



Кафедра радиосвязи

Лекция 7.

ТИПЫ АНТЕНН ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ВОЛН



Кафедра радиосвязи

АНТЕННЫ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ

1. Особенности распространения поверхностных волн и требования к антеннам.
2. Вертикальные и наклонные несимметричные вибраторы и их электрические характеристики.
3. Несимметричные антенны с верхней нагрузкой.



1. Особенности распространения поверхностных волн и требования к антеннам

При установке антенн на малой высоте относительно длины волны основное электромагнитное поле антенны формируется в виде поверхностной волны, которую еще называют земной (Земля).

Поверхность Земли выполняет роль естественной направляющей системы.

Условия формирования поверхностной (земной) волны

1. $h_{1,2} < \lambda$ или $h_1 \approx h_2 \approx 0$.

2. Вертикальная поляризация поля излучения.



Особенности земной волны

№3

Структура поля поверхностной (земной) волны зависит от электрических параметров верхних слоев поверхности Земли.

Над земной поверхностью существует **вертикальная составляющая** и **продольная (горизонтальная)** составляющая суммарного вертикально поляризованного поля.

Напряженность поля и, соответственно дальность радиосвязи зависят от электрических параметров земной поверхности, частоты сигнала, уровня радиопомех в точках приема и слабо зависят от технических параметров средств радиосвязи.

Для радиосвязи **земными волнами** могут использоваться **метровые, короткие (декаметровые) и более длинные волны.**

С увеличением длины волны (понижение частоты) реальные протяженности радиолиний возрастают.



Требования, предъявляемые к антеннам

№4

Для радиосвязи земными волнами применяют антенны только вертикальной поляризации .

Требования к форме ДН антенн в горизонтальной плоскости зависят от условий использования радиостанции.

Антенны с вертикальной поляризацией поля должны иметь максимум излучения (и приема), направленные **вдоль поверхности земли.**

Излучения под большими углами к горизонту нежелательно, так как приводят к **нерациональной** затрате мощности излучения.

В диапазонах средних и коротких волн ДН в вертикальной плоскости должны иметь максимум под небольшими углами к горизонту

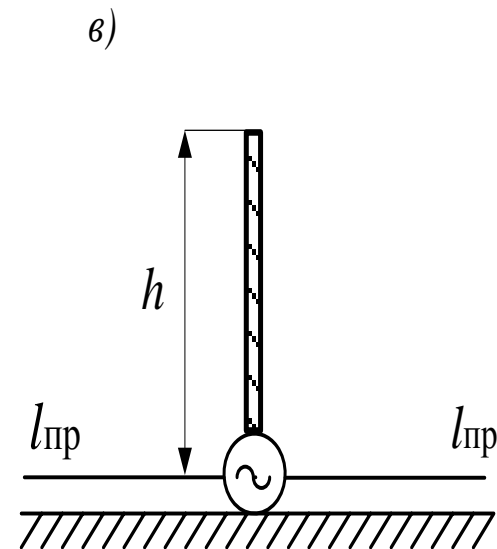
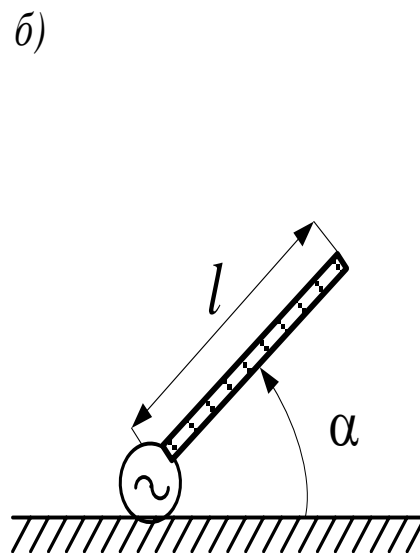
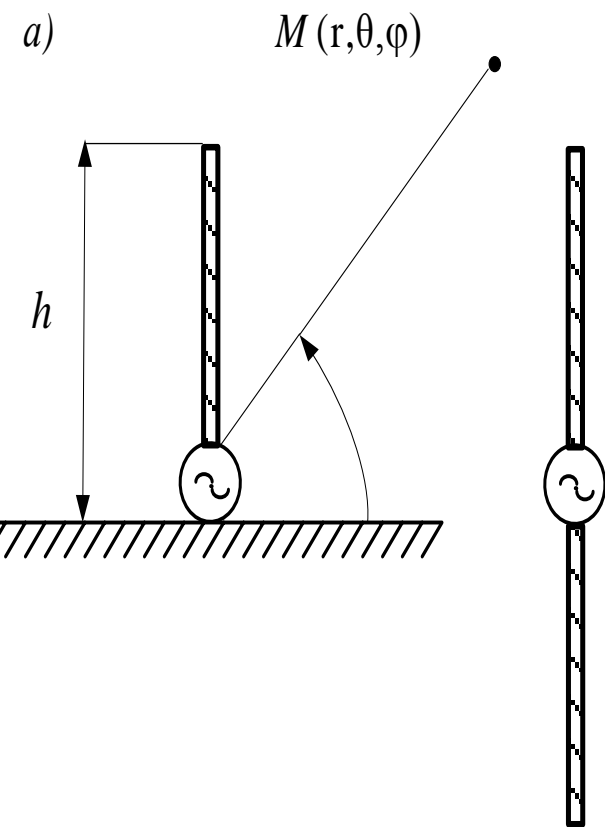
$\theta_m \rightarrow 0$ и минимум в зенит , $\theta_m = 90^\circ$



2. Вертикальные и наклонные несимметричные вибраторы и их электрические характеристики

Несимметричный и наклонный вибраторы с учетом зеркального изображения аналогичны симметричным, расположенным в свободном пространстве.

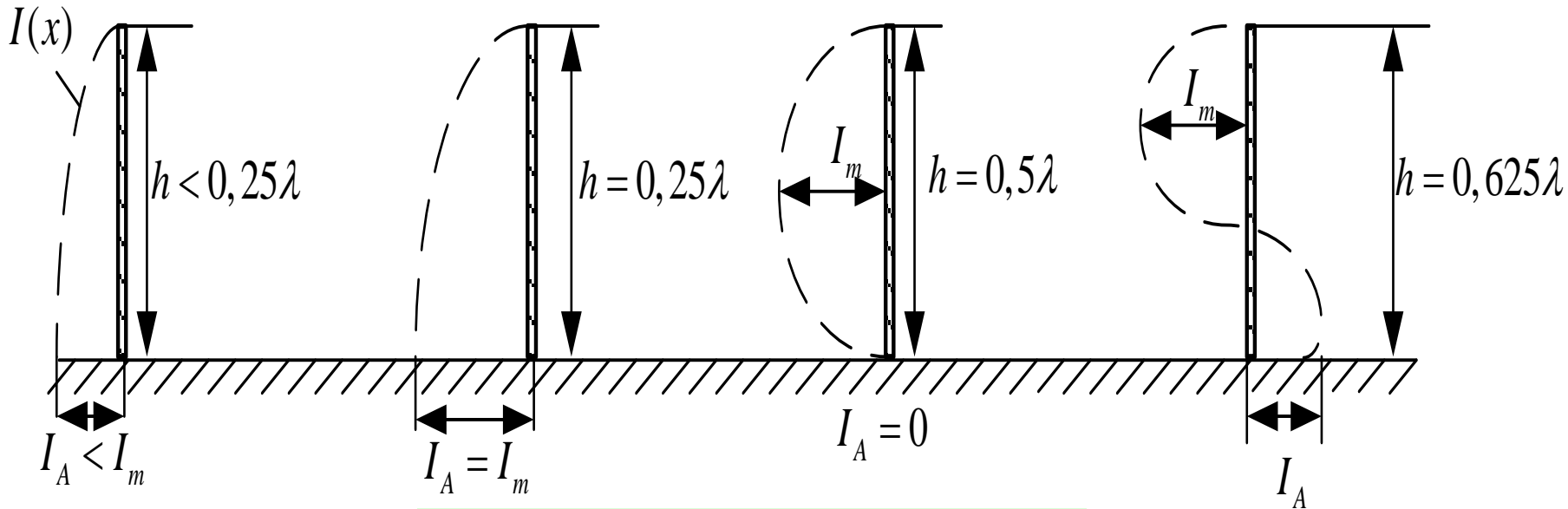
Функции **второго плеча** несимметричного вибратора выполняет его зеркальное изображение.





Распределение тока вдоль вибратора

№6



$$I(x) = I_m \sin k(h - x)$$

Режимы работы несимметричного вибратора аналогичны как и симметричного вибратора: режим удлинения, собственная длина волны, режим укорочения.

Собственная длина волны:

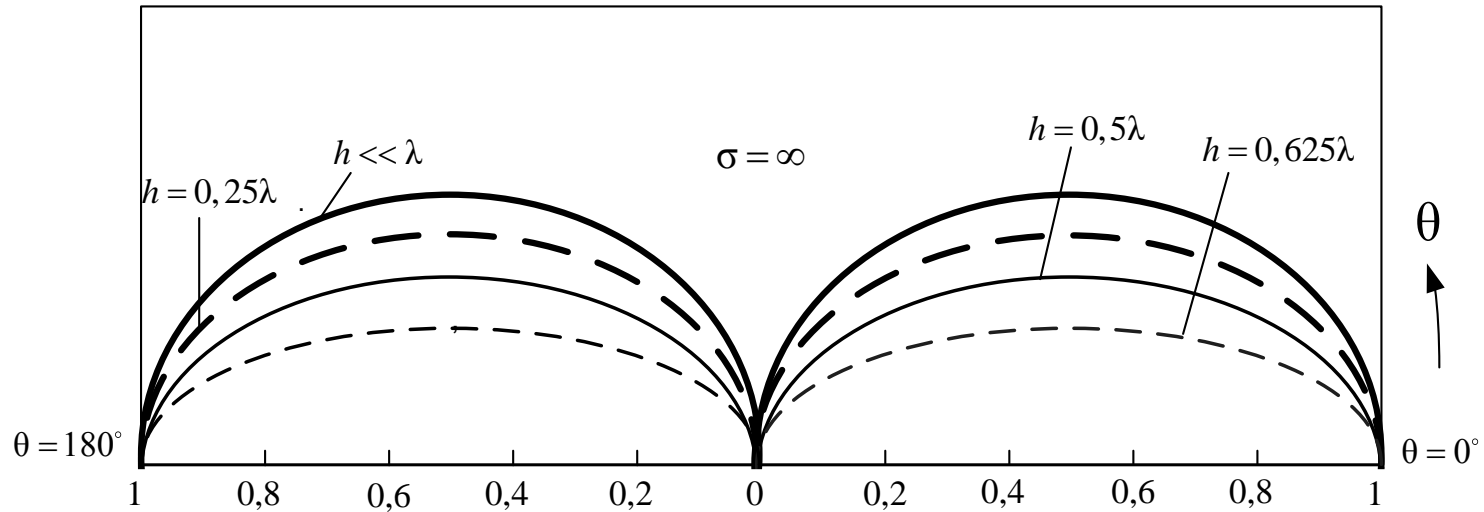
$$\lambda_0 = 4h.$$



Диаграммы направленности антенны штырь (АШ)

№7

$$E_{\theta} = i60I_m \frac{e^{-ikr}}{r} \frac{\cos(kh \sin \theta) - \cos(kh)}{\cos \theta}$$



$$f_E(\theta) = \frac{\cos(kh \sin \theta) - \cos(kh)}{\cos \theta}, \quad f_H(\varphi) = 1.$$



Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления

КНД вертикального несимметрично вибратора высотой h в два раза больше, чем **КНД** эквивалентного симметричного вибратора длиной $2h$.

