



# Кафедра радиосвязи

**ДИСЦИПЛИНА: РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И  
АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА (Д-1105-1)**

**Тема 3. Антенно-фидерные устройства**

**декаметрового диапазона**

## **Лекция 3/1 (№15). ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛИ НА РАБОТУ АНТЕНН ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОЛНАМИ**

Учебные вопросы:

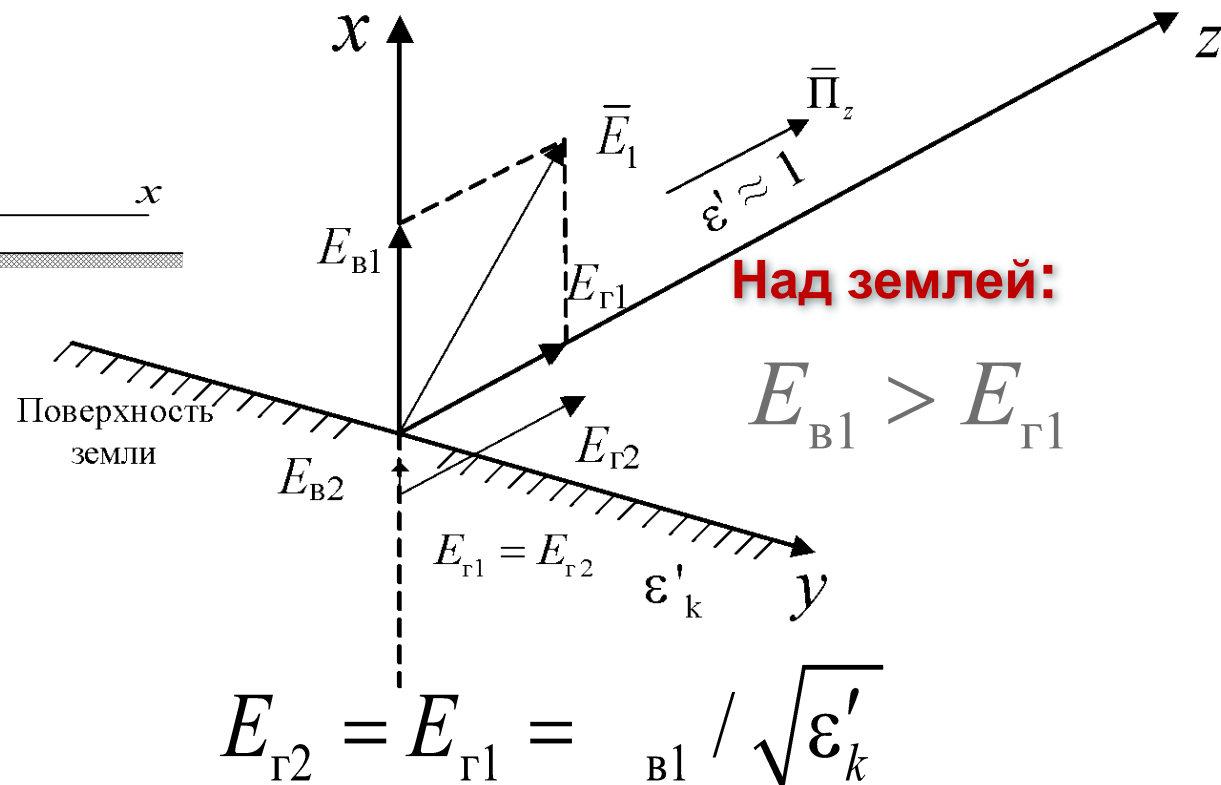
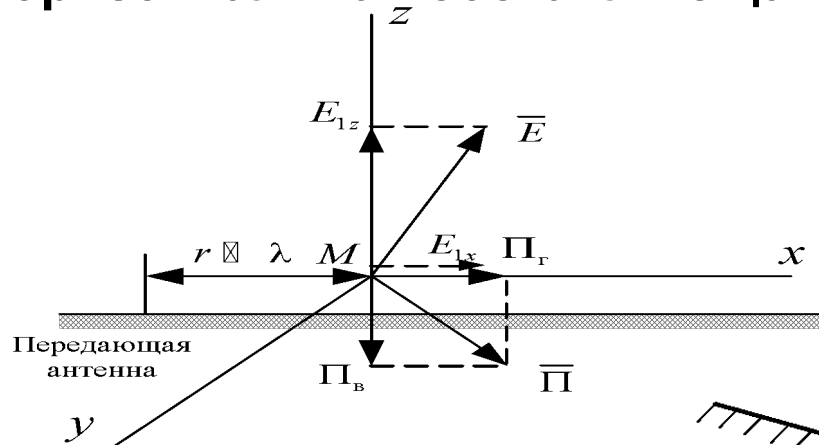
- 1. Структура поля электромагнитной волны над полупроводящей поверхностью.**
- 2. Особенности распространения поверхностных волн и требования к антеннам.**
- 3. Вертикальные и наклонные несимметричные вибраторы и их электрические характеристики.**



# 1. Структура поля электромагнитной волны над полупроводящей поверхностью

*Поверхностная волна (земная волна) формируется, когда высота установки антенн меньше длины волны.*

Вблизи поверхности земли кроме вертикальной составляющей напряженности электрического поля  $E_{B1}$  имеется продольная горизонтальная составляющая  $E_{Г1}$ .



**Над землей:**

$$E_{B1} > E_{Г1}$$

**Под землей:**

$$E_{B2} < E_{Г2}$$

$$E_{Г2} = E_{Г1} = E_{B1} / \sqrt{\epsilon'_k}$$



## Составляющие поля поверхностной или земной волны

№3

При распространении вертикально поляризованной волны вдоль земли из-за разности фазовой скорости в воздухе и на границе раздела наблюдается искривление фронта волны, что приводит к наклону вектора электрического поля в сторону направления распространения.

Отсюда следует, что вблизи поверхности земли кроме вертикальной составляющей напряженности электрического поля имеется горизонтальная продольная составляющая .

Волны вертикальной поляризации меньше затухают в почве и распространяются на большие расстояния. Поэтому при связи ЗВ применяется вертикальная поляризация.

