

Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова  
Кафедра Радиотехнических приборов и антенных систем

Отчёт  
по лабораторной работе №2  
«Волноводно-щелевые антенны»

Группа: ЭР-13-21  
Бригада №3  
Студента: Алдошин Е.А.  
Биккинйев И.Р.  
Кожевникова А.О.  
Кон Р.А.  
Преподаватель: Максимов Н.С.

Москва – 2024

Цель работы: изучить основные свойства линейных антенных решеток: выяснение влияния формы амплитудного распределения и распределения фазы возбуждения на основные параметры антенны, выявление условий возникновения в диаграммах направленности (ДН) побочных максимумов.

#### Домашняя подготовка

1) (Кожевникова А.О.) Рассчитать направления максимального излучения и ширину главного луча по половинной мощности для трех вариантов волноводно-щелевой антенны № 2 (рисунок 1). Расстояния между щелями  $d$  и число щелей  $N$  каждая бригада берет из табл. 2.1. В таблице приведена маркировка самих антенн.

1.1) Основные параметры антенны со смещенными продольными щелями.

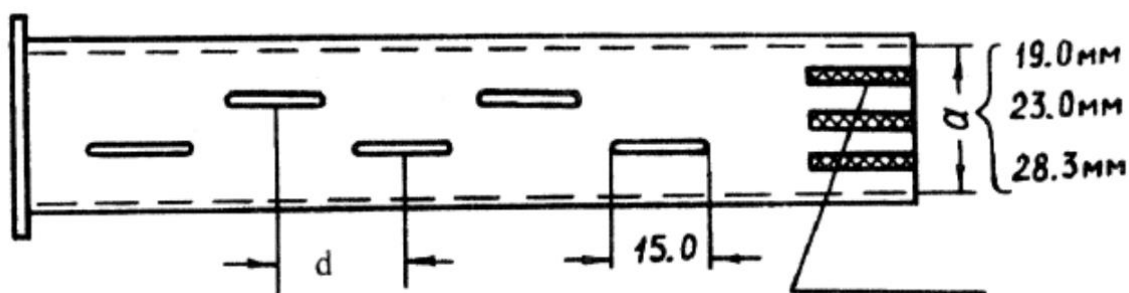


Рисунок 1 – Антенна со смещенными продольными щелями

Таблица 1 – Исходные данные антенны со смещенным продольными щелями

$N$	$d$ , мм	$\lambda$ , см	$a$ , мм			$\Delta$
5	19.5	3.2	19.5	23	28.3	0.4

Общую длину антенным найдем по формуле:

$$L = (N - 1) \cdot d = 0.078 \text{ м} = 78 \text{ мм}$$

Рассчитаем три антенны со смещенным продольными щелями, отличающимся друг от друга размером широкой стенки волновода (  $a$  параметр волновода).

Т.к. длина широкой стенки различается, то длина волны в волноводе у каждой антенны будет разной. Формула для расчёта длины волны волновода:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2 \cdot a}\right)^2}}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{\lambda}{\lambda_g} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_g}{2 \cdot d}\right)$$

Расчет направления главного максимума производится в соответствии с выражением:

$$\theta_{гл} = \arccos(\xi)$$

При этом ширина луча по половинной мощности определяется также приближенной формулой:

$$\Delta\theta_{0.5} \approx 51^\circ \cdot \frac{\lambda}{L \cdot \sin(\theta_{гл})} \cdot (1 + 0.636 \cdot \Delta^2)$$

где множитель  $51^\circ \cdot \frac{\lambda}{L \cdot \sin(\theta_{гл})}$  есть ширина основного луча линейного излучателя с равномерным амплитудным распределением и фазовым сдвигом между излучателями  $\Delta\Phi$ .