В несимметричном заземленном вибраторе мощность излучения распределена только в верхнем полупространстве, поэтому плотность потока мощности у него будет в 2 раза больше, чем у симметричного вибратора в свободном пространстве.

В режиме удлинения $D = 3$. Четвертьволновый вибратор имеет $D = 3,28$. Максимальный КНД будет при $0,625 \lambda$ и равен 6,2 раза относительно изотропного излучателя.

Коэффициент усиления несимметричного заземленного вибратора очень сильно зависит от потерь в земле, изоляторах, элементах настройки вибратора и окружающей среды.

$$G = D\eta_A \leq 1.$$



Входное сопротивление и действующая высота несимметричного вибратора

№9

$$Z_A^{\text{НВ}} = R_{\Sigma} + R_{\text{ПОТ}} + iX_A = R_A + iX_A, \quad R_{\Sigma}^{\text{НВ}} = 0,5R_{\Sigma}^{\text{СВ}}.$$

Если $h < 0,25\lambda$ $Z_A = 1600(h_{\text{д}} / \lambda)^2 + R_{\text{ПОТ}} - i\rho_{\text{НВ}} \text{ctg}(kh)$.

$$\rho^{\text{НВ}} \approx 60 \left[\ln \left(\frac{h}{a} \right) - 1 \right].$$

В режиме четвертьволнового вибратора $R_A \approx 36$ Ом, а $X_A \approx 0$.

Действующая высота

$$h_{\text{д}}^{\text{НВ}} = 0,5l_{\text{д}}^{\text{СВ}} \quad h_{\text{д}}^{\text{НВ}} = \frac{1}{k} \text{tg} \left(\frac{kh}{2} \right),$$

$$h_{\text{д}}^{\text{НЛ}} = \sin \alpha \frac{1}{k} \text{tg} \left(\frac{kl}{2} \right).$$



3. Несимметричные антенны с верхней нагрузкой

№10

В случаях, когда повышение эффективности несимметричных вибраторов за счет увеличения их высоты невозможно или нецелесообразно, применяют несимметричные антенны с верхней емкостной нагрузкой.

Подобные антенны состоят из **вертикальной** (снижения) и **горизонтальной или наклонной** (крыши) частей. Верхняя часть (крыша) играет роль емкостной нагрузки. Крышу антенны выполняют в виде одиночных или системы проводов, соединенных со снижением в верхней точке вертикальной части.

Применяя несимметричные антенны с верхней нагрузкой, позволяет улучшить распределение тока на вертикальной части и тем самым, повысить действующую высоту и **собственную длину волны**.

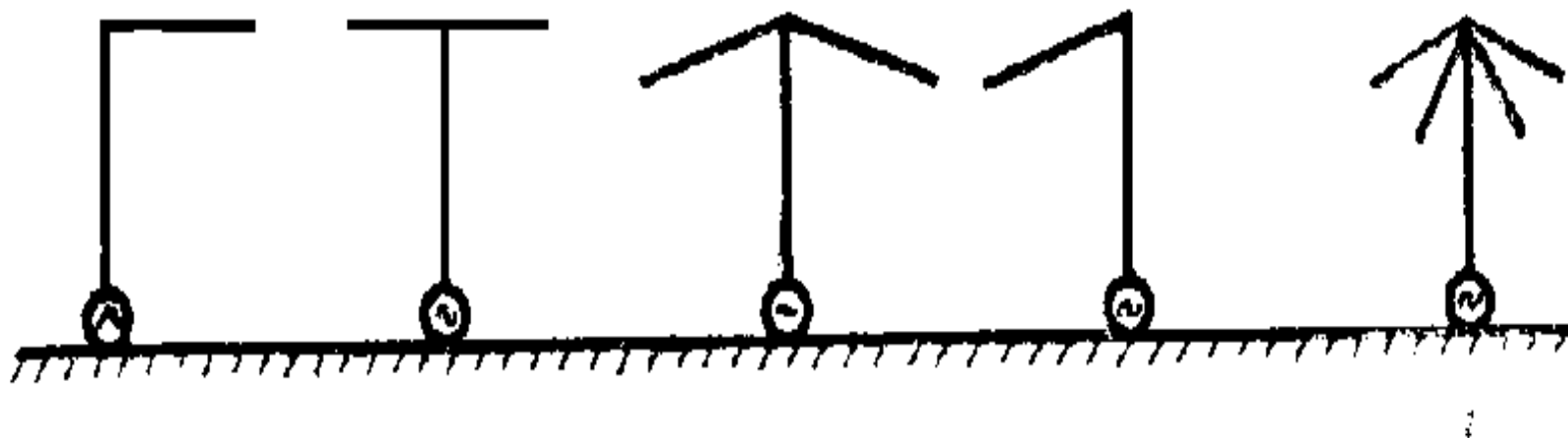
Для T-образной антенны:

$$\lambda_0 \approx 4...5(h + \ell).$$



Схемы построения антенн с верхней нагрузкой

№11

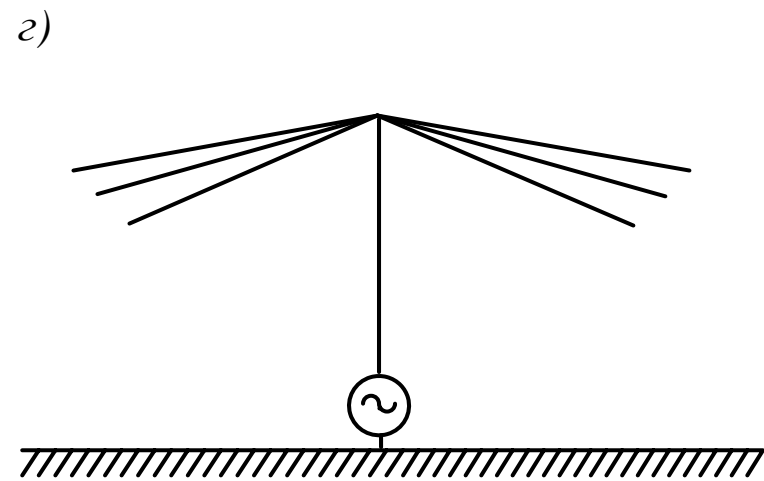
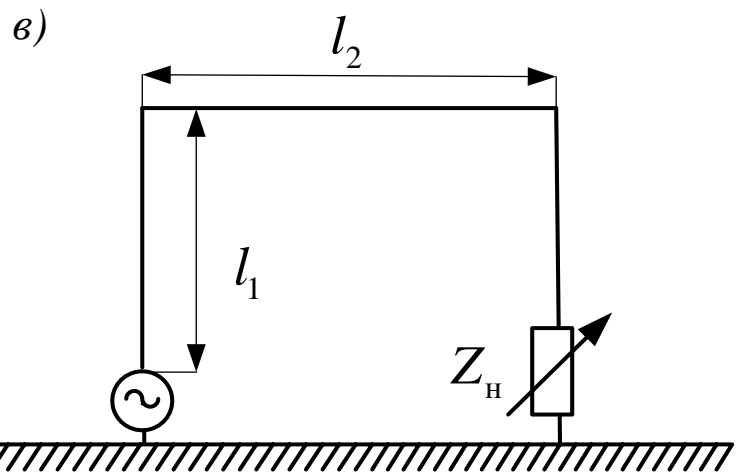
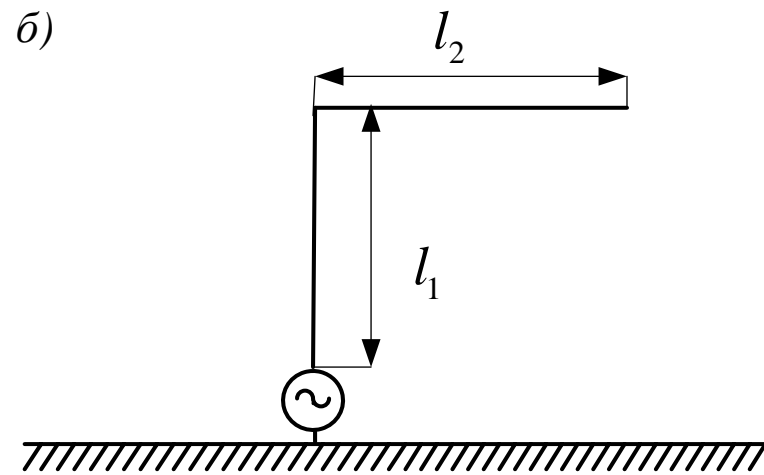
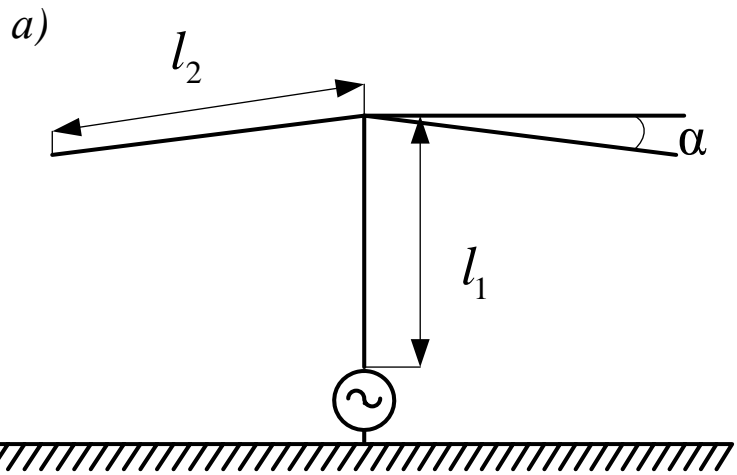