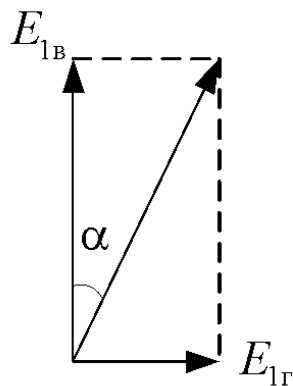


# Поляризация ЭМ волны

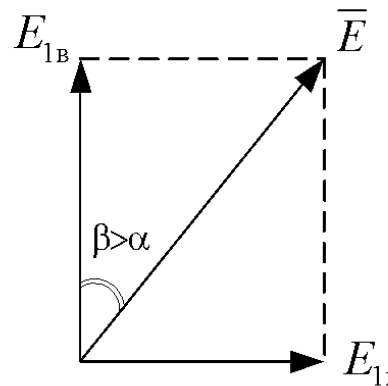
Если излучатель создает вертикально поляризованное поле, то поле вблизи поверхности земли имеет горизонтальные продольные  $E_{Г1}$  и  $E_{Г2}$ .

Это позволяет применять в качестве антенн горизонтальные излучатели как при разворачивании над поверхностью земли, так и в качестве **подземных антенн**.

Над землей

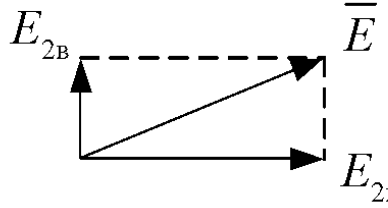
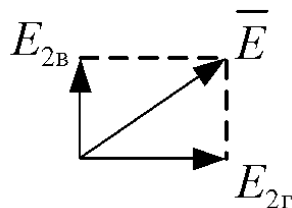


Почва влажная



Почва сухая

В земле





## 2. 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.



## Протяженности трасс при радиосвязи земной волны

№6

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

**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

№7

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**

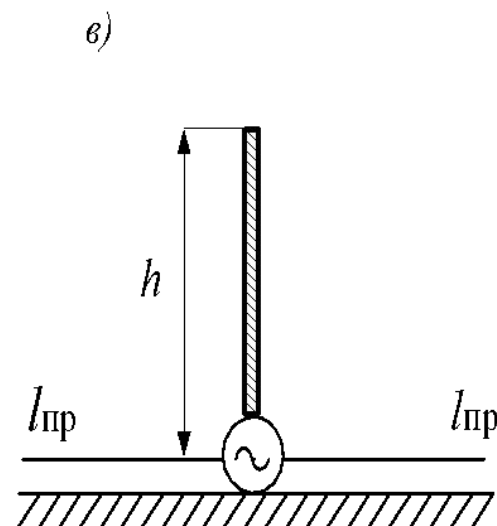
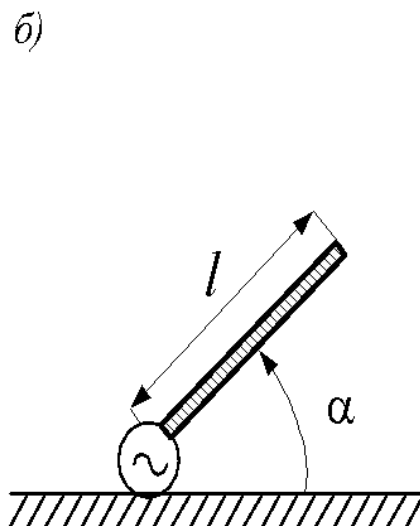
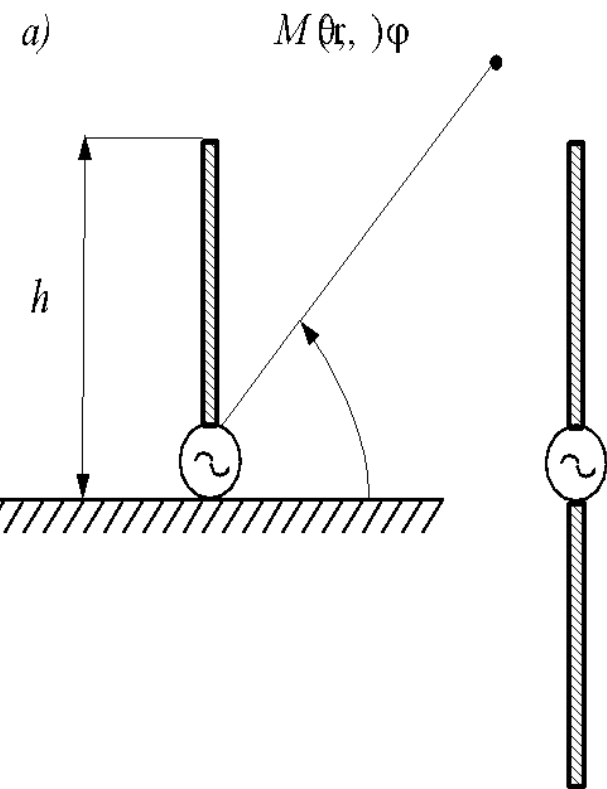
$$\theta_m \rightarrow 0 \quad \text{и минимум в зенит ,} \quad \theta_m = 90^\circ$$