1.2) При длине широкой стенки волновода  $a = 19.5$  мм:

Длина волны в волноводе:

$$\lambda_g = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 19.5 \cdot 10^{-3}}\right)^2}} \approx 0.05598 \text{ м} = 5.598 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.05598} \cdot \left(1 - \frac{0.05598}{2 \cdot 19.5 \cdot 10^{-3}}\right) \approx -0.249$$

Расчет направления главного максимума производится в соответствии с выражением:

$$\theta_{\text{гл}} = \arccos(-0.249) \approx 104^\circ$$

При этом ширина луча по половинной мощности определяется также приближенной формулой:

$$\Delta\theta_{0.5} \approx 51^\circ \cdot \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.078 \cdot \sin(104^\circ)} \cdot (1 + 0.636 \cdot 0.4^2) \approx 22.8^\circ$$

1.3) При длине широкой стенки волновода  $a = 23$  мм:

Длина волны в волноводе:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 23 \cdot 10^{-3}} \right)^2}} \approx 0.0445 \text{ м} = 4.45 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.0445} \cdot \left( 1 - \frac{0.0445}{2 \cdot 19.5 \cdot 10^{-3}} \right) \approx -0.102$$

Расчет направления главного максимума производится в соответствии с выражением:

$$\theta_{\text{гл}} = \arccos(-0.102) \approx 96^\circ$$

При этом ширина луча по половинной мощности определяется также приближенной формулой:

$$\Delta\theta_{0.5} \approx 51^\circ \cdot \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.078 \cdot \sin(96^\circ)} \cdot (1 + 0.636 \cdot 0.4^2) \approx 23.17^\circ$$

1.4) При длине широкой стенки волновода  $a = 28.3$  мм:

Длина волны в волноводе:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 28.3 \cdot 10^{-3}} \right)^2}} \approx 0.0388 \text{ м} = 3.88 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.0388} \cdot \left( 1 - \frac{0.0388}{2 \cdot 19.5 \cdot 10^{-3}} \right) \approx -0.004$$

Расчет направления главного максимума производится в соответствии с выражением:

$$\theta_{\text{гл}} = \arccos(-0.004) \approx 89^\circ$$

При этом ширина луча по половинной мощности определяется также приближенной формулой:

$$\Delta\theta_{0.5} \approx 51^\circ \cdot \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.078 \cdot \sin(89^\circ)} \cdot (1 + 0.636 \cdot 0.4^2) \approx 23.05^\circ$$

$a = 19 \text{ мм}$		$a = 23 \text{ мм}$		$a = 28.3 \text{ мм}$	
$\theta_{\text{гл}}, ^\circ$	$\Delta\theta_{0.5}, ^\circ$	$\theta_{\text{гл}}, ^\circ$	$\Delta\theta_{0.5}, ^\circ$	$\theta_{\text{гл}}, ^\circ$	$\Delta\theta_{0.5}, ^\circ$
104	22.8	96	23.17	89	23.05

2) (Алдошин Е.А.) Рассчитать и построить зависимость ширины главного луча по половинной мощности  $\Delta\theta_{0.5}$  и уровня максимальных боковых лепестков УБЛ щелевой волноводной антенны № 1 (рисунок 2) в зависимости от величины  $\Delta$  ( $0 < \Delta < 1.0$  с шагом 0.25),  $N = 7, \lambda = 3,2 \text{ см}$ .