Антенны с верхней нагрузкой



Типы антенн с верхней нагрузкой

№12

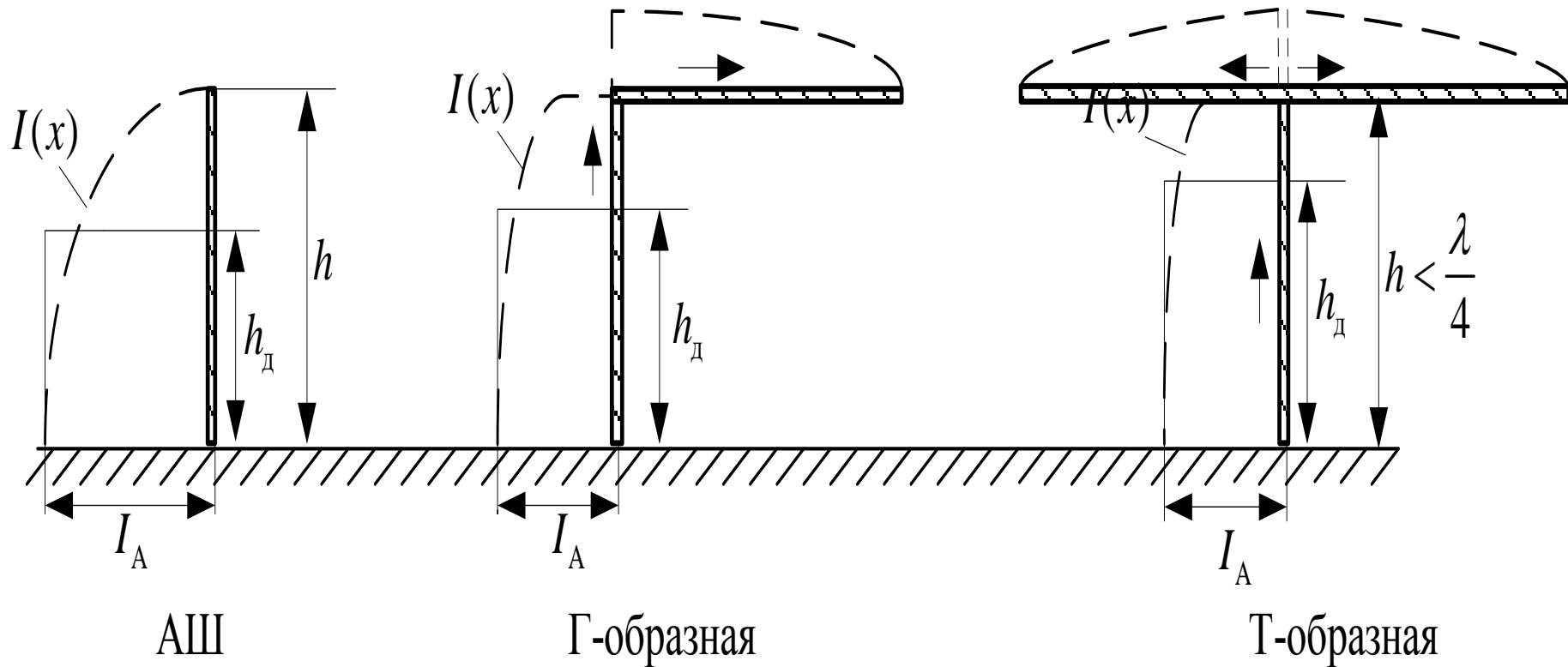




Действующие высоты несимметричных антенн

№13

$$h_{\text{д}}^{\text{АШ}} < h_{\text{д}}^{\Gamma} < h_{\text{д}}^{\text{T}}$$

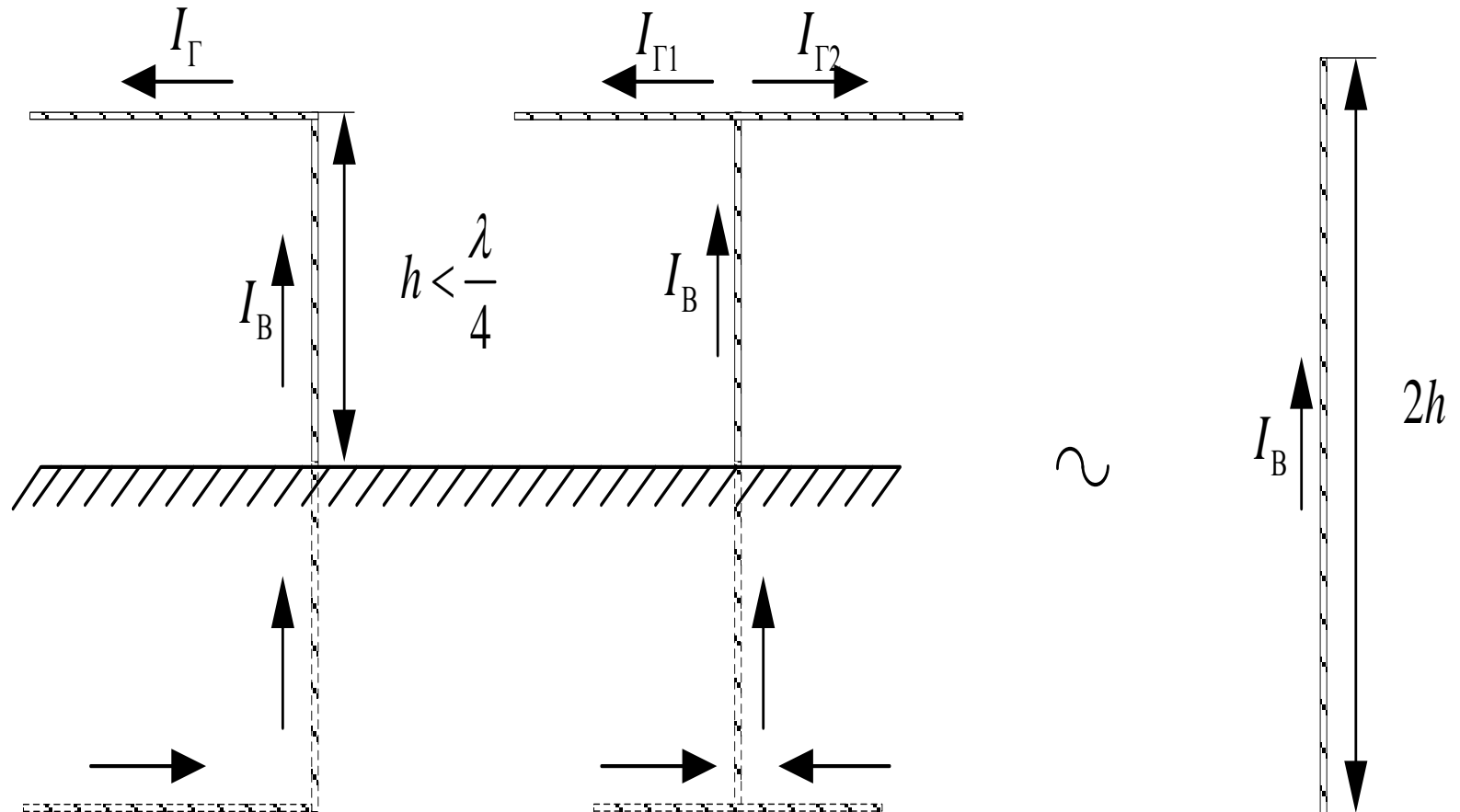


Верхняя нагрузка выравнивает распределение тока на вертикальной части антенны.



Влияние поверхности земли

№14

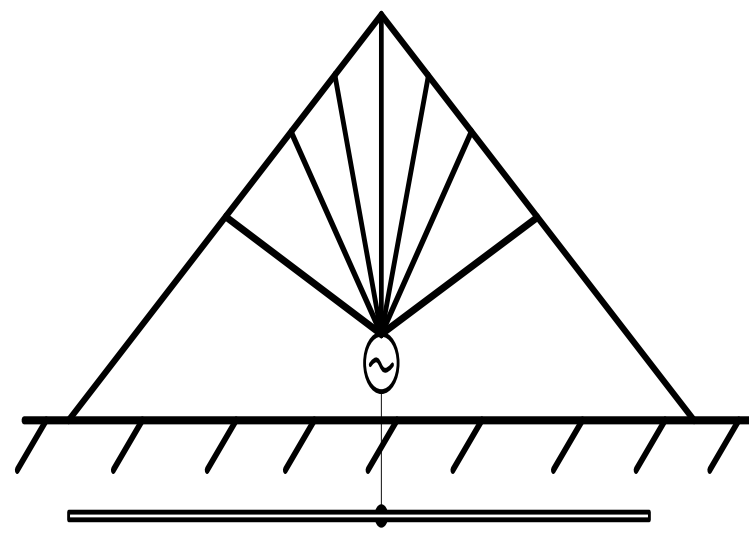
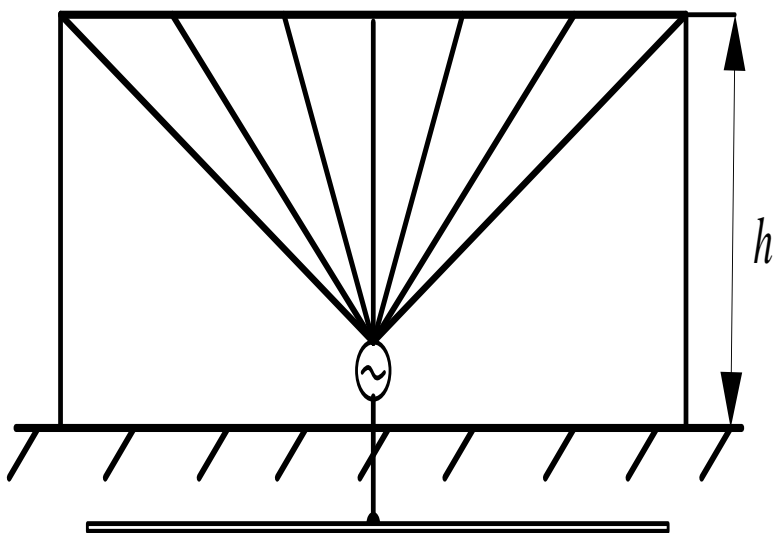
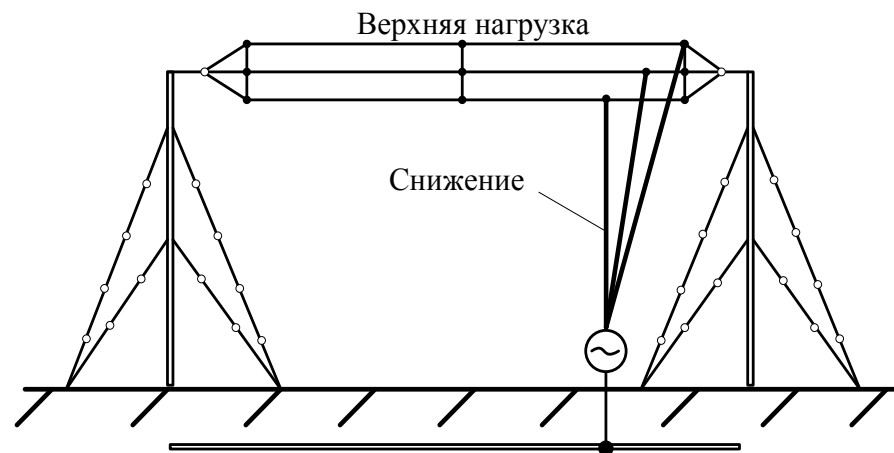
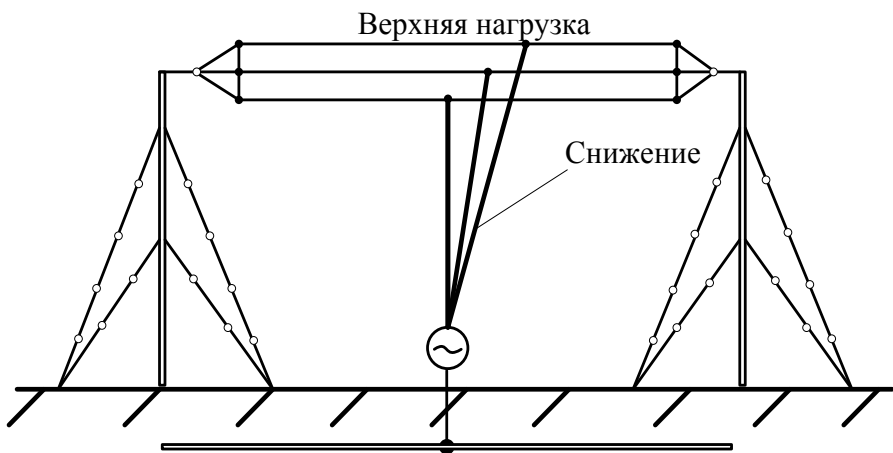


Токи на горизонтальных проводах противофазные, а на вертикальных – синфазные.