### 3. Вертикальные и наклонные несимметричные вибраторы и их электрические характеристики

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

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

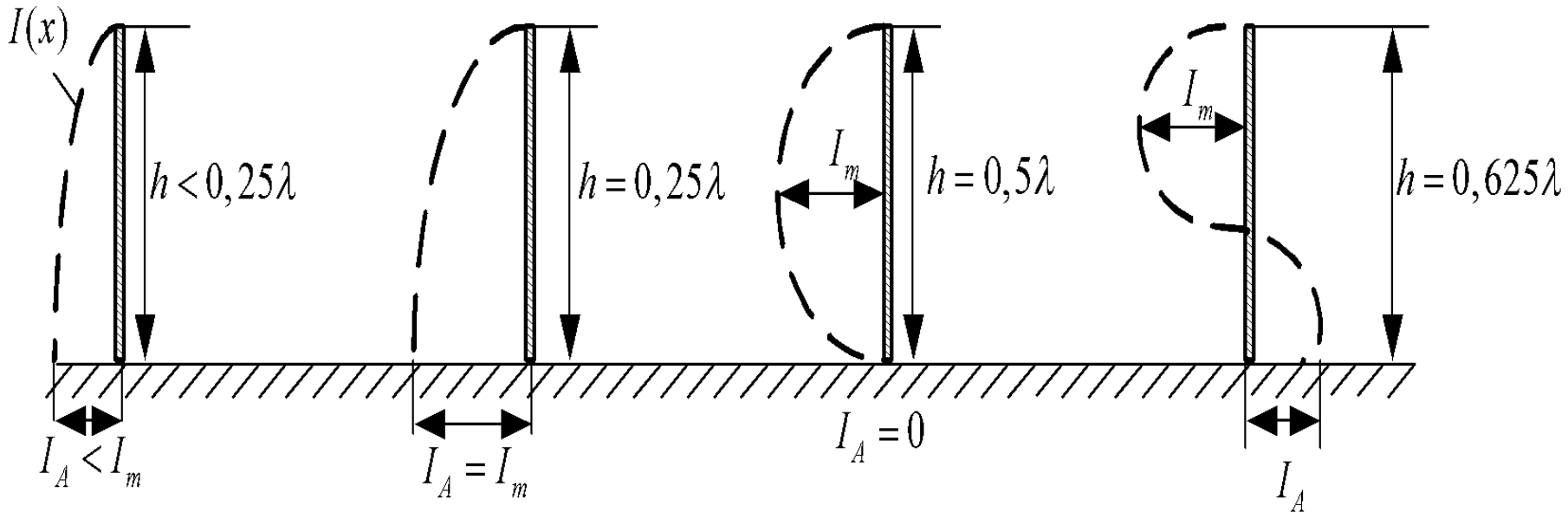






# Распределение тока вдоль вибратора

№9



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

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

**Собственная длина волны:**  $\lambda_0 = 4h.$

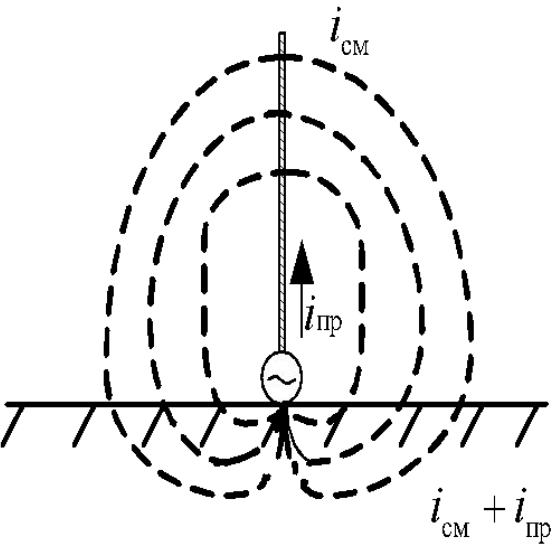


# Низкорасположенные вибраторные антенны

№10

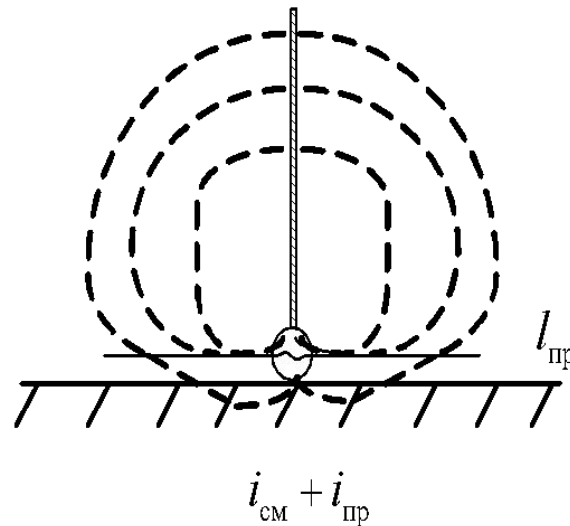
В несимметричных антеннах, расположенных над поверхностью земли, **второй полюс передатчика** или приемника должен **заземляться** через корпус радиостанции, противовес или заземление, которые фактически выполняют роль второго плеча антенны.

а)



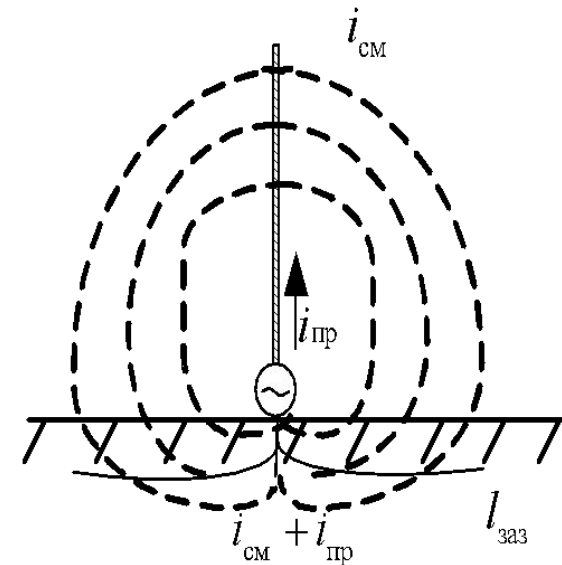
**Без заземления**

б)



**Противовес**

в)



**Заземление**



# Влияние электрических параметров земной поверхности на работу несимметричных антенн

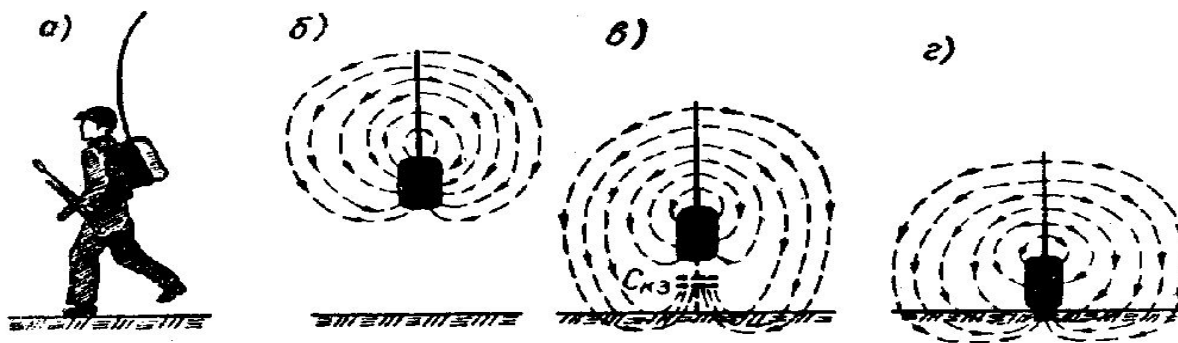


Рис.1. Влияние земли на излучение.

