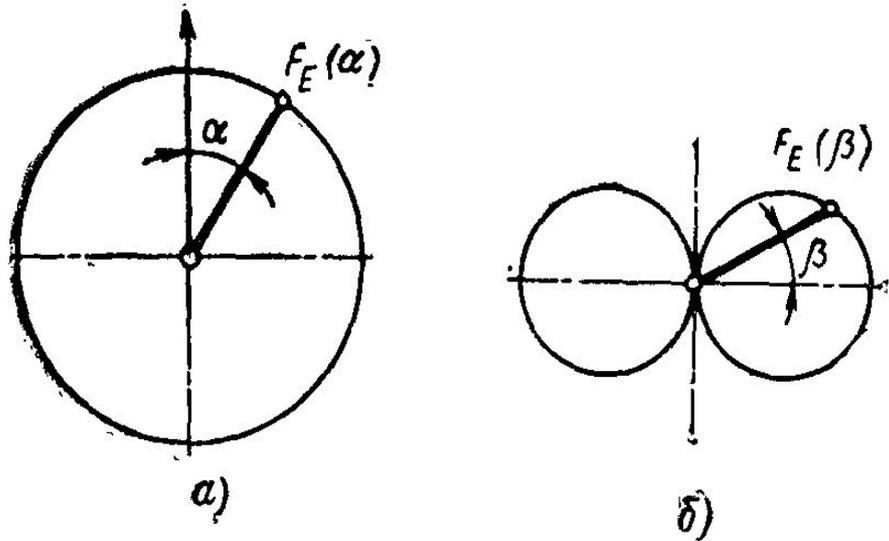


Рис. 2.4. Диаграмма направленности вибратора Герца в горизонтальной (а) плоскости (перпендикулярно вибратору) и в вертикальном направлении (б).

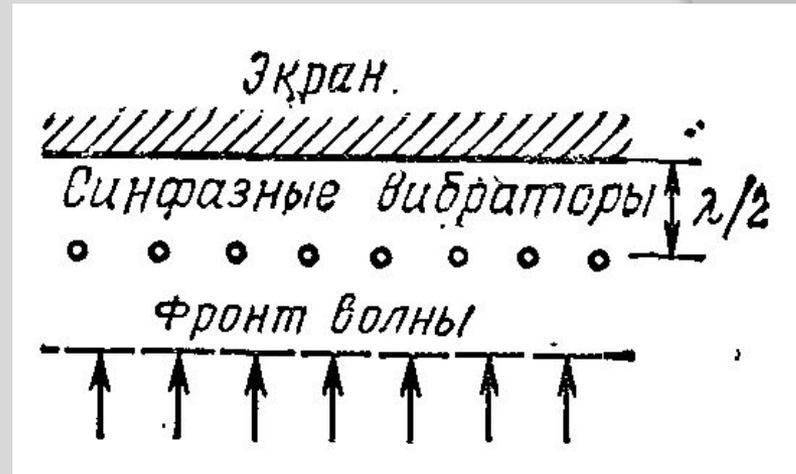


Рис. 4.29. Формирование фронта волны рядом синфазных вибраторов.