АНТЕННЫ СВ, ДВ

№15





ВЫВОДЫ ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ

№16

На практике наряду с **симметричными** применяются также **несимметричные антенны** и, в частности **вибраторы**.

Несимметричным называется **вибратор**, у которого одно плечо по размерам или форме отличается от другого.

Несимметричные вибраторы могут быть вертикальными или наклонными относительно поверхности земли или корпуса радиостанции.

Несимметричные вибраторы наиболее широко применяются в диапазоне коротких и более длинных волн. В диапазоне коротких и метровых волн несимметричные вибраторы являются основными антеннами в подвижной радиосвязи.

Когда повышение эффективности **несимметричных вибраторов** за счет увеличения их высоты невозможно или нецелесообразно, применяют несимметричные антенны с **верхней емкостной нагрузкой**.



Кафедра радиосвязи

СЛАБОНАПРАВЛЕННЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ ИОНОСФЕРНЫМИ ВОЛНАМИ

1. Особенности коротковолновой радиосвязи и требования к антеннам.
2. Горизонтальный и наклонный симметричные вибраторы.
3. Диапазонные симметричные вибраторы и их применение.



1. Особенности коротковолновой радиосвязи и требования к антеннам

№2

К диапазону коротких волн (**КВ**) относят радиоволны длин 10...100 м (3...30 МГц). Реально радиосвязь можно осуществлять как поверхностными (земными), так и пространственными (ионосферными) волнами в диапазоне **1,5...35 МГц**, иногда и более.

Радиосвязь земными волнами ограничена по дальности до **60...100 км** и по частоте ниже **5...7 МГц**. Основная радиосвязь возможна только **ионосферными волнами**.

Дальности связи ионосферными волнами главным образом определяется выбором рабочих частот в соответствии с ионосферными условиями.

Диапазон рабочих частот пригодных для радиосвязи ионосферными волнами ограничен снизу минимальными частотами (НПЧ), а сверху – максимальными частотами (МПЧ).



Долгосрочный прогноз частот для КВ радиосвязи

№3



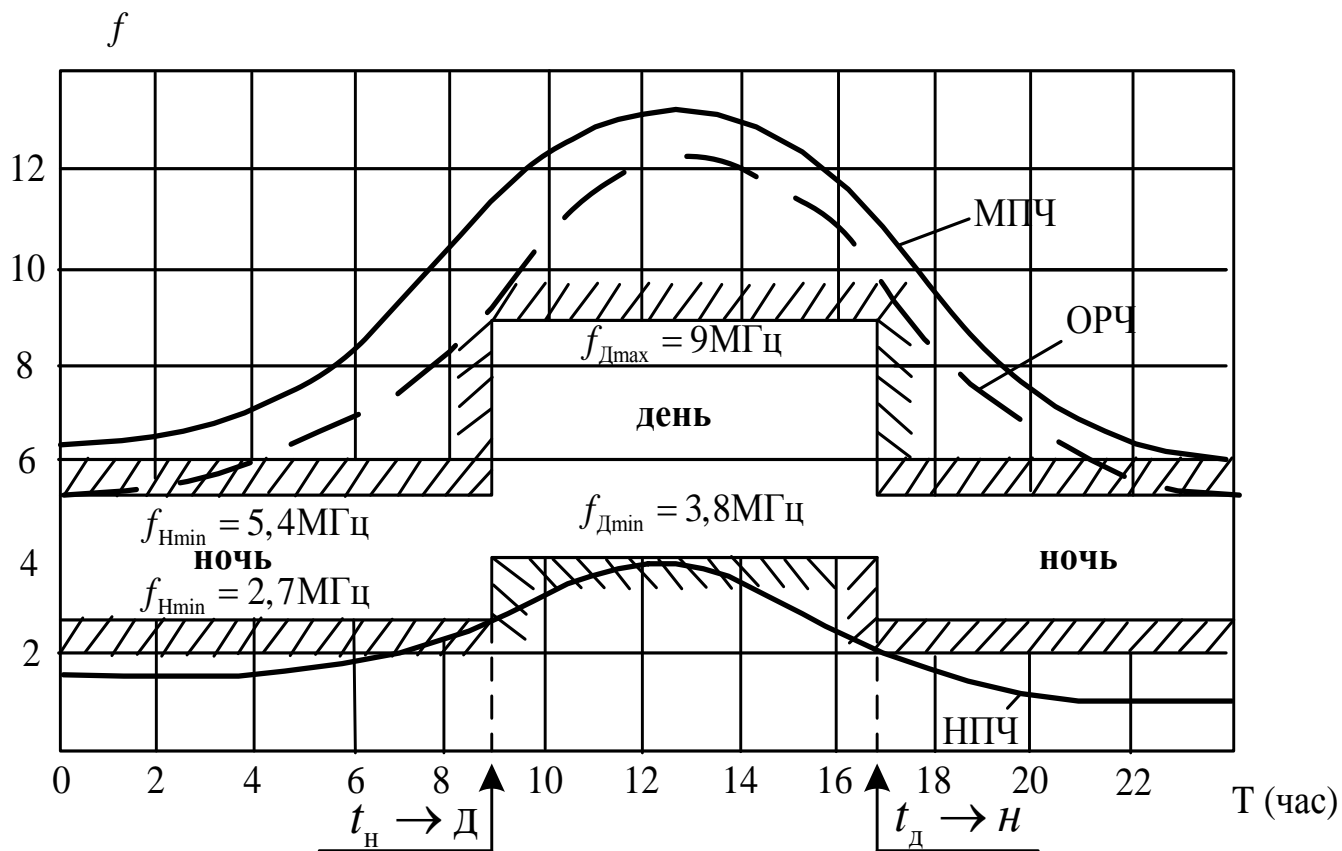
$$f_{\min} = 4 \frac{3 + r_{\text{тыс.км}}}{1 + 0,1\varphi_{\text{т.о.}}^{\circ}}, \text{ МГц}$$

$$f_{\max} = 45 - \frac{90}{3 + r_{\text{тыс.км}}^2} - 0,05\varphi_{\text{т.о.}}^{\circ}, \text{ МГц}$$



Рабочий диапазон частот для заданной радиопередачи

№4

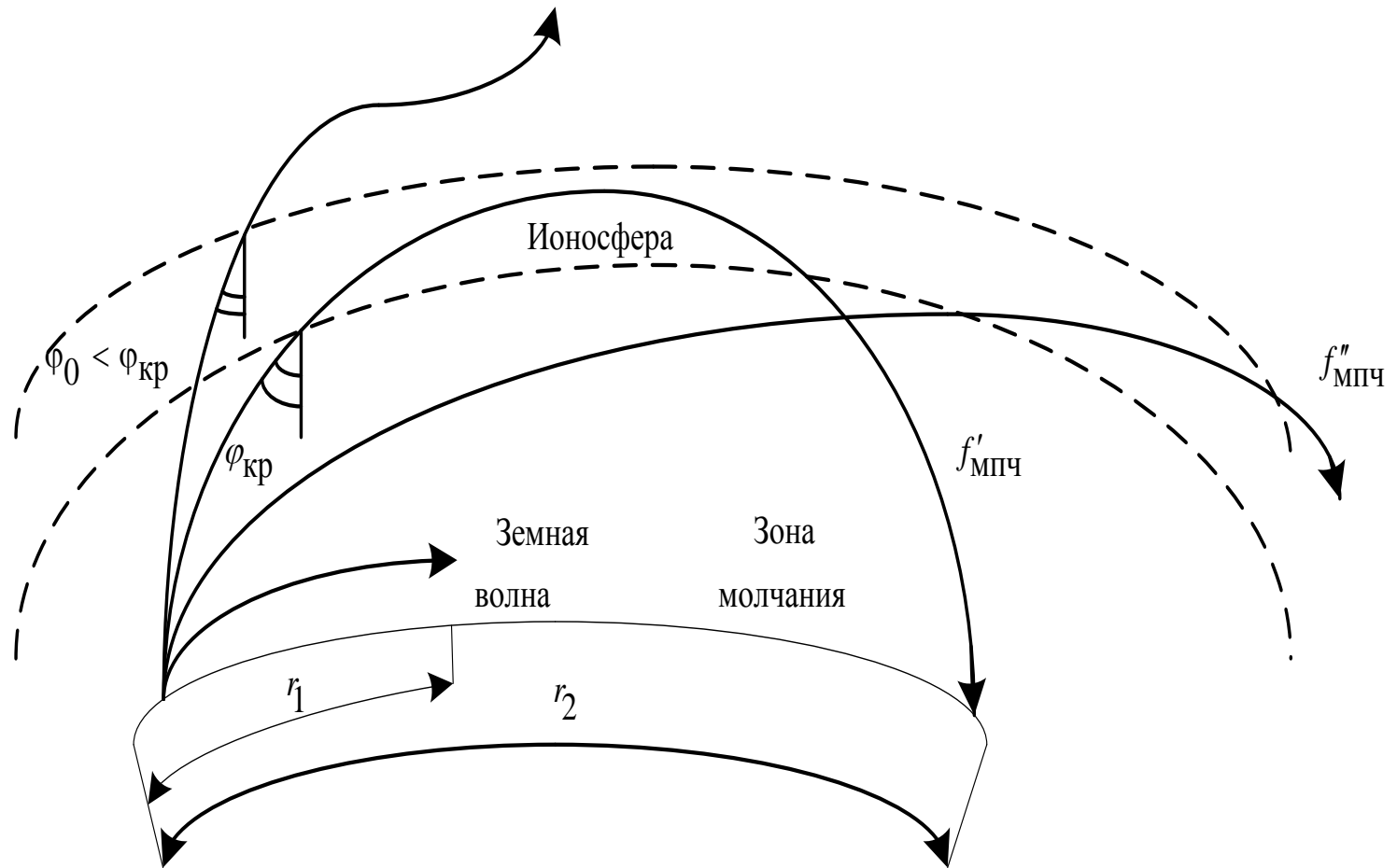


$$f_{МПЧ} = \varphi(r, N_{эл}). \quad f_{НПЧ} = \varphi(r, N_{эл}, P_{пер}, G_{пер}, D_{пмп}, p\%).$$



Особенности распространения КВ радиоволн

№5





Требования, предъявляемые к КВ антеннам

№6

Для радиосвязи на небольшие дальности (**до 300 км**) фактически требуются так называемые антенны зенитного излучения (**АЗИ**) и зенитного приема (**АЗП**) с ориентацией **ДН** под большими углами к горизонту.