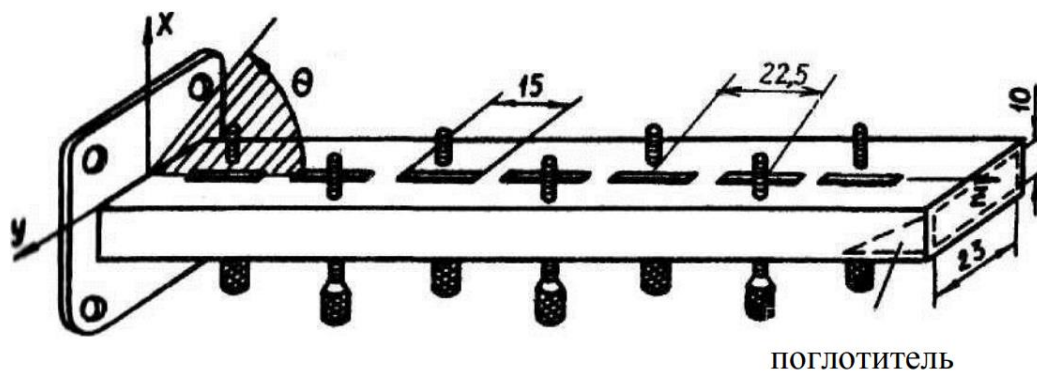


Рисунок 2 – Макет нерезонансной волноводно-щелевой антенны с продольными щелями, прорезанными посередине широкой стенки

Таблица 2 – Исходные данные нерезонансной волноводно-щелевой антенны с продольными щелями, прорезанными посередине широкой стенки

$N$	$d, \text{ мм}$	$\lambda, \text{ см}$	$a, \text{ мм}$
7	22.5	3.2	23

Так же как и в первом пункте домашней подготовки рассчитаем параметры антенны. Для начала определим длину волны в волноводе:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 23 \cdot 10^{-3}} \right)^2}} = 0.045 \text{ м} = 4.5 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

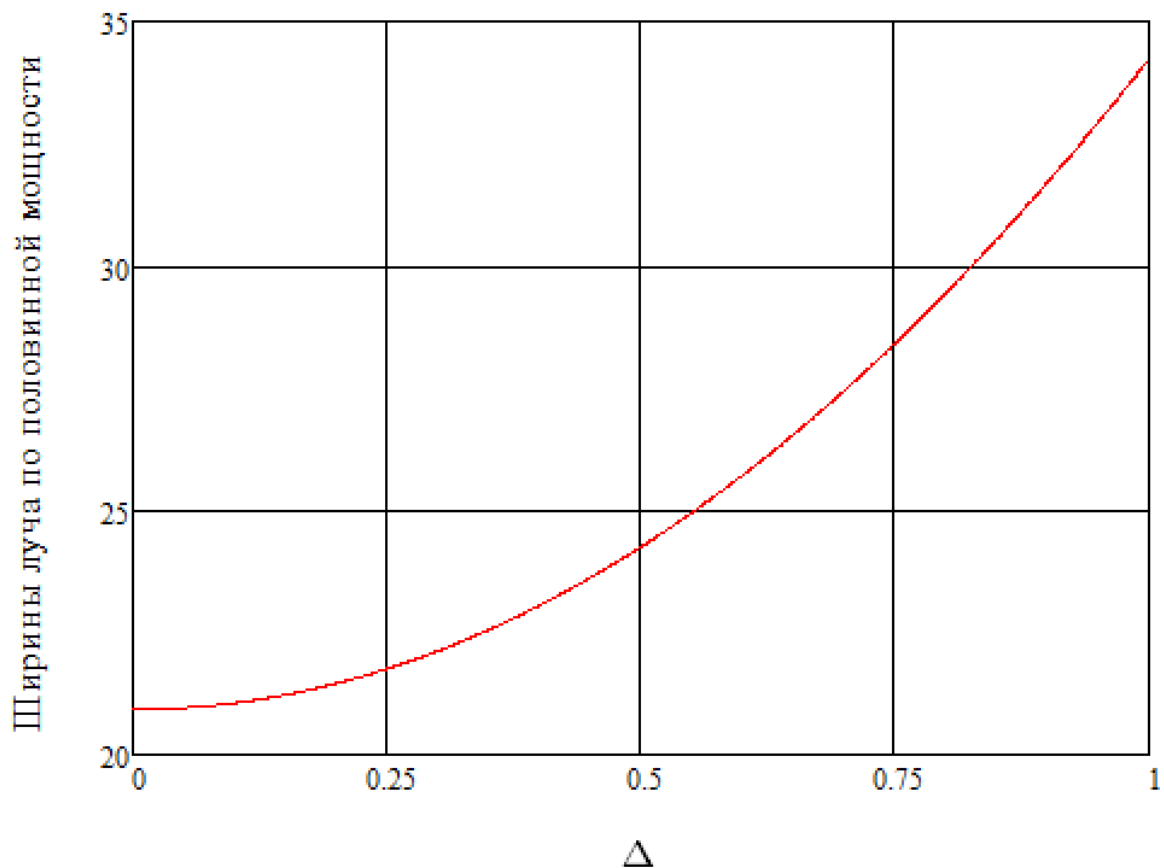
$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.045} \cdot \left( 1 - \frac{0.045}{2 \cdot 22.5 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.0073$$