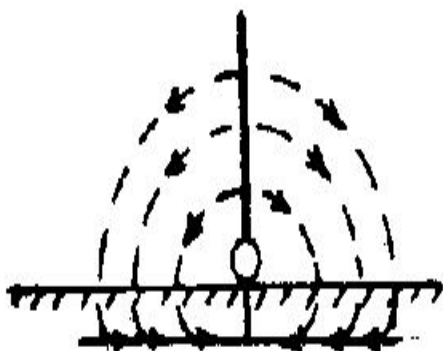


Рис. 2. Штырь над землей

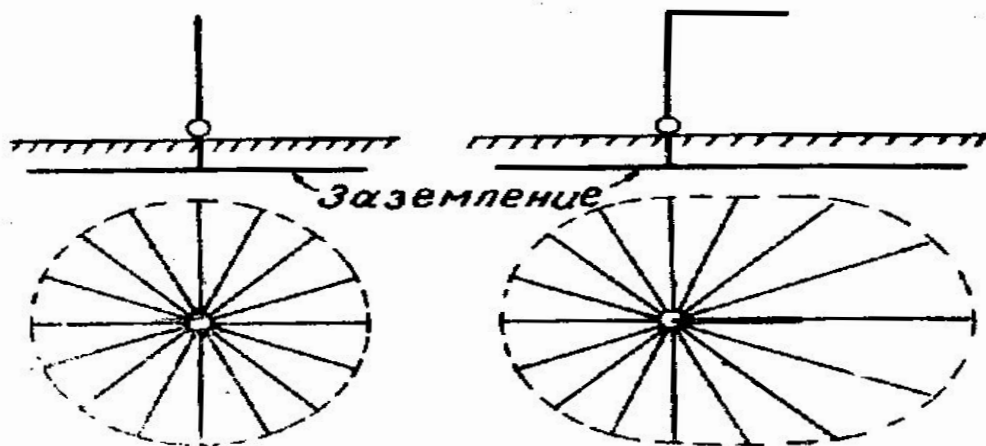


Рис. 3. Несимметричные антенны над землей



# Диаграммы направленности антенны штырь (АШ)

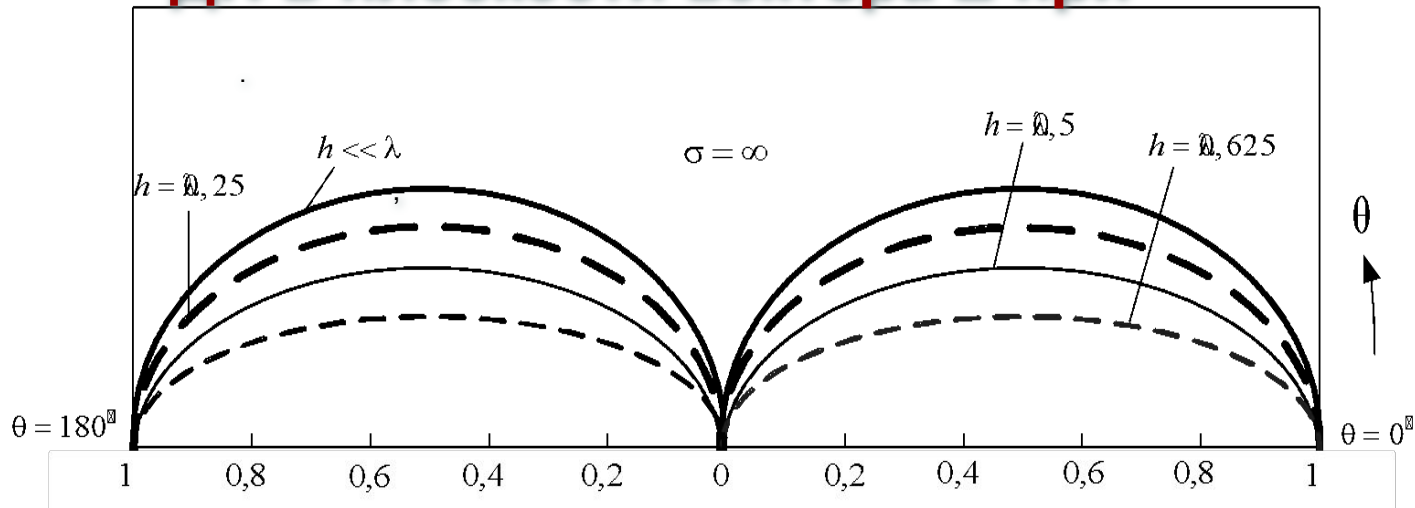
$$E(\theta) = i60I_m \frac{e^{-ikr}}{r} \left[ \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos(kl)}{\sin \theta} \right]$$

**СВ в свободном пространстве, угол  $\theta$  от оси вибратора.**

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

**НВ над поверхностью земли, угол  $\theta$  от поверхности земли.**

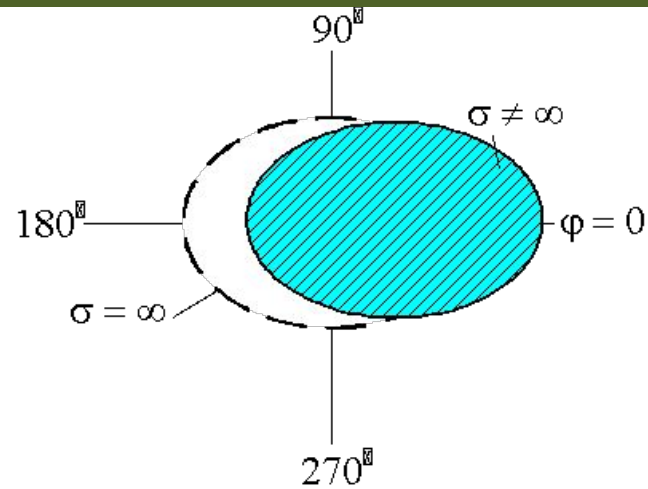
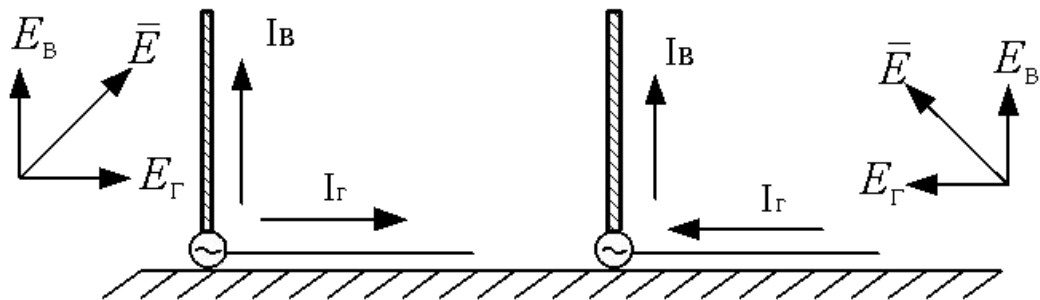
**ДН в плоскости вектора  $E$  при  $\sigma = \infty$**