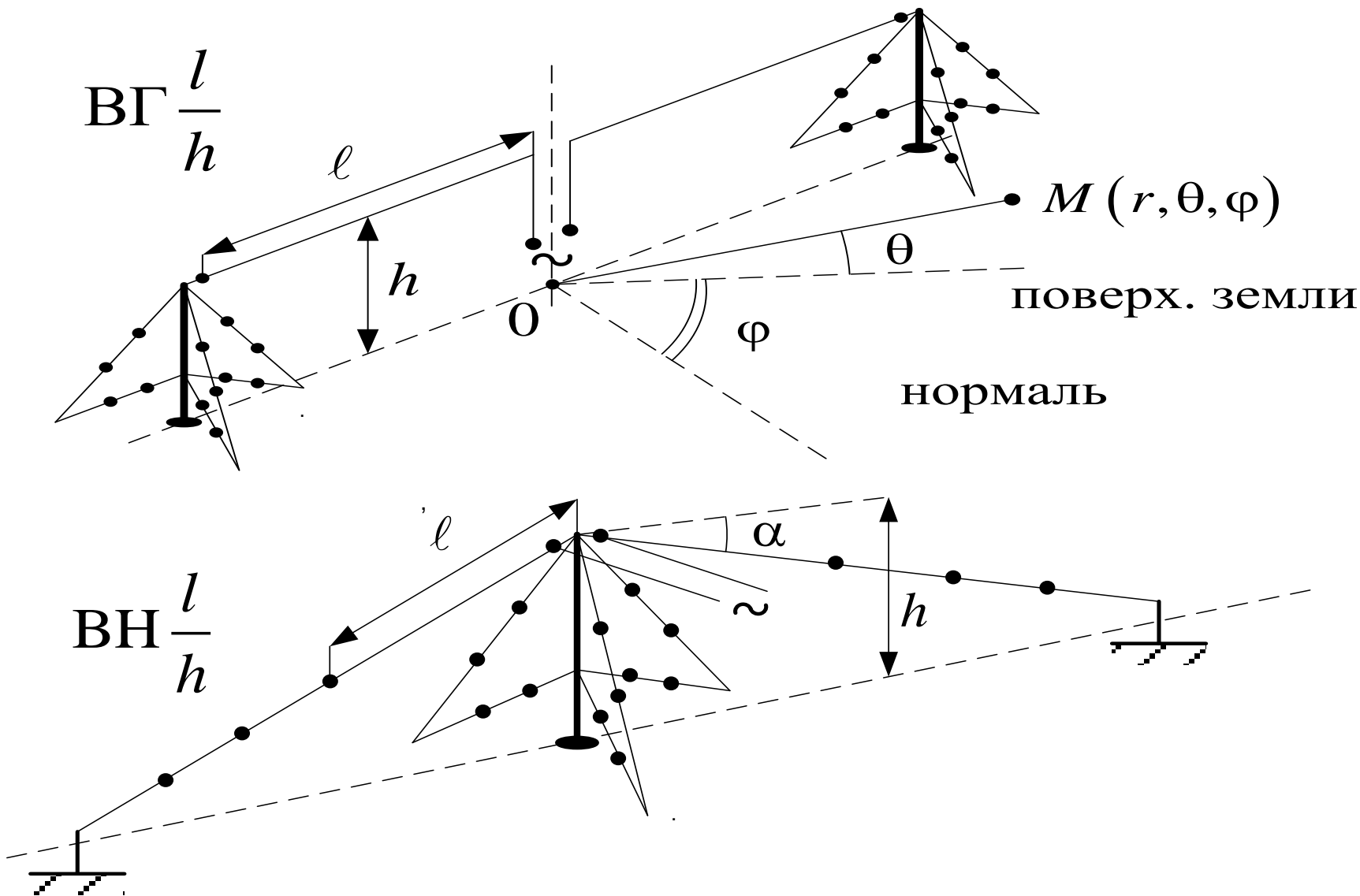
Антенны для радиосвязи на средние дальности (600...1000 км) должны создавать максимальное излучение под углами 30...60град. На радиолиниях большой протяженности (более 1000 км) необходимы остронаправленные антенны, которые излучают или принимают под малыми углами к горизонту.

Важным требованием, предъявляемым к передающим антеннам, является получение в пределах заданных углов и в требуемом секторе азимутальных углов необходимого коэффициента усиления.

Для **приемных антенн** важнейшим требованием является обеспечение высоких значений **КНД**.



2. Горизонтальный и наклонный симметричные вибраторы





Длина плеча вибратора

$$0,2 \lambda_{\max} < l < 0,75 \lambda_{\min};$$

Оптимальная высота мачты

$$h_{\text{опт}} = \frac{\lambda}{4 \sin \theta_0}.$$

$$0,15 \lambda_{\max} < h < 0,5 \lambda_{\min}.$$

Угол максимума ДН

$$\theta_m = \arcsin \left(\frac{\lambda}{4h} \right).$$

Длина плеча вибратора в основном влияет на ДН в горизонтальной плоскости, а высота – на ДН в вертикальной плоскости.

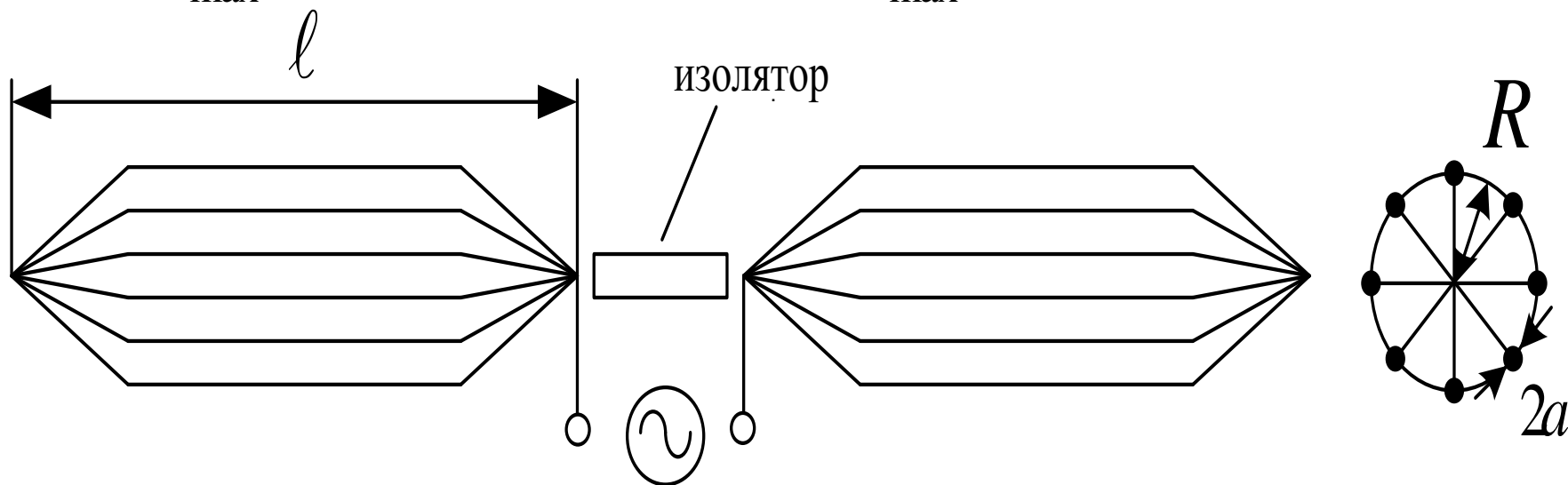


3. Диапазонные симметричные вибраторы и их применение

№9

Диапазонные свойства вибраторов зависят от стабильности их электрических характеристик, в основном от **Z** и **КБВ**. $Z_A = Z_A(f)$

$$R_{A_{\max}} \propto \rho^2 / R_{\Sigma}, \quad X_{A_{\max}} \propto \rho^2 / 2R_{\Sigma}.$$



$$\rho = 120 \left(\ln \frac{l}{a_3} - 0,69 \right)$$

или

$$\rho = 120 \left[\ln \left(\frac{l}{a_{\text{ЭК}}} \right) - 1 \right], \quad a_{\text{ЭК}} = R \sqrt[n]{na/R}.$$



ВЫВОД ПО ИОНОСФЕРНЫМ ВОЛНАМ

№10

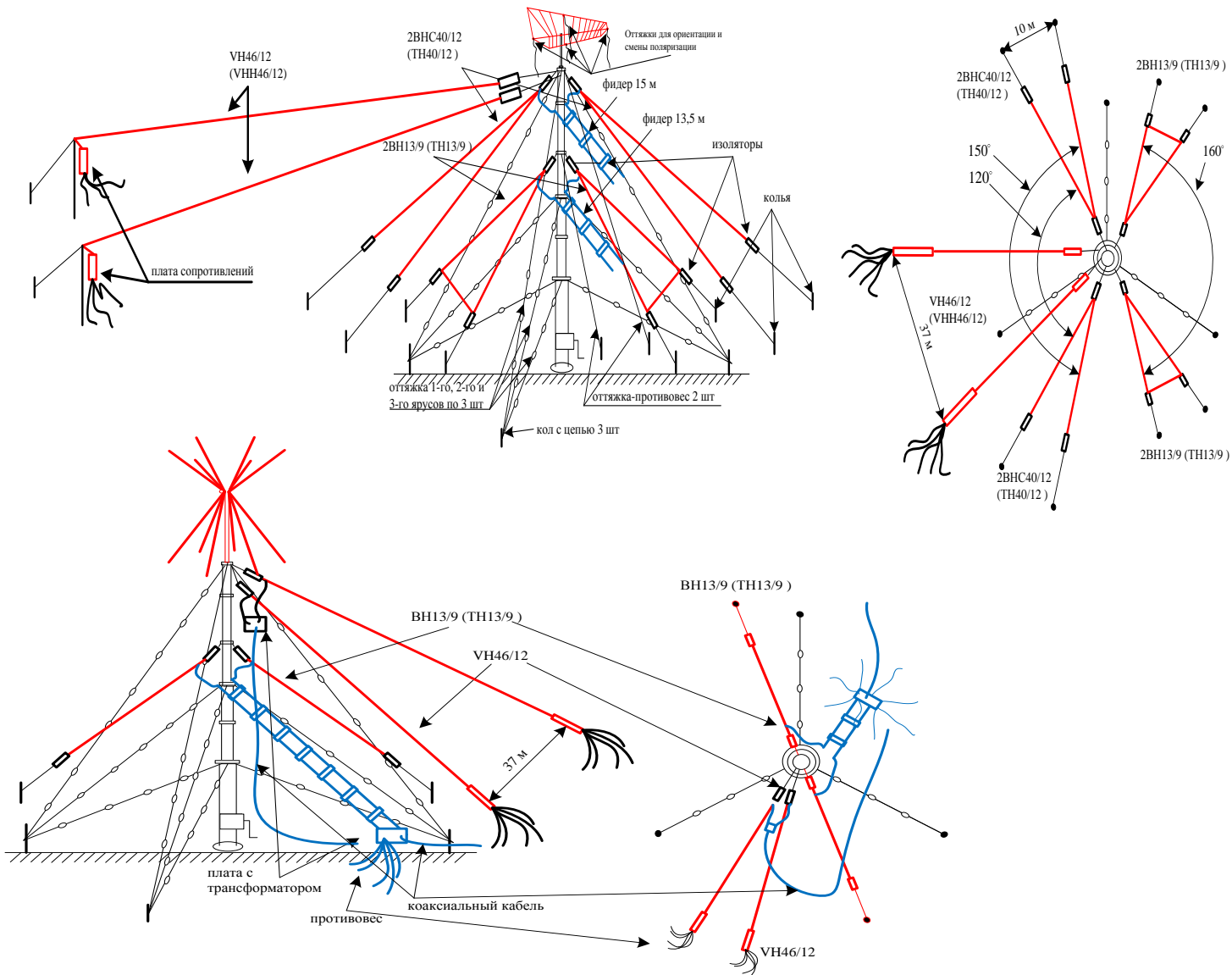
Симметричный вибратор является одним из наиболее простых по конструкции и излучению. Антенны ВГ и ВН чаще применяют для КВ радиосвязи ионосферными волнами на трассах менее 600 км.