Расчет направления главного максимума производится в соответствии с выражением:

$$\theta_{\text{гл}} = \arccos(0.0073) = 90^\circ$$

Зависимость ширины луча по половинной мощности от параметра  $\Delta$  будет выглядеть так:

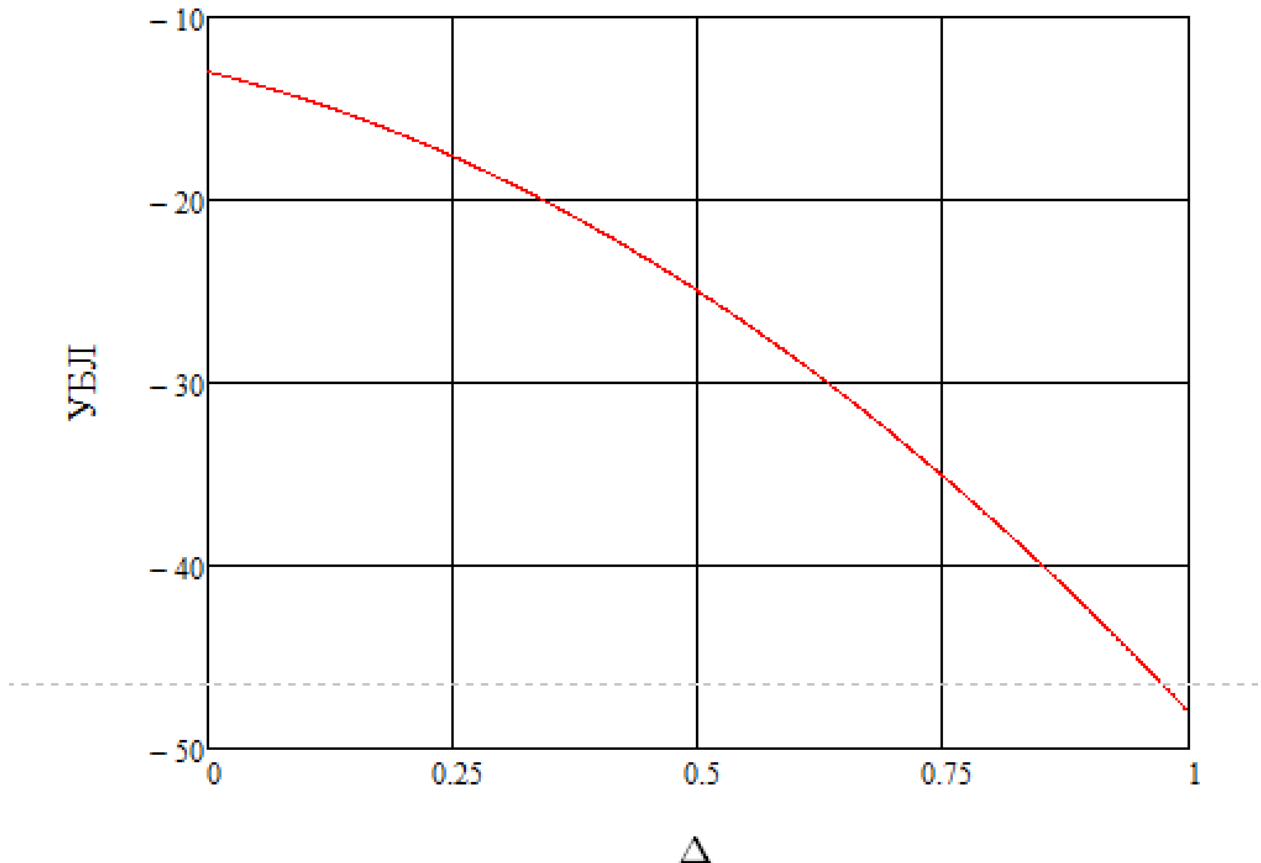
$$\Delta\theta_{0.5}(\Delta) \approx 51^\circ \cdot \frac{\lambda}{L \cdot \sin(90^\circ)} \cdot (1 + 0.636 \cdot \Delta^2)$$