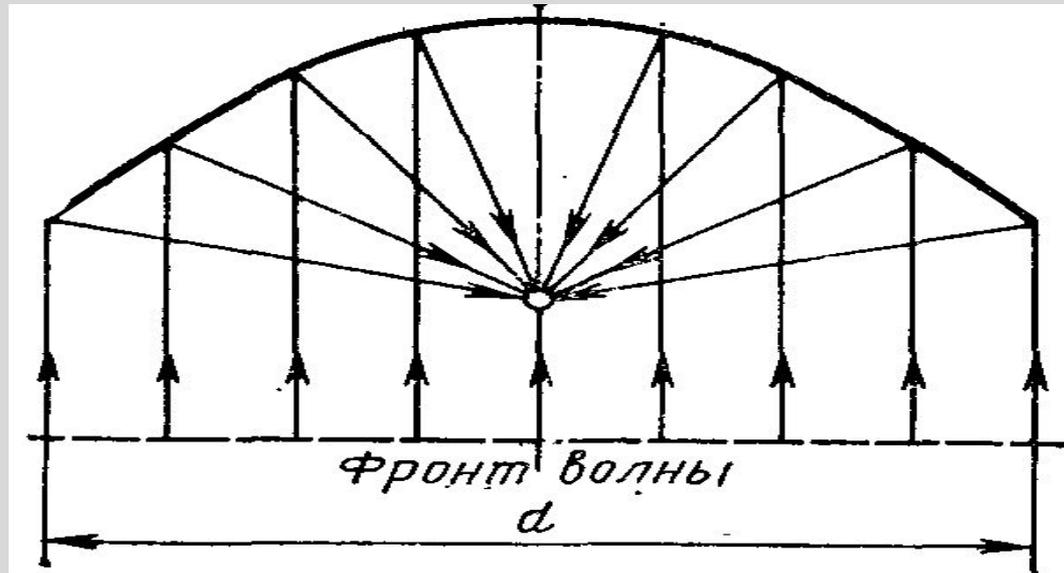


Рис. 4.30. Формирование плоского фронта волны параболическим отражателем.

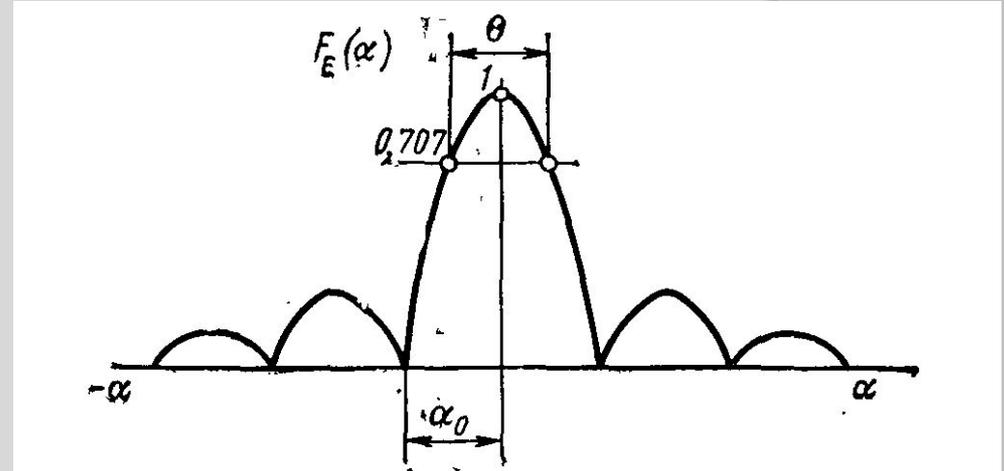
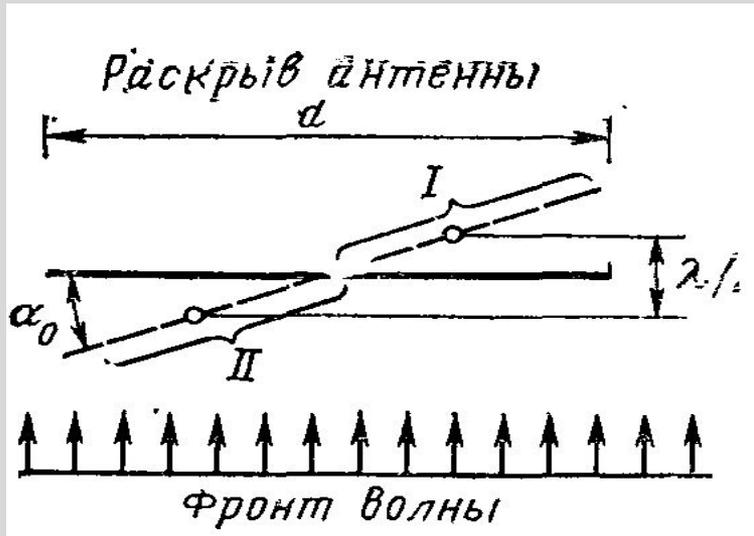


Рис. 4.31. Положение раскрытия антенны при максимальном и нулевом приеме.