Недостатком вибраторов ВГ и ВН является малый коэффициент усиления и невысокий КБВ, обычно в пределах 0,3...0,4 в узком диапазоне частот. Поэтому в КВ радиостанциях типа Р-166 вибраторы выполняются из 2-х проводов в виде V – образных плеч.

Рассмотренные диапазонные вибраторы **применяются** на стационарных радицентрах для радиосвязи и радиовещания. Полотно вибраторов подвешивается на трубчатых асбестоцементных или деревянных мачтах (опорах) с оттяжками.



Антенное поле войсковой радиостанции





Кафедра радиосвязи

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ АНТЕННЫ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ ИОНОСФЕРНЫМИ ВОЛНАМИ

1. Синфазные многовибраторные антенны.
2. Логарифмически-периодические антенны.
3. Антенны бегущей волны типа БС и БС-2.



1. Синфазные многовибраторные антенны

№2

Требования к антеннам

Для **КВ радиосвязи** ионосферными волнами на большие расстояния необходимы **направленные антенны** с высоким коэффициентом направленного действия. Эффективным способом повышения направленности (**КНД**) является применение **многовибраторных антенн**.

Такие антенны по существу являются антенными решетками, в качестве элементов которых применяются различные модификации диапазонных вибраторов.

С целью получения больших значений КНД в 2-х плоскостях применяются **плоскостные синфазные антенные решетки**.

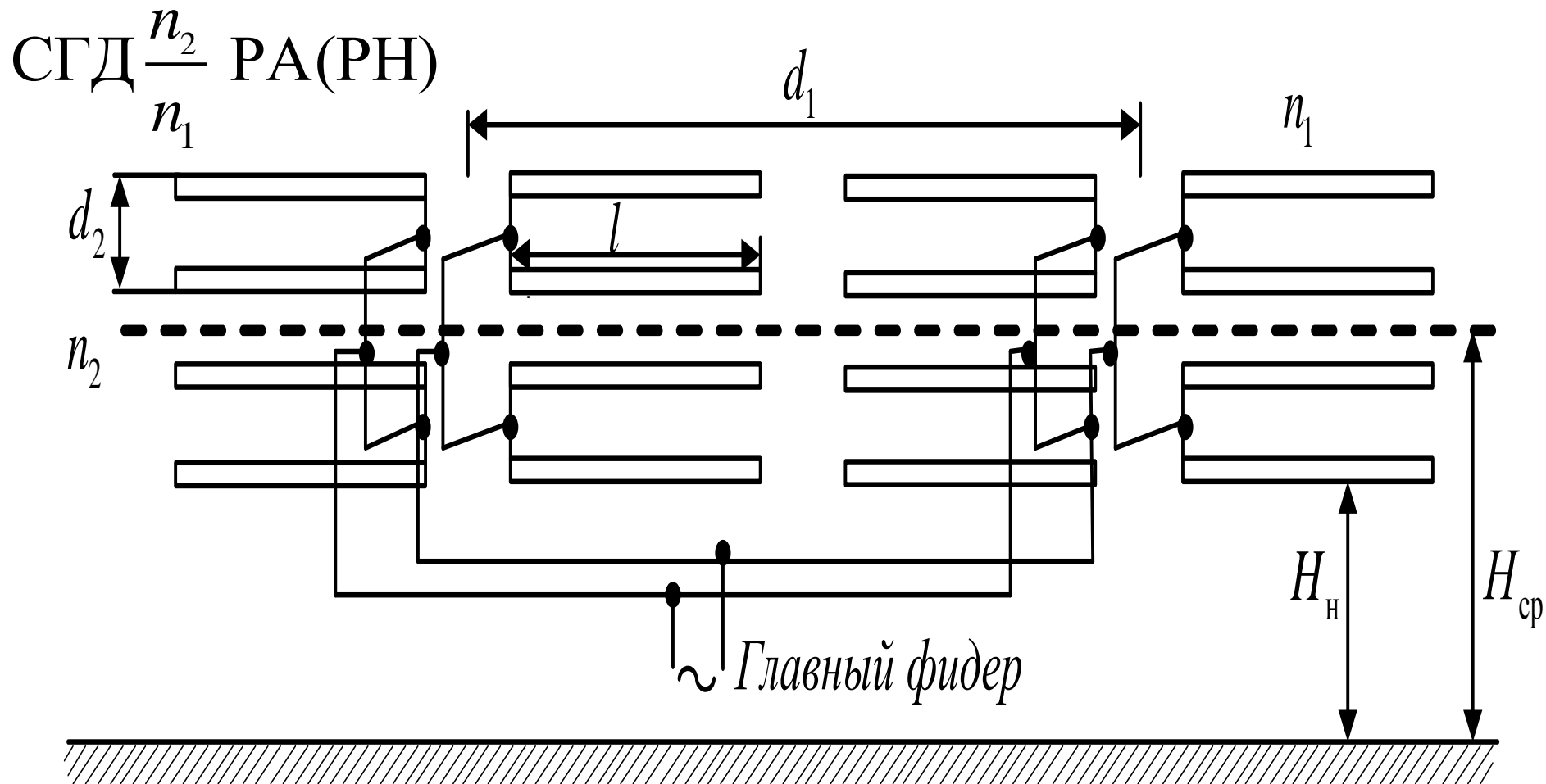
Если требуется получить только **узкие ДН** в одной плоскости, тогда применяют **линейные решетки осевого излучения**.



Синфазная горизонтальная диапазонная антенна (СГД)

№3

В СГД могут быть различные диапазонные вибраторы ВГД (горизонтальный), ВГДШ (широкая), ВГДШП (плоскостная) и др.





Диапазонные свойства многовибраторных антенн зависят не только от вибраторов, но и от их схемы питания. Синфазность возбуждения вибраторов обеспечивает равенство длин распределительных линий питания от главного фидера.

Ограничение диапазонных свойств является КБВ в главном фидере. При **КБВ > 0,5** диапазон рабочих волн **2...3 крата**. С увеличением числа вибраторов диапазон рабочих волн становится уже.

$$\lambda_{\text{раб.}} \approx (0,8...2)\lambda_0.$$

У антенн СГД с увеличением числа вибраторов в этаже ДН сужаются только в горизонтальной плоскости. С увеличением числа этажей ДН сужаются только с вертикальной плоскости и при этом уменьшается угол максимального излучения



Направленные свойства антенн СГД

№5

$$f_{\text{СГД}}(\theta, \varphi) = f_{\text{В}}(\varphi) f_{\text{с}}^{\text{ГП}}(\theta, \varphi) f_{\text{с}}^{\text{ВП}}(\theta, \varphi) f_{\text{р}}(\theta, \varphi) f_{\text{з}}(\theta)$$

$$f_{\text{В}}(\varphi) = \frac{\cos(k\ell \sin \varphi) - \cos(k\ell)}{\cos \varphi}, \text{ угол } \varphi \text{ – от нормали к вибратору.}$$

$$f_{\text{с}}^{\text{ГП}}(\theta, \varphi) = \frac{\sin(0,25n_1kd_1 \cos \theta \sin \varphi)}{\sin(0,5kd_1 \cos \theta \sin \varphi)} \quad f_{\text{с}}^{\text{ВП}}(\theta, \varphi) = \frac{\sin(0,5n_2kd_2 \sin \theta \cos \varphi)}{\sin(0,5kd_2 \sin \theta \cos \varphi)}$$

$$f_{\text{р}}(\theta, \varphi) = \sin(kd_{\text{р}} \cos \theta \cos \varphi) \quad f_{\text{з}}(\theta) = \sin(kH_{\text{ср}} \sin \theta)$$

$$f_{\text{СГД}}(\theta) = f_{\text{с}}^{\text{ВП}}(\theta) f_{\text{р}}(\theta) f_{\text{з}}(\theta)$$

$$f_{\text{СГД}}(\varphi) = f_{\text{В}}(\varphi) f_{\text{с}}^{\text{ГП}}(\varphi) f_{\text{р}}(\varphi)$$

строительная длина волны:

$$\lambda_0 = \sqrt{\lambda_{\text{min}} \lambda_{\text{max}}}$$

Расстояние до рефлектора-отражателя:

$$d_{\text{р}} = (0,23 \dots 0,27) \lambda_0.$$



КНД синфазных антенн зависит от числа вибраторов

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} SK_3, \quad S \text{ – площадь раскрыва антенны}$$

Множитель земли: $K_3 = 3...4$.