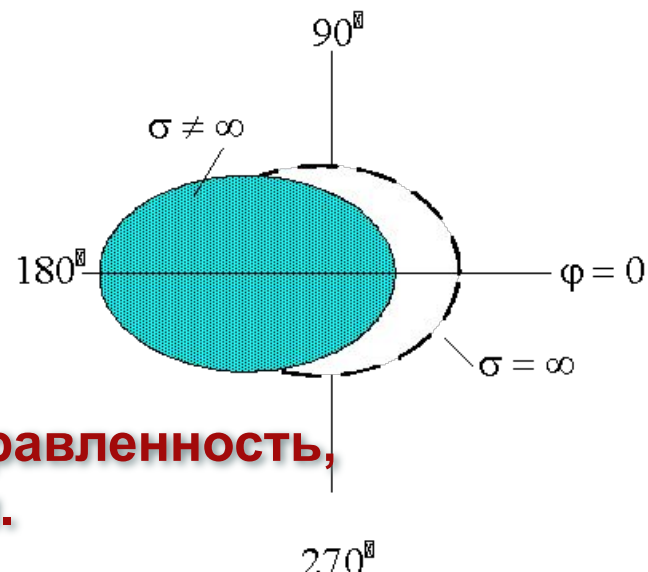
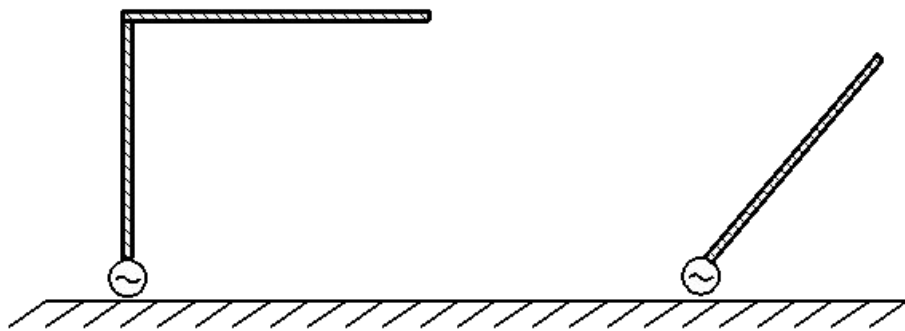
$$f_E(\theta) = \frac{\cos(kh \sin \theta) - \cos(kh)}{\cos \theta}, \quad f_H(\varphi) = 1.$$



# ДН несимметричных вибраторов в горизонтальной плоскости



б)



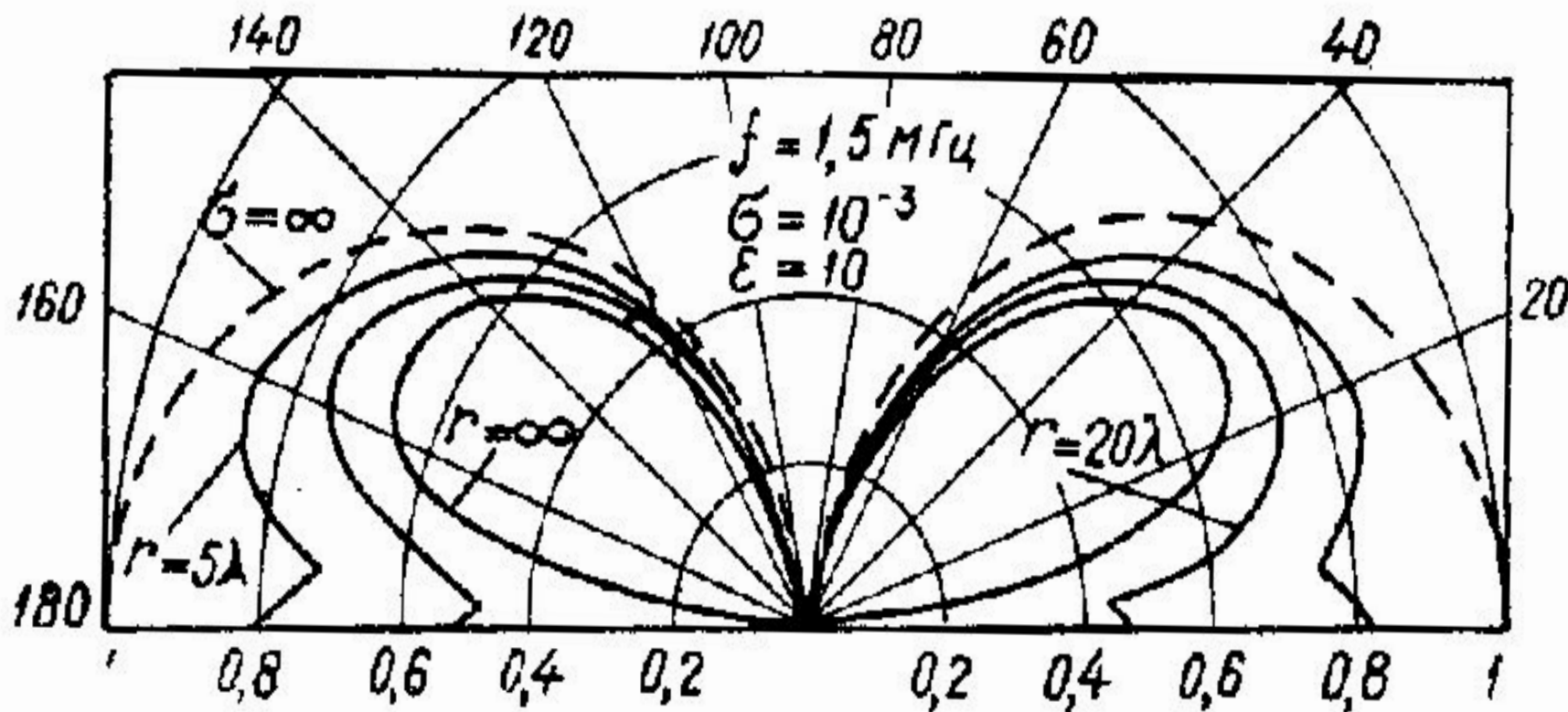
**ДН в горизонтальной плоскости имеют направленность,  
которая зависит от проводимости земли.**