Рис. 4.32. Диаграмма направленности антенны по напряженности поля.

$$\alpha_0 = \frac{\lambda/2}{d/2} = \frac{\lambda}{d} \text{ рад.} \quad (4.4)$$

$$\theta = \lambda/d. \quad (4.5)$$

$$\theta_{\Gamma} = \lambda/d_{\Gamma}, \quad (4.6)$$

$$\theta_{\text{В}} = \lambda/d_{\text{В}} \quad (4.7)$$

$$\Omega \approx \theta_{\Gamma} \theta_{\text{В}} = \lambda^2/d_{\Gamma} d_{\text{В}} = \lambda^2/S, \quad (4.8)$$

$$D(\alpha, \beta) = D \cdot F(\alpha, \beta), \quad (4.10)$$

.- Ширина луча в горизонтальной и вертикальной плоскостях

- телесный угол

- коэффициент направленного действия

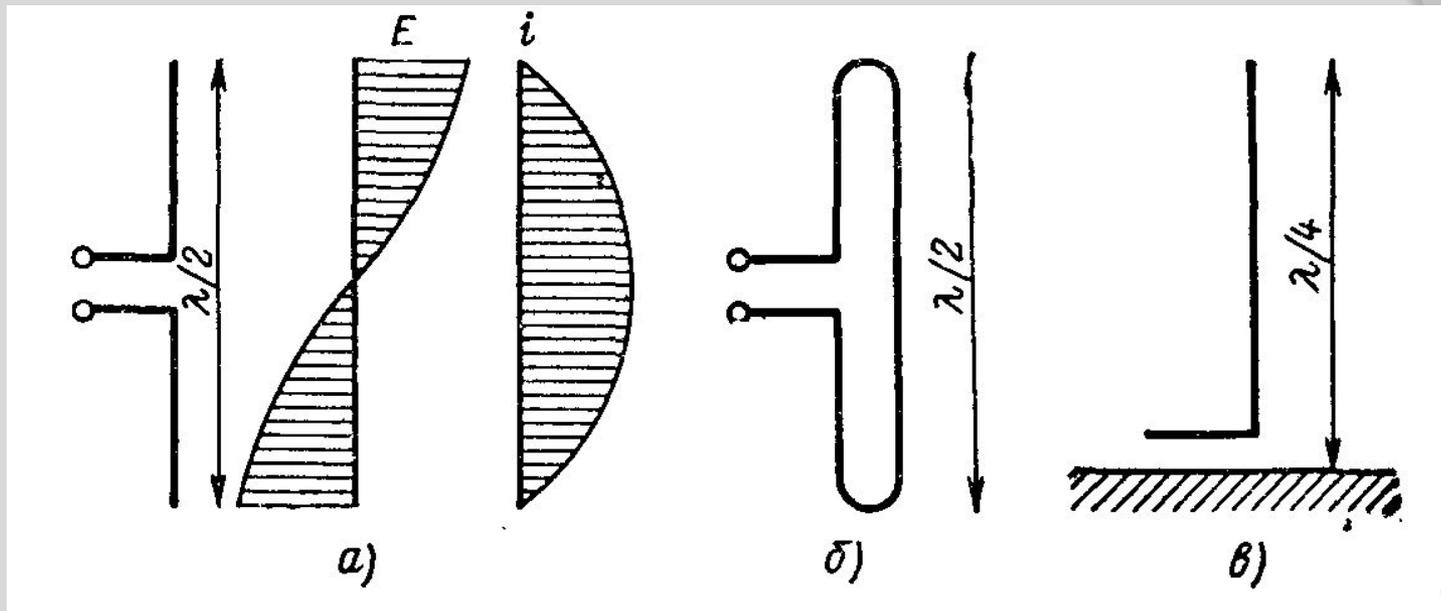


Рис. 4.34. Вибраторные антенны: полуволновой вибратор (а), петлевой вибратор (б), четвертьволновой вибратор (в).