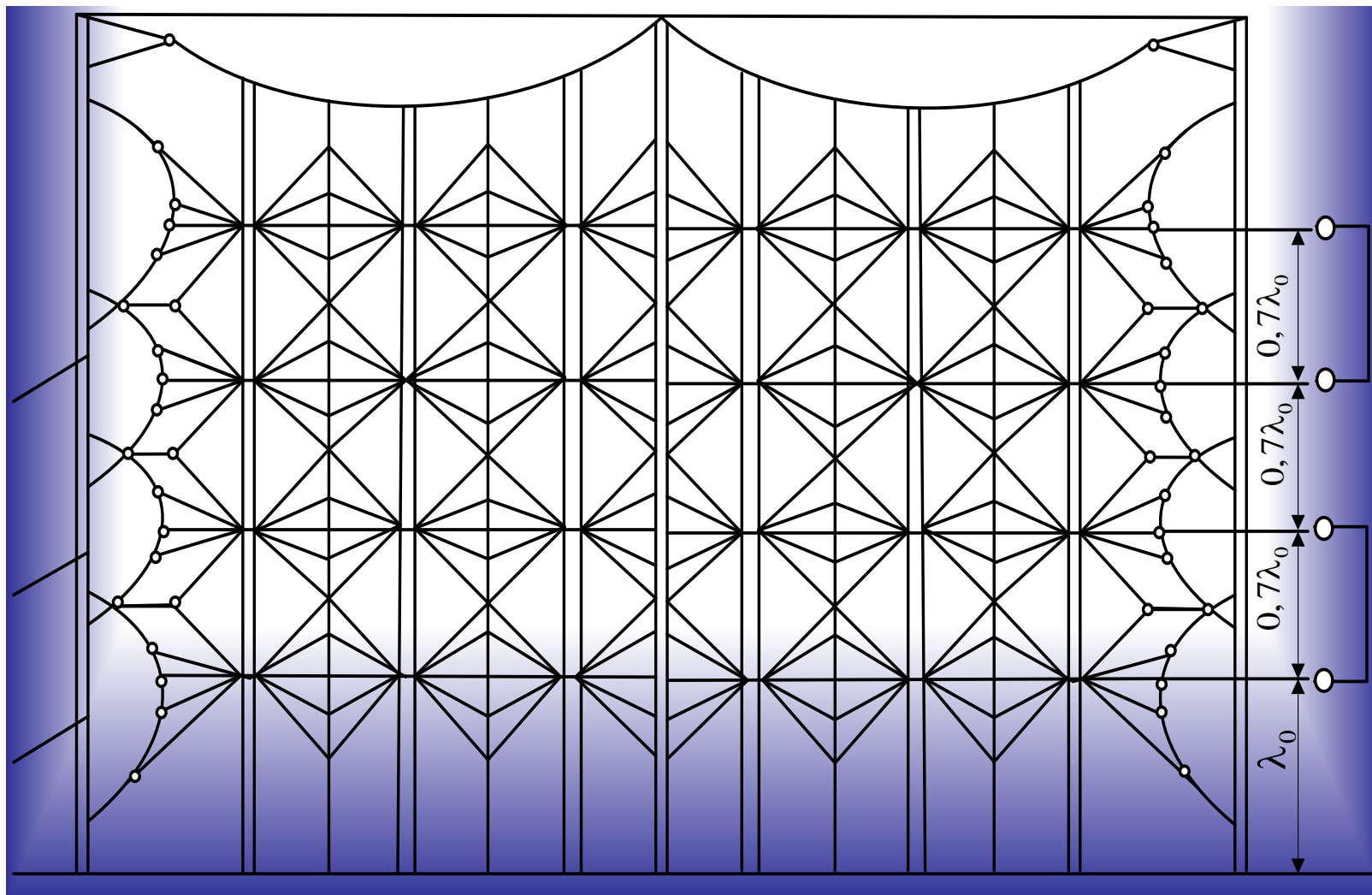
$$D_0 \approx 80...100 \quad \theta = \theta_m \approx 15^\circ.$$

$$\theta_0 = \theta_m, \quad \theta_m = \arcsin \left[\lambda / (4H_{\text{ср}}) \right].$$



Устройство антенны СГД

СГДП $\frac{4}{12}$ РА





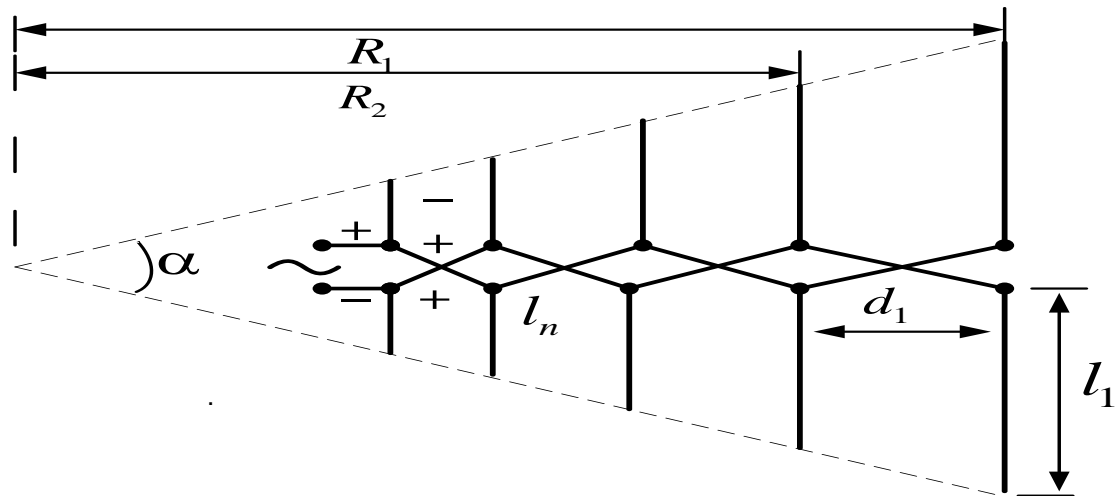
2. Логарифмически-периодические антенны

№8

Логопериодические антенны (ЛПА) выполняются из системы простейших излучателей, размеры и расстояния которых изменяются по логарифмическому закону относительно частоты возбуждения.

Антенны ЛПА применяются в различных частотных диапазонах и относятся к классу частотно–независимых антенн, у них стабильны электрические характеристики в широком диапазоне частот. Это происходит потому, что при изменении рабочей длины волны относительные размеры излучателей остаются постоянными.

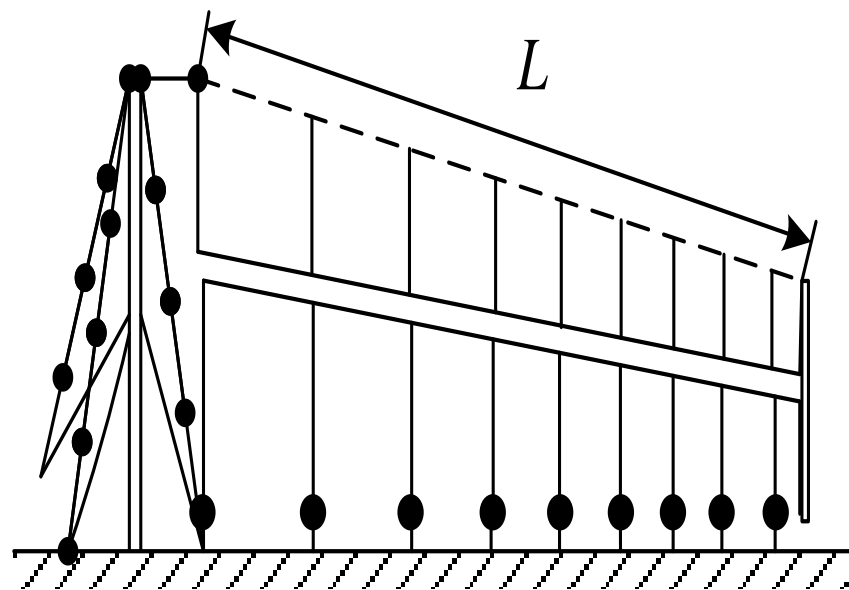
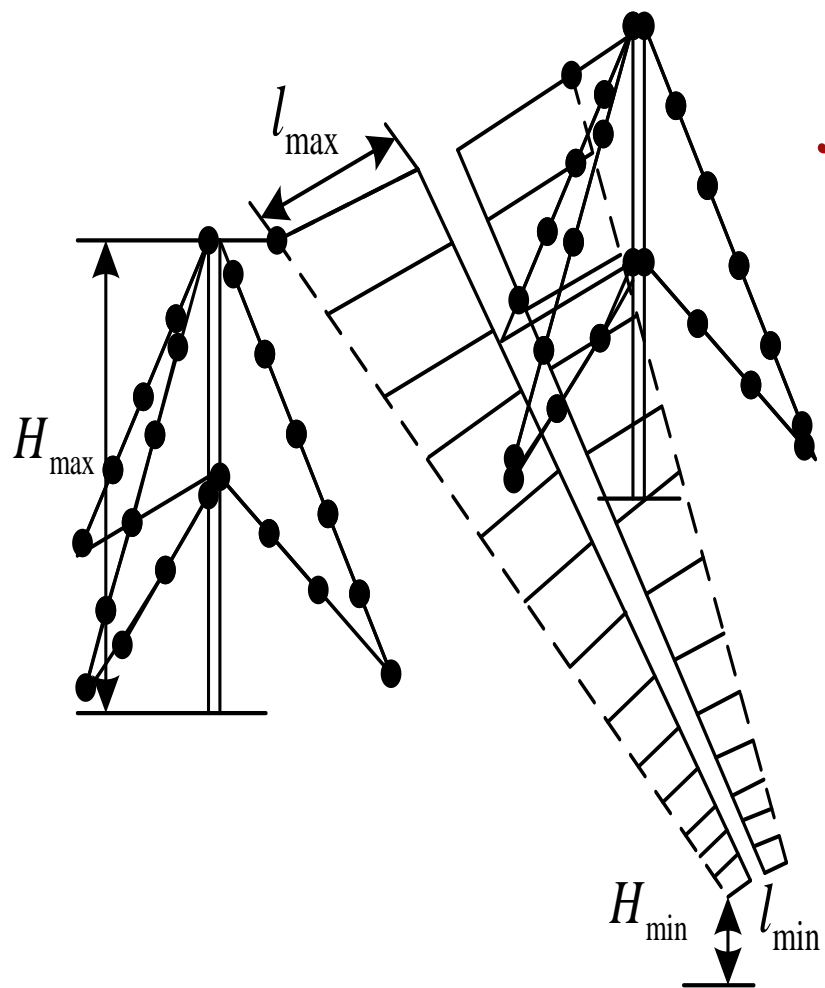
В диапазоне КВ, в качестве излучателей ЛПА применяют симметричные и несимметричные вибраторы.



$$\tau = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{R_{n+1}}{R_n} \approx \frac{d_{n+1}}{d_n}$$



ЛПА вертикальной поляризации



ЛПА горизонтальной поляризации



Параметры наклонной антенны ЛПА

Длина плеча самого длинного вибратора равна: $l_{\max} \approx \lambda_{\max} / 4$

Максимальная длина антенны ЛПА зависит от диапазона рабочих длин волн и выбора параметра структуры τ или угла среза вибраторов α (раскрыва структуры) $\alpha \leq 45^\circ$, $\tau = 0,75 \dots 0,95$.

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{l_n}{R_n} = (1-\tau) \frac{l_n}{d_n}, \quad \sigma = \frac{d_n}{\lambda_n} = \frac{d_n}{4l_n}, \quad \sigma = \frac{d_{\max}}{\lambda_{\max}} = 0,05 \dots 0,2.$$

Длина полотна антенны:
$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

Высоту подвеса полотна ЛПА определяет угол наклона максимума ДН:

$$\sin \theta_m \approx \frac{\lambda_{\max}}{4H_{\text{сред}}}.$$



3. Антенны бегущей волны типа БС и БС-2

Антенны бегущей волны с собирательной линией (БС) являются многовибраторными решетками продольного излучения.

Однако данные антенны используются только **для приема**.

Антенны типа БС являются широкодиапазонными и применяются для приема.

Число и длина вибраторов определяют ее направленные свойства.