# Диаграмма направленности (ДН) несимметричного вибратора в вертикальной плоскости

№14

ДН в вертикальной плоскости имеют максимум под углами  $\theta_m$ ,  
излучение вдоль земли уменьшается.  $\sigma \neq \infty$



$$\epsilon'_k = \frac{\epsilon_k}{\epsilon_0} = \epsilon' - i60\lambda_0\sigma$$



# Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления

№15

**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  $0,625 l/\lambda$  и равен **6,2** раза относительно изотропного излучателя.

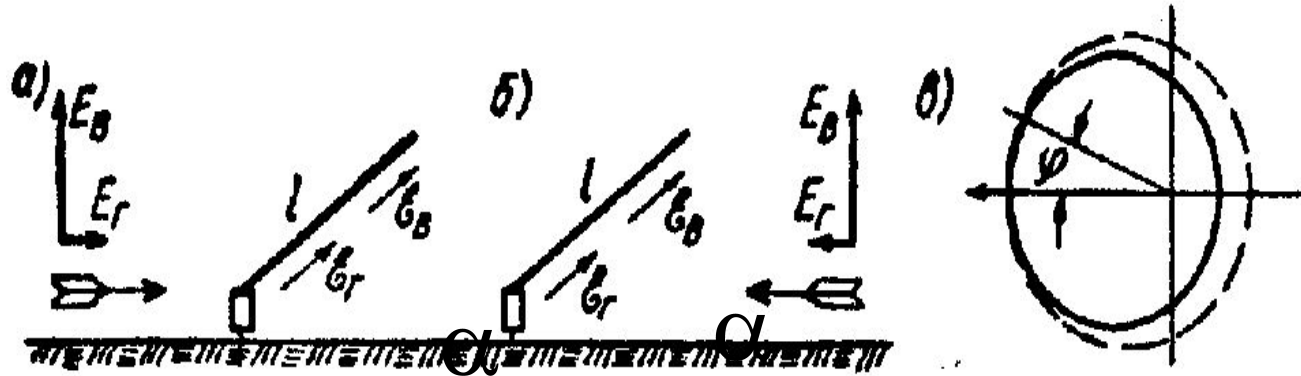
**Коэффициент усиления** несимметричного заземленного вибратора очень сильно зависит от потерь в земле, изоляторах, элементах настройки вибратора и окружающей среды.

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



# Антенна «наклонный луч»

№16



**Направленность НЛ в противоположную сторону наклона провода**

**ЭДС, наводимая в антенне НЛ:**

$$\xi_{\Delta} \cong E_B \ell \left( \sin \alpha + \cos \alpha \frac{\cos \varphi}{\sqrt{\epsilon_k}} \right), \quad \ell_{\Delta} \cong 0,5\ell.$$





## Особенности развертывания низкорасположенных вибраторов

№17

**Степень направленности антенн незначительная и зависит от  $\sigma$ ,  
размеров горизонтальных или наклонных проводов, а также от параметров земной поверхности**

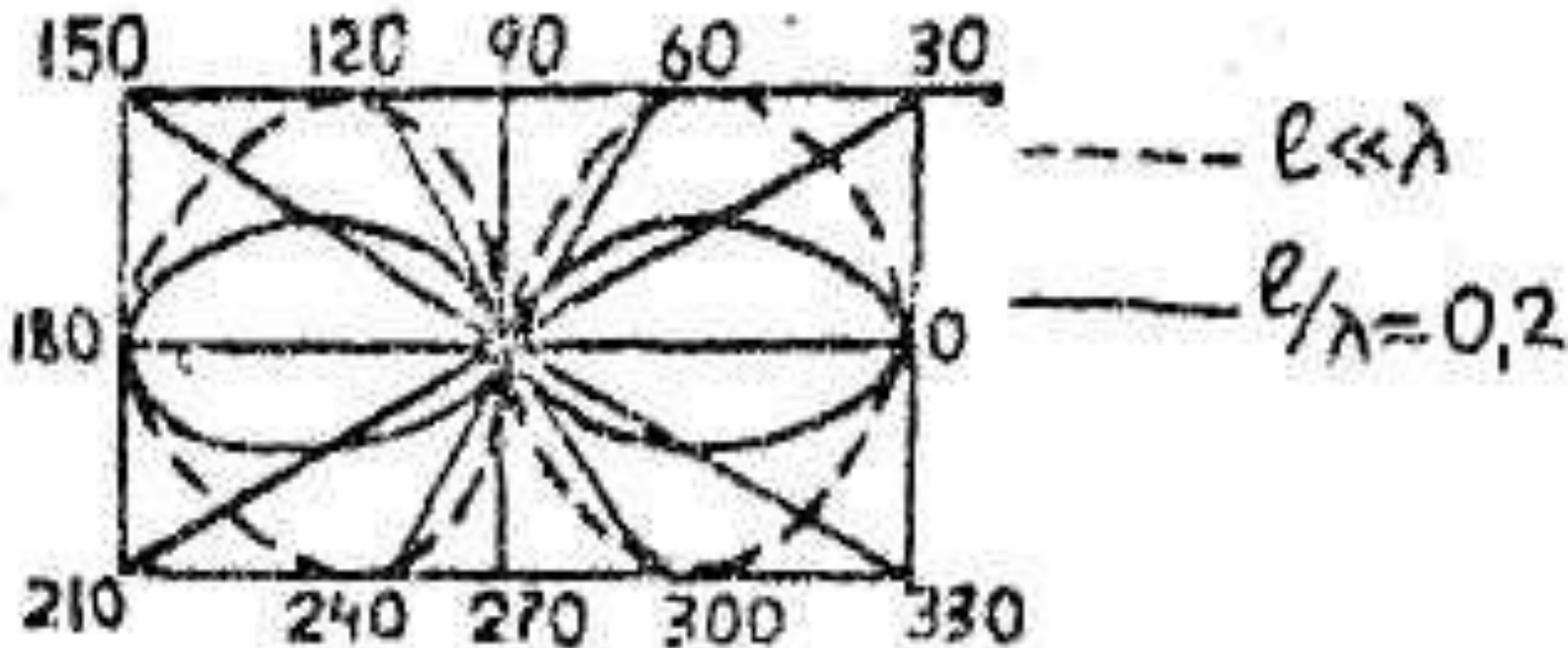
**Для улучшения качества связи необходимо развертывать противовес на корреспондента, а наклонные и горизонтальные провода антенны - в обратную сторону (от корреспондента).**



# ДН низкорасположенного симметричного вибратора (ПА)

№18

Если горизонтальный симметричный вибратор располагать на малых высотах (0,5 – 2 м), то такой вибратор реагирует только на горизонтальную составляющую вертикальной поляризации поля земной волны.