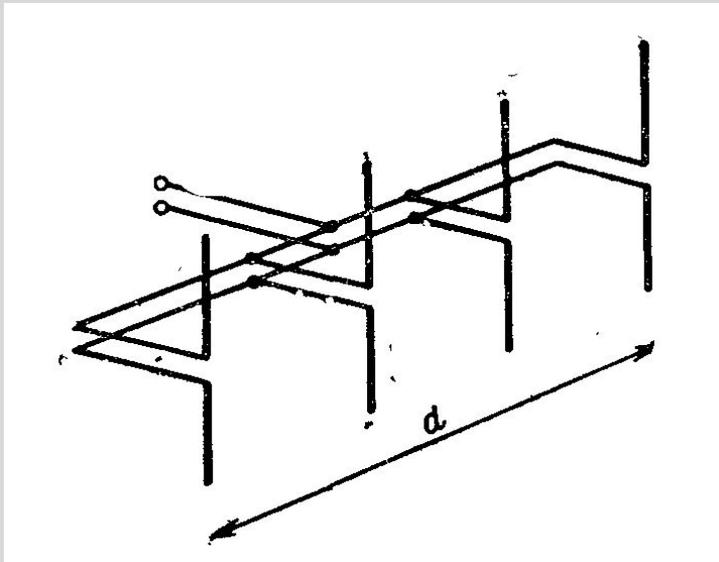


Рис. 4.35. Сиифазная антенна.

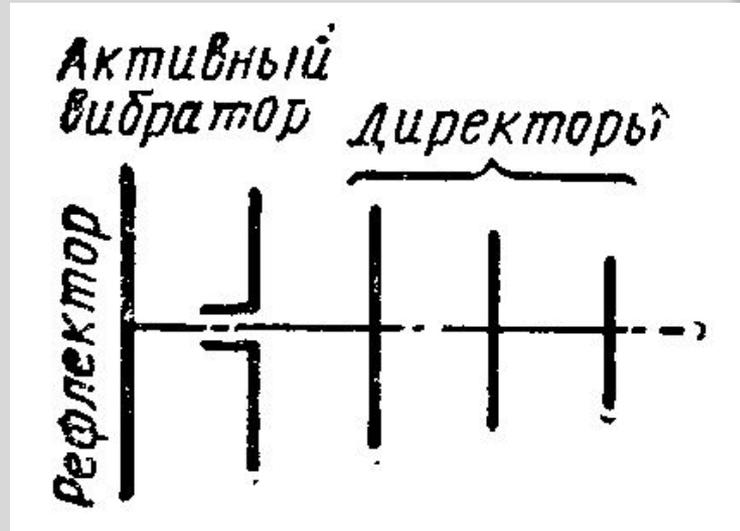
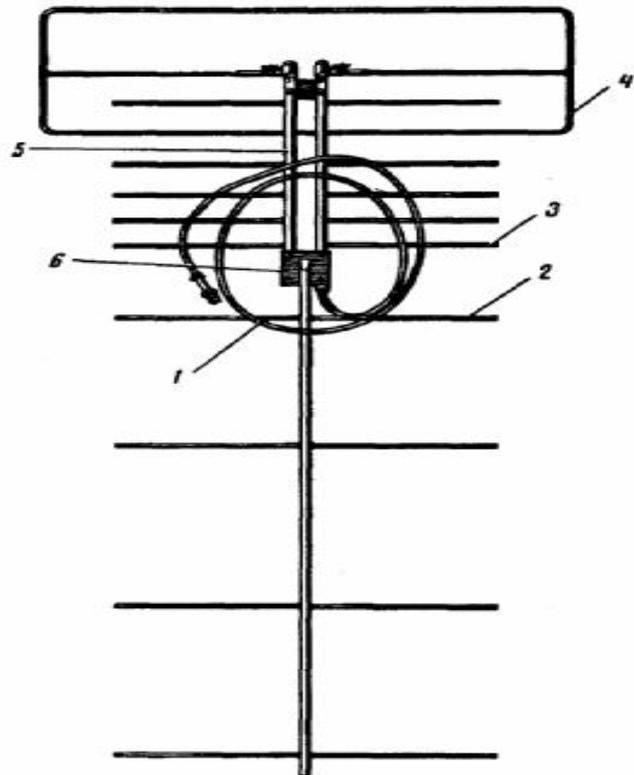


Рис. 4.36. Антенна — волновой канал.





- 1 – кабель питания активного излучателя;
- 2 – директоры волнового канала;
- 3 – вибраторы активного излучателя;
- 4 – рефлектор (условно повернут на  $90^\circ$ );
- 5 – двухпроводная линия активного излучателя;
- 6 – узел крепления к подкосу.