*Рисунок 1 – Зависимость ширины луча по половинной мощности от параметра  $\Delta$*

Выражение для расчета УБЛ:

$$\text{УБЛ} \approx -[13 + 13 \cdot \Delta + 22 \cdot \Delta^2], \text{ дБ}$$



*Рисунок 2 – Зависимость УБЛ от параметра  $\Delta$*

3) (Биккинйев И.Р.) Рассчитать и построить в декартовых координатах нормированную диаграмму направленности в плоскости вектора  $\mathbf{H}$  антенны № 1 в случае равномерного возбуждения а) всех семи щелей ( $\Delta = 0$ ,  $d = 22,5$  мм), б) четырех щелей ( $\Delta = 0$ ,  $d = 45,0$  мм).

При равномерном распределении возбуждения и линейном изменении фазы множитель направленности линейной антенной решетки определяется выражением:

$$f_N(\theta) = \frac{\sin \left[ \frac{N \cdot k \cdot d}{2} \cdot (\cos(\theta) - \xi) \right]}{N \cdot \sin \left[ \frac{k \cdot d}{2} \cdot (\cos(\theta) - \xi) \right]}$$

Где  $k$  — это волновое число равное  $k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = 196.35$

ДН элементарного излучателя антенной решетки:

$$F_1(\theta) = \frac{\cos \left[ \frac{\pi}{2} \cdot \cos(\theta) \right]}{\sin(\theta)}$$

ДН антенной решетки находится, как произведение множителя направленности линейной антенной решетки и ДН элементарного излучателя:

$$F_{AP}(\theta) = f_N(\theta) \cdot F_1(\theta)$$

3.2) Построим ДН элементарного излучателя при  $N = 7, d = 22.5$  мм

Длина волны в волноводе:

$$\lambda_g = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left( \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{23 \cdot 10^{-3}} \right)^2}} \approx 0.0455 \text{ м} = 4.55 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.0455} \cdot \left( 1 - \frac{0.0455}{2 \cdot 22.5 \cdot 10^{-3}} \right) \approx 0.0073$$

$$f_N(\theta) = \frac{\sin \left[ \frac{7 \cdot 196.35 \cdot 22.5 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (\cos(\theta) - 0.0073) \right]}{7 \cdot \sin \left[ \frac{196.35 \cdot 22.5 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (\cos(\theta) - 0.0073) \right]}$$