**Максимальное излучение вдоль проводов вибратора**



## ВЫВОДЫ

№19

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.

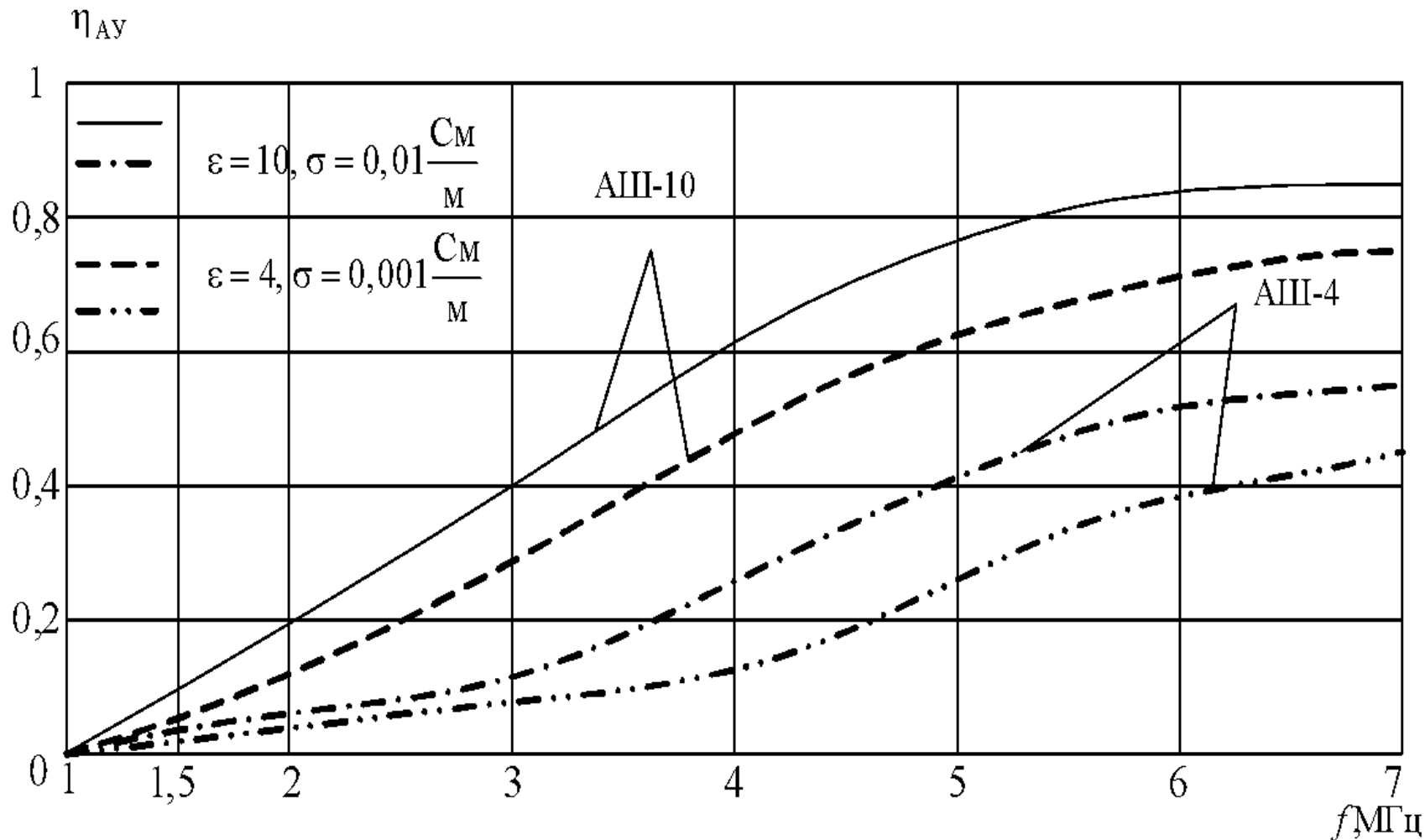
**Несимметричные вибраторы наиболее широко применяются в диапазоне коротких и более длинных волн. В диапазоне коротких и метровых волн несимметричные вибраторы являются основными антеннами в подвижной радиосвязи.**