*Рис. Волновой канал антенны (стрела)*

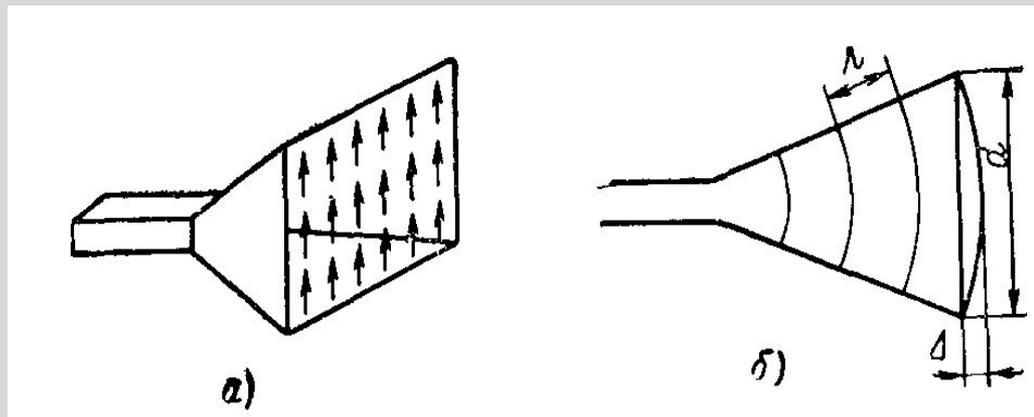


Рис. 4.38. Рупорная антенна: синфазный фронт волны в раскрыве (а), отклонение фронта волны от плоскости раскрыва (б).

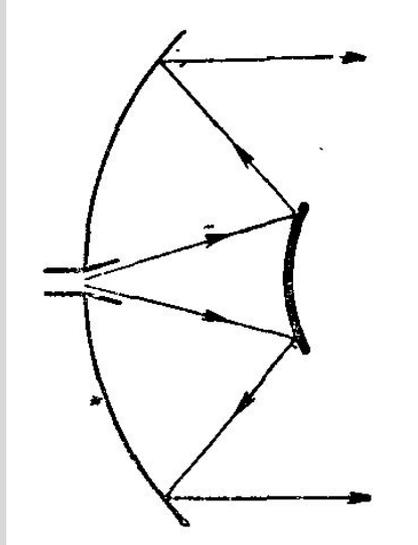


Рис. 4.39. Параболическая антенна с контррефлектором.

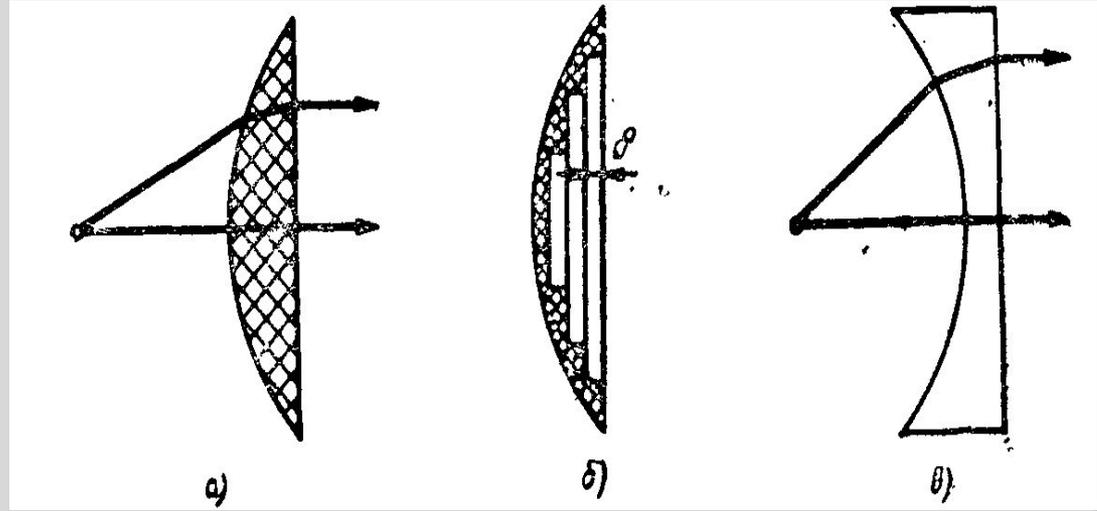


Рис. 4.40. Линзовые антенны: диэлектрическая (а), диэлектрическая зонированная (б), металлическая (в).