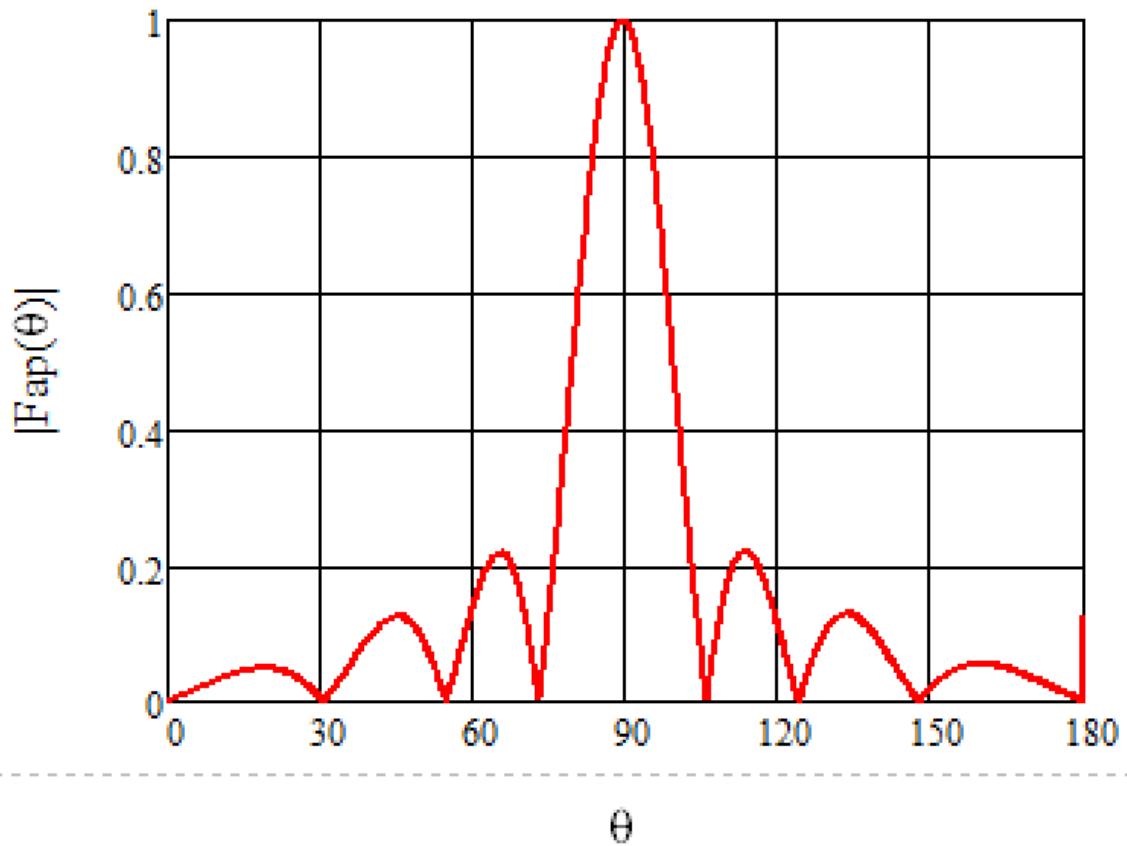


Рисунок 3 – ДН антенной решетки из семи щелей в плоскости  $H$  при  $d = 45$  мм

3.3) Построим ДН элементарного излучателя при  $N = 4, d = 45$  мм

Длина волны в волноводе:

$$\lambda_g = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{23 \cdot 10^{-3}}\right)^2}} \approx 0.0455 \text{ м} = 4.55 \text{ см}$$

Коэффициент замедления фазовой скорости возбуждения:

$$\xi = \frac{3.2 \cdot 10^{-2}}{0.0455} \cdot \left(1 - \frac{0.0455}{2 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}\right) \approx 0.363$$

$$f_N(\theta) = \frac{\sin \left[ \frac{4 \cdot 196.35 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (\cos(\theta) - 0.363) \right]}{4 \cdot \sin \left[ \frac{196.35 \cdot 45 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot (\cos(\theta) - 0.363) \right]}$$