# КПД несимметричного вибратора

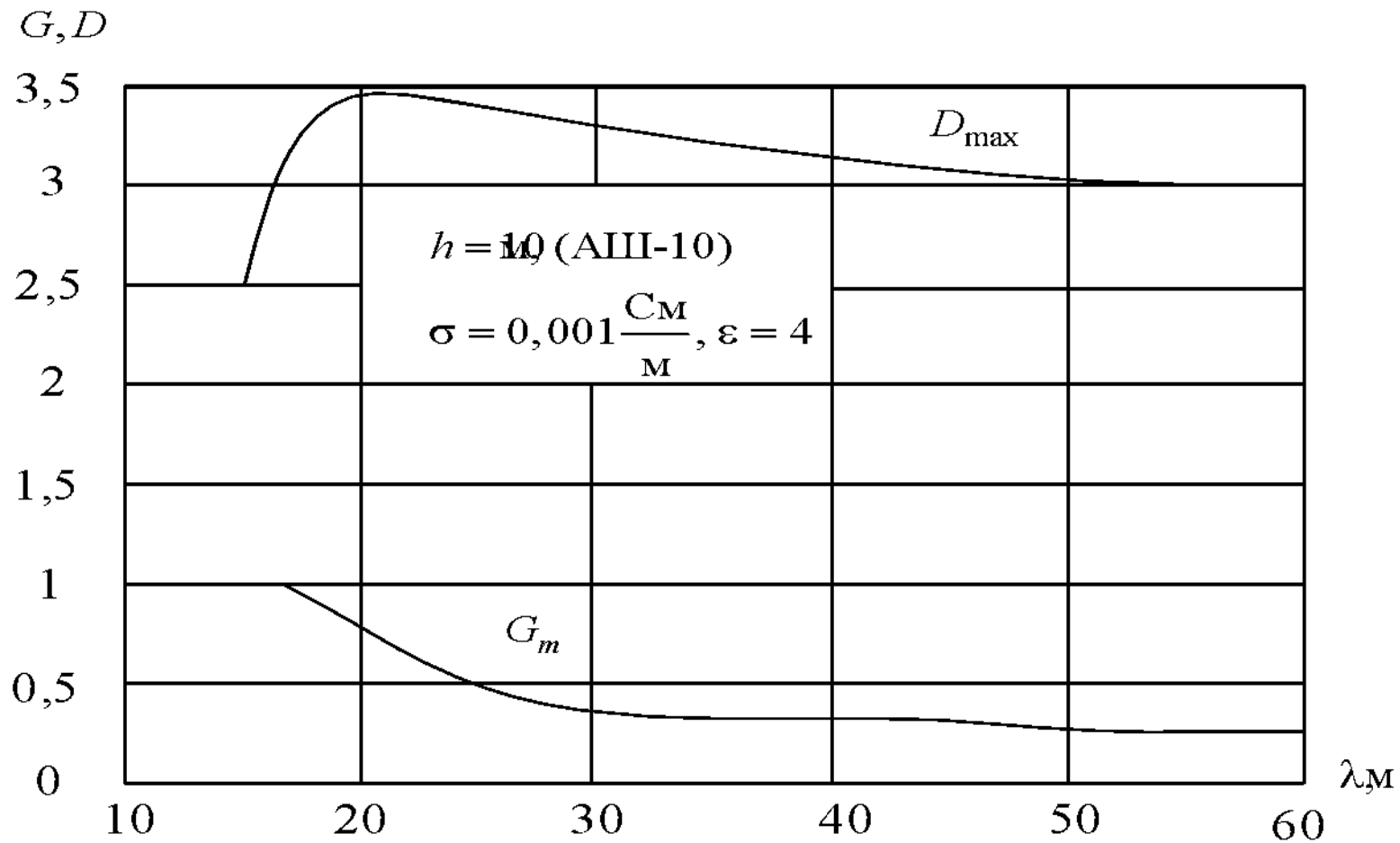
№12

**В режиме удлинения КПД АШ-4 менее 0,2**





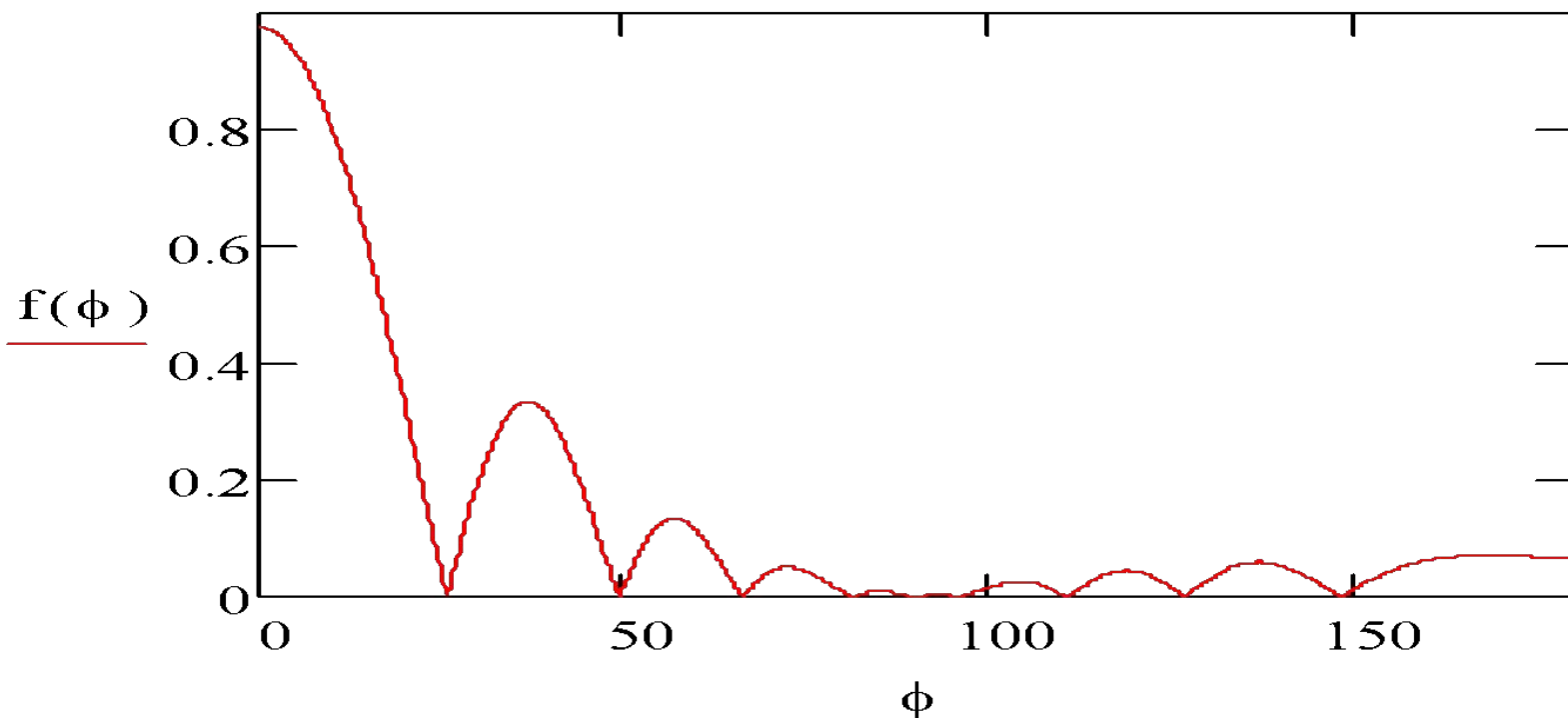
# КНД и КУ несимметричного вибратора





# ДН антенны ОБ

№20



$$f(\phi) := \left| \cos(\phi) \cdot \frac{\sin[\pi \cdot x \cdot (\xi - \cos(\phi))]}{\xi - \cos(\phi)} \right|$$