Антенны дальномера и высотомера представляют собой плоские антенные решетки полуволновых вибраторов, параллельные отражателю (рис.5.6).

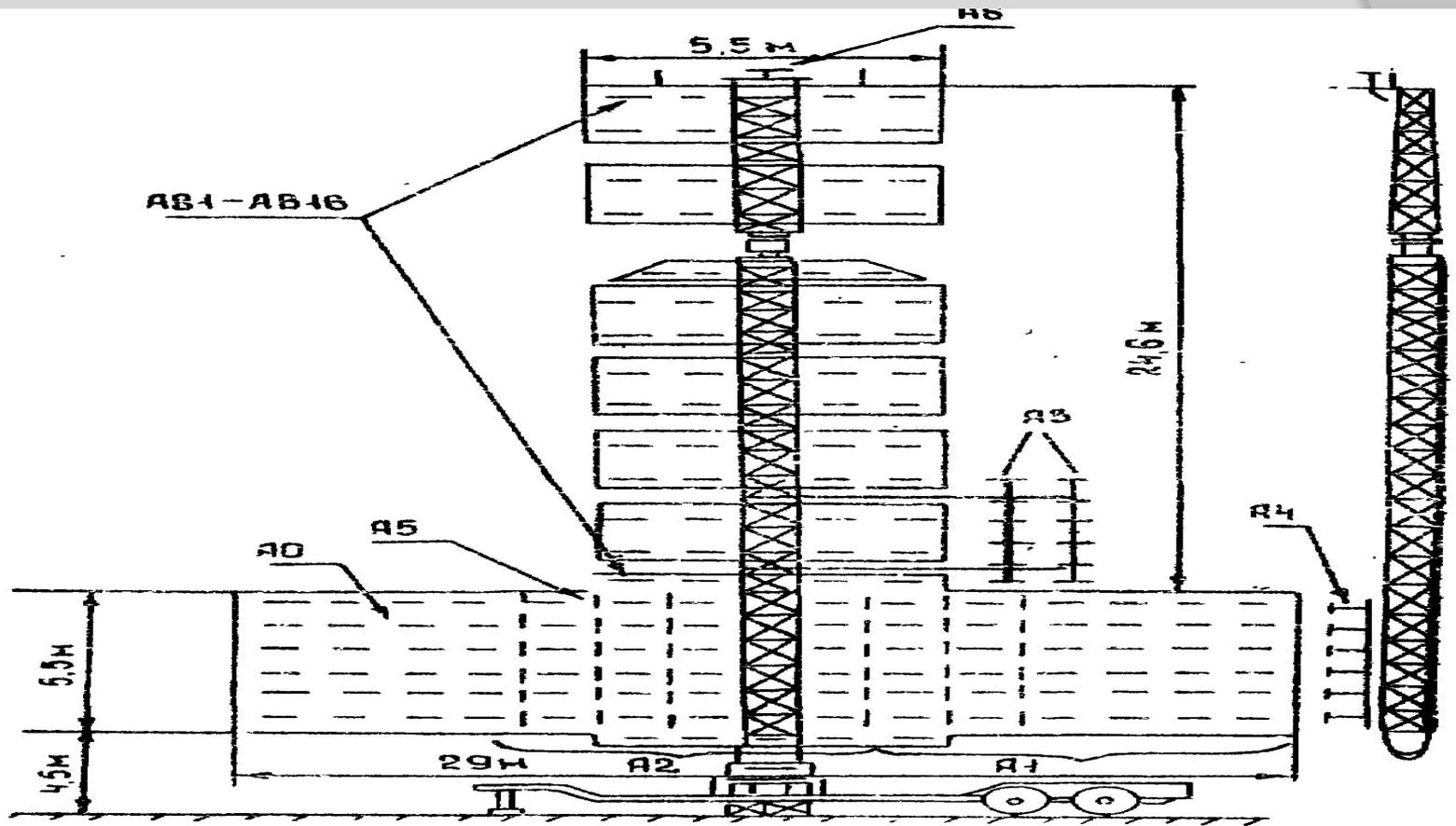
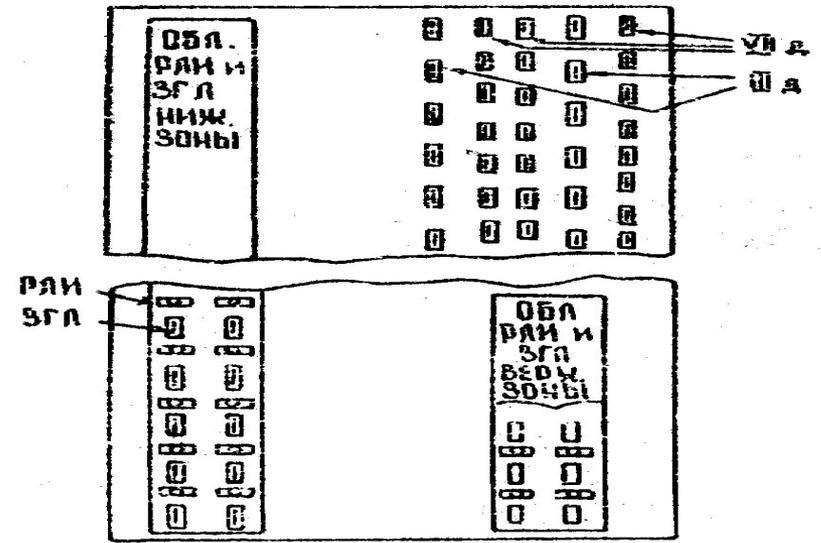
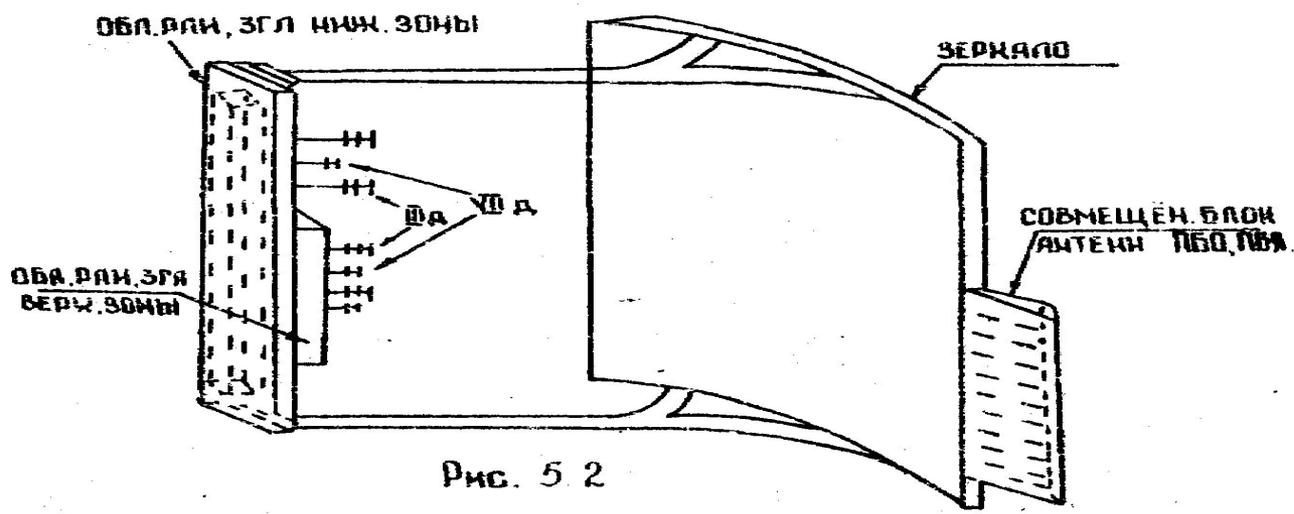


Рис. 5.6



# Задание на самоподготовку

## Литература

Справочник по основам радиолокационной техники  
Антенны. Шифрин.

## Учебные вопросы

Элементы ВЧ тракта РЛС выполненные на  
коаксиальных линиях

Мостовые схемы ВЧ тракта

Современные тенденции в конструировании ВЧ тракта  
и антенных систем.

Особенности приема и передачи электромагнитной  
энергии в цифровых антенных решётках