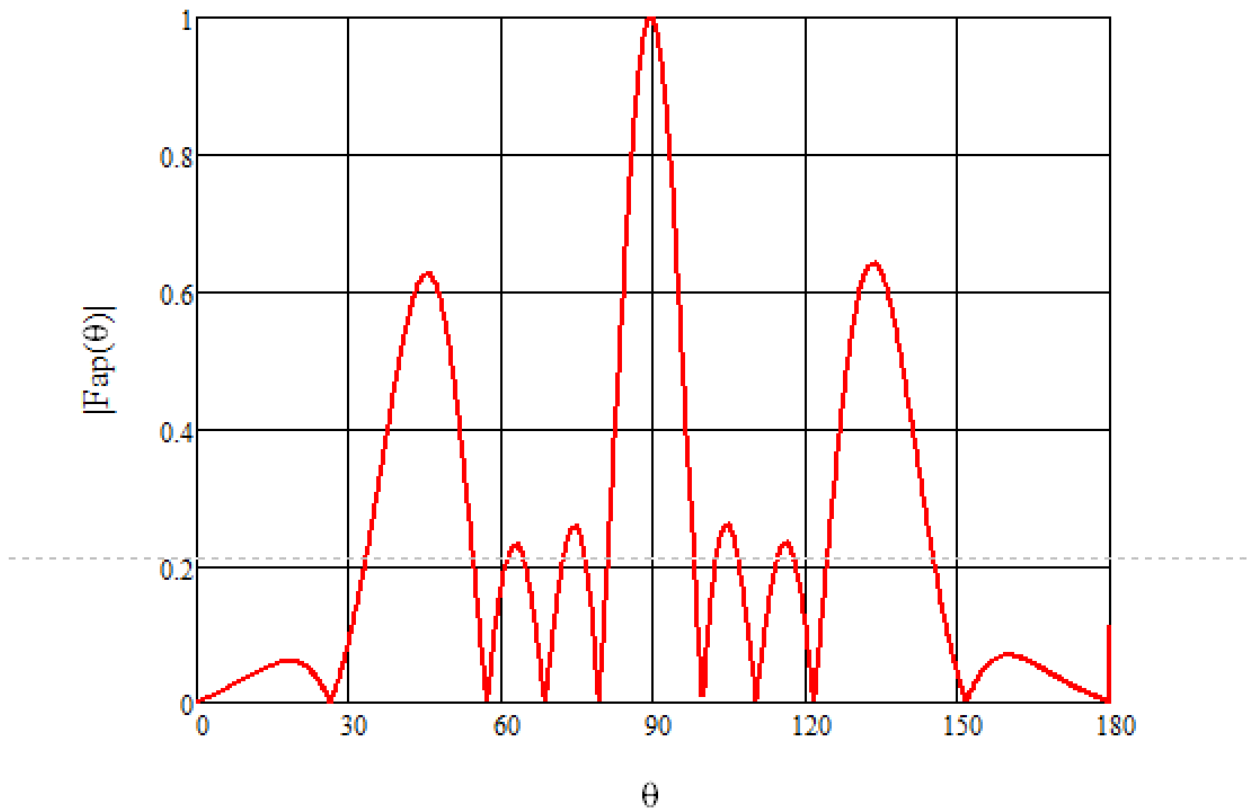


Рисунок 6 – ДН антенной решетки из семи щелей в плоскости  $H$  при  $d = 45$  мм

4) (Кон Р.А.) Рассчитать амплитуды возбуждения щелей антенной решетки (антенна № 1) для одного значения  $\Delta$ .