Длина плеча вибратора .

$$\ell \approx 0,625\lambda_{\min}$$

Число вибраторов или длина полотна антенны (собирательной линии) определяют величину **КНД**. Из конструктивных соображений

$$d \approx (0,3...0,4)\lambda_{\min},$$

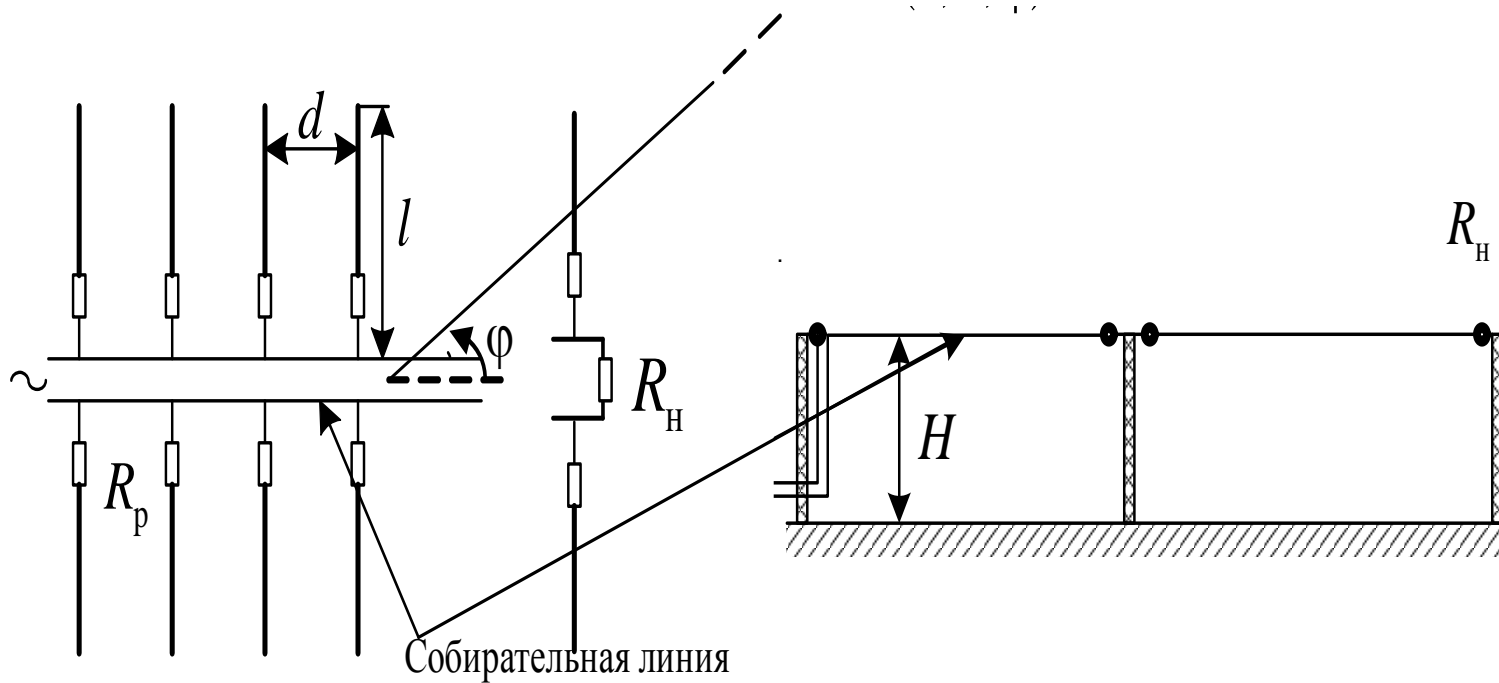
$$\rho_{\text{л}} = 160...205 \text{ Ом.}$$

$$H = 17...25 \text{ м,}$$

$$L \approx 100 \text{ м.}$$

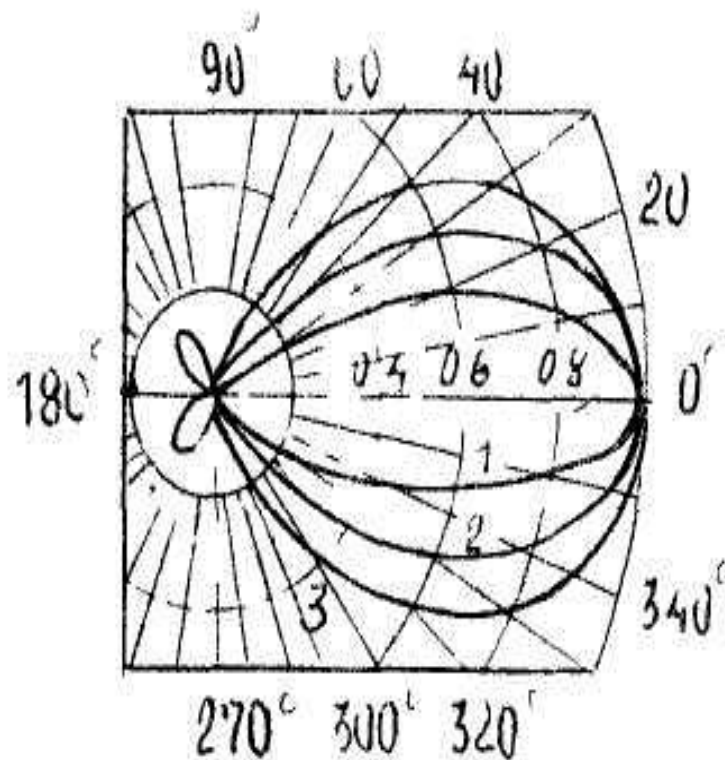
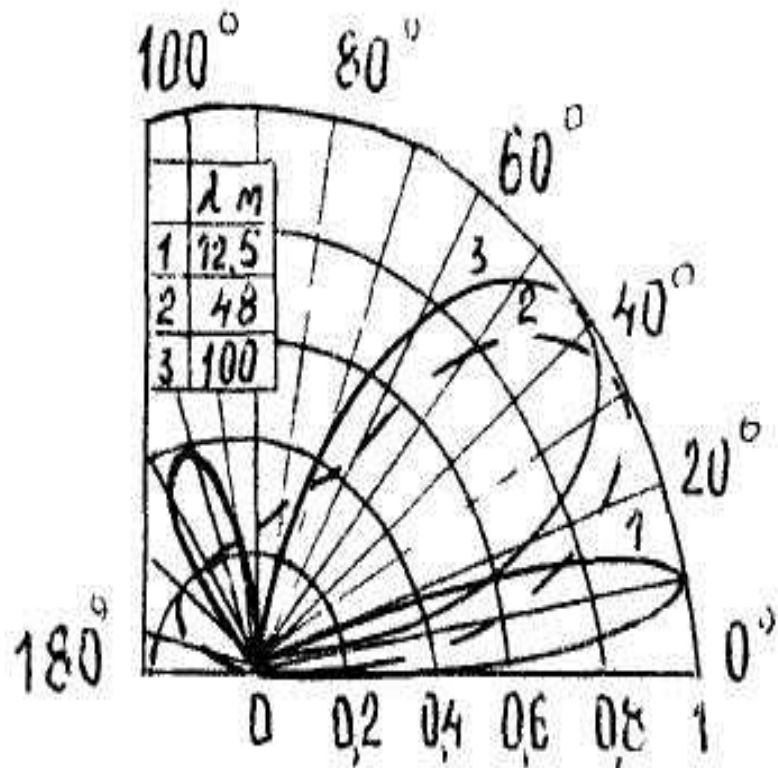


Расположение полотна антенны БС



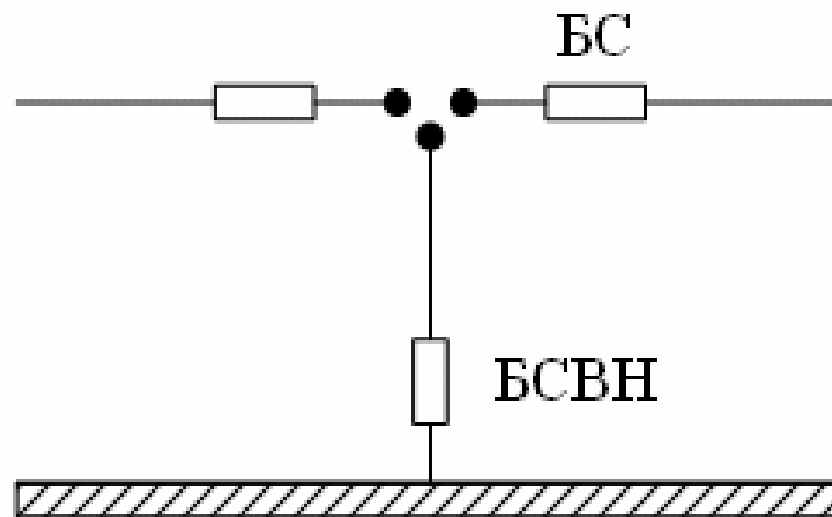
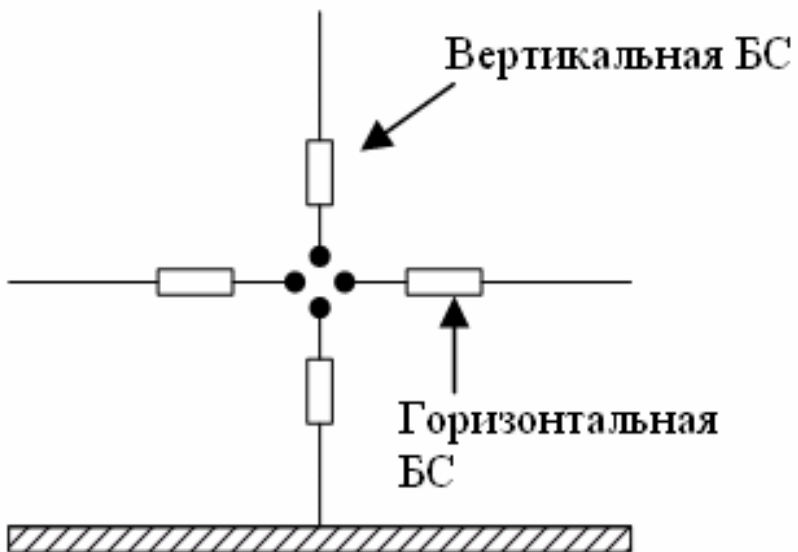


ДН антенны БС





Совмещенные антенны БС и БСВН





Выводы по многоэлементным антеннам ИВ

№15

Направленные свойства и электрические параметры многовибраторных антенн зависят от расположения вибраторов. Многовибраторные антенные системы могут быть: в виде плоскостных синфазных антенных решеток (СГД) или линейных решеток продольного излучения (ЛПА и БС).

С целью дальнейшего увеличения КНД могут быть использованы системы из двух синфазно питаемых антенн БС, которые условно обозначаются БС-2. В этих антеннах возрастание КНД в 1,5-2 раза обусловлено сужением ДН в горизонтальной плоскости.

Дальнейшее улучшение направленных свойств можно получить при использовании системы из нескольких антенн типа БС-2, расположенных на одной оси в направлении на корреспондента.

Высокой школы Ленинск.
Краснодонецкой
Академии наук
Возм. 50 летия
от № 43753

Антенна БС-2. (ГП; 3П)
Горизонтальной и Эллиптической
Поларизации



