



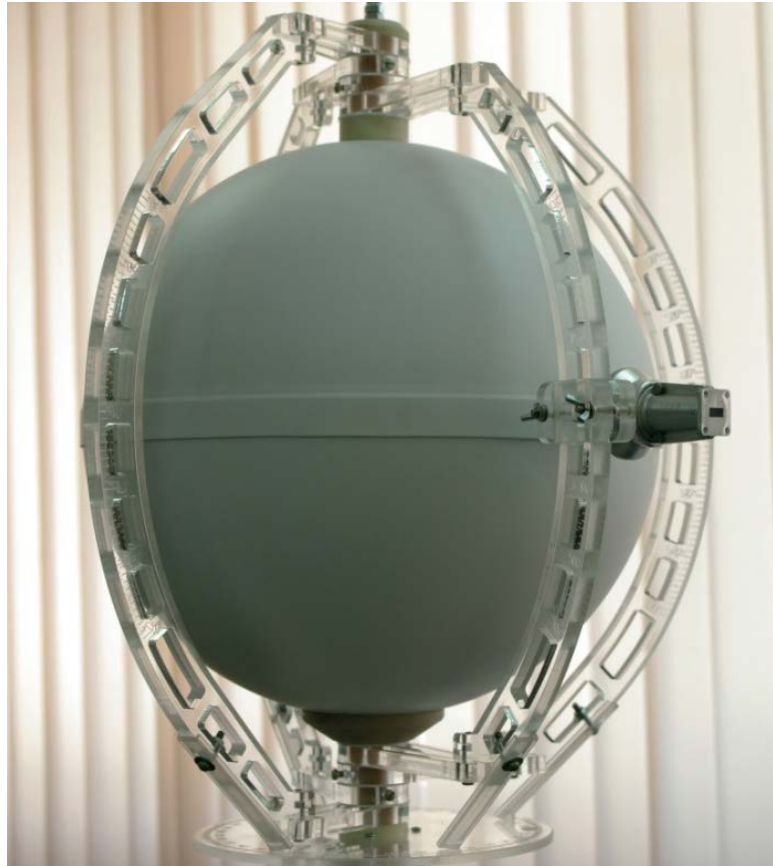
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# Линзовые структуры для формирования многолучевых антенн с пространственным сканированием

Г. К. Усков, С.П. Скулкин, Н.И. Кащеев

# Примеры линз Люнеберга



# Диэлектрическая проницаемость новой структуры

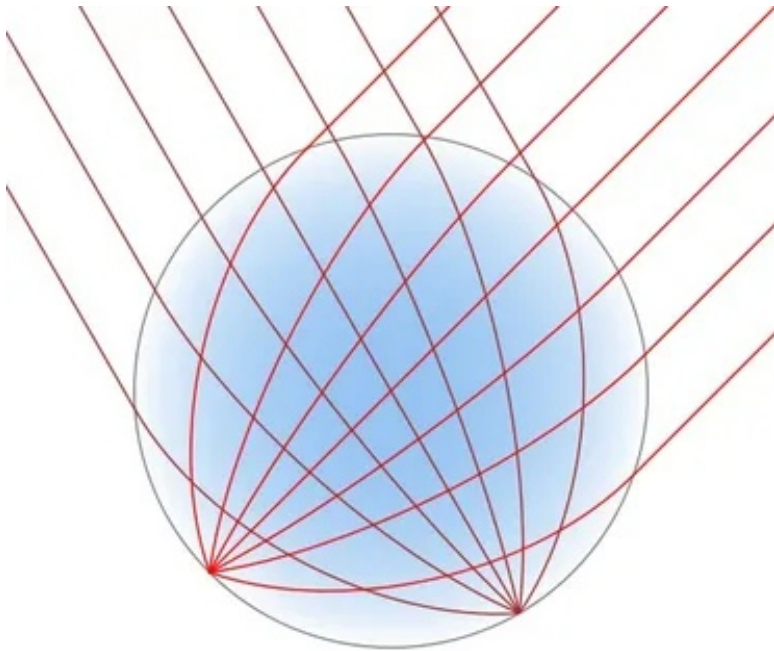


Рис. 1. Схематический рисунок линзы Люнеберга

$$\varepsilon(r) = (n(r))^2 = 2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = x'(x) \\ y = y'(y) \end{cases} \quad (2)$$

$$\varepsilon^{i',j'} = \varepsilon^{i,j} \Lambda_i^{i'} \Lambda_j^{j'} \det(\Lambda_i^{i'})^{-1} \quad (3)$$

$$\mu^{i',j'} = \mu^{i,j} \Lambda_i^{i'} \Lambda_j^{j'} \det(\Lambda_i^{i'})^{-1} \quad (4)$$

$$\Lambda_i^{i'} = \frac{\partial x_{i'}}{\partial x_j} \quad (5)$$

$$\mathbf{K}(x, y) = \frac{1}{2} \left( K + \frac{1}{K} \right) = \frac{\text{tr}(\Lambda^T \Lambda)}{2|\Lambda|} \geq 1, \quad (6)$$

# Плоская линза Люнеберга