Выражение для расчета возбуждения щелей антенной решетки:

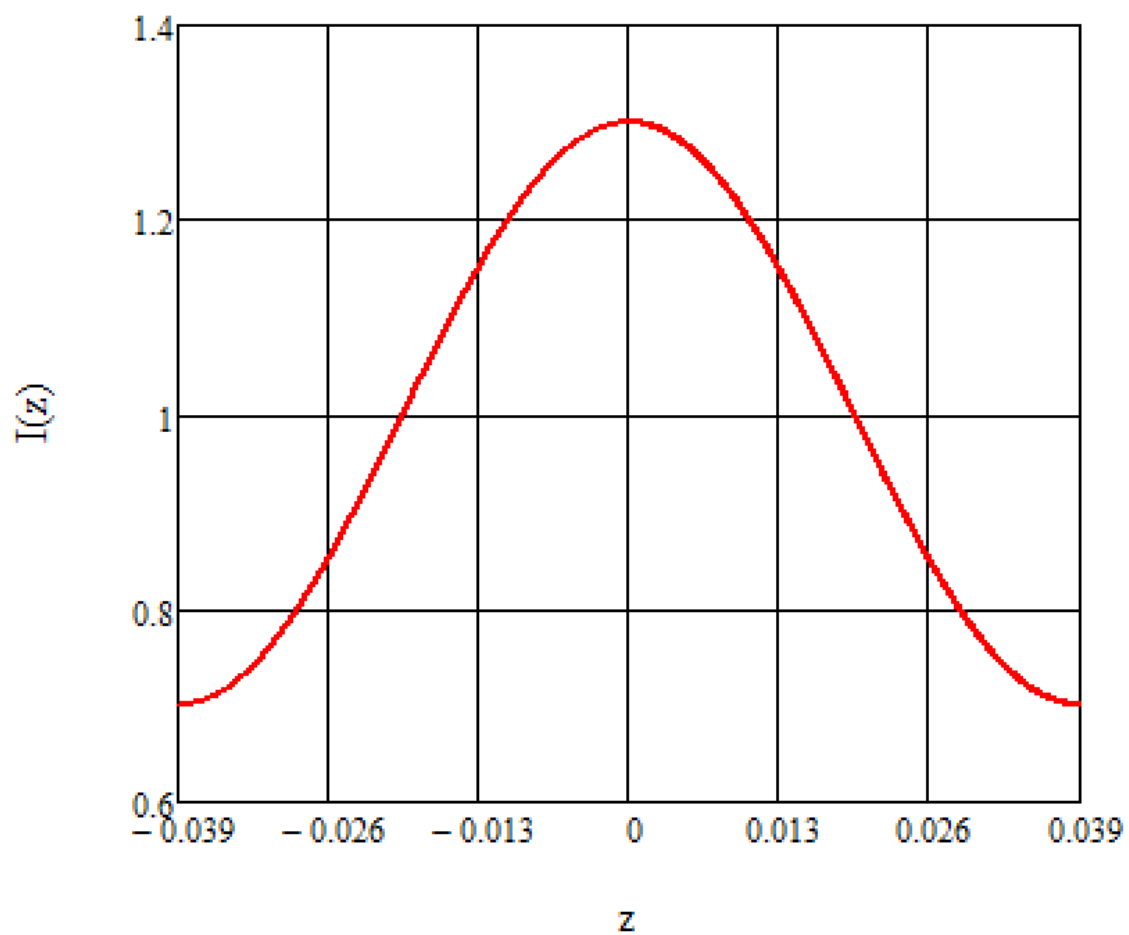
$$I(z) = 1 + \Delta \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{z}{L}\right), \quad -\frac{L}{2} \leq z \leq \frac{L}{2}$$

В случае исследования антенны на рисунке 2:  $N = 7$   $d = 22.5$  мм

$$L = (N - 1) \cdot d = 6 \cdot 22.5 \cdot 10^{-3} = 0.135 \text{ (м)}, \quad \frac{L}{2} = 0.0675 \text{ (м)}$$

Тогда амплитуда возбуждения щелей антенной решетки:

$$I(z) = 1 + 0.4 \cos\left(\frac{2\pi z}{0.135}\right), \quad -\frac{0.0675}{2} \leq z \leq \frac{0.0675}{2}$$



*Рисунок 7 – Зависимость амплитуды возбуждения щелей антенной решетки от продольной координаты  $z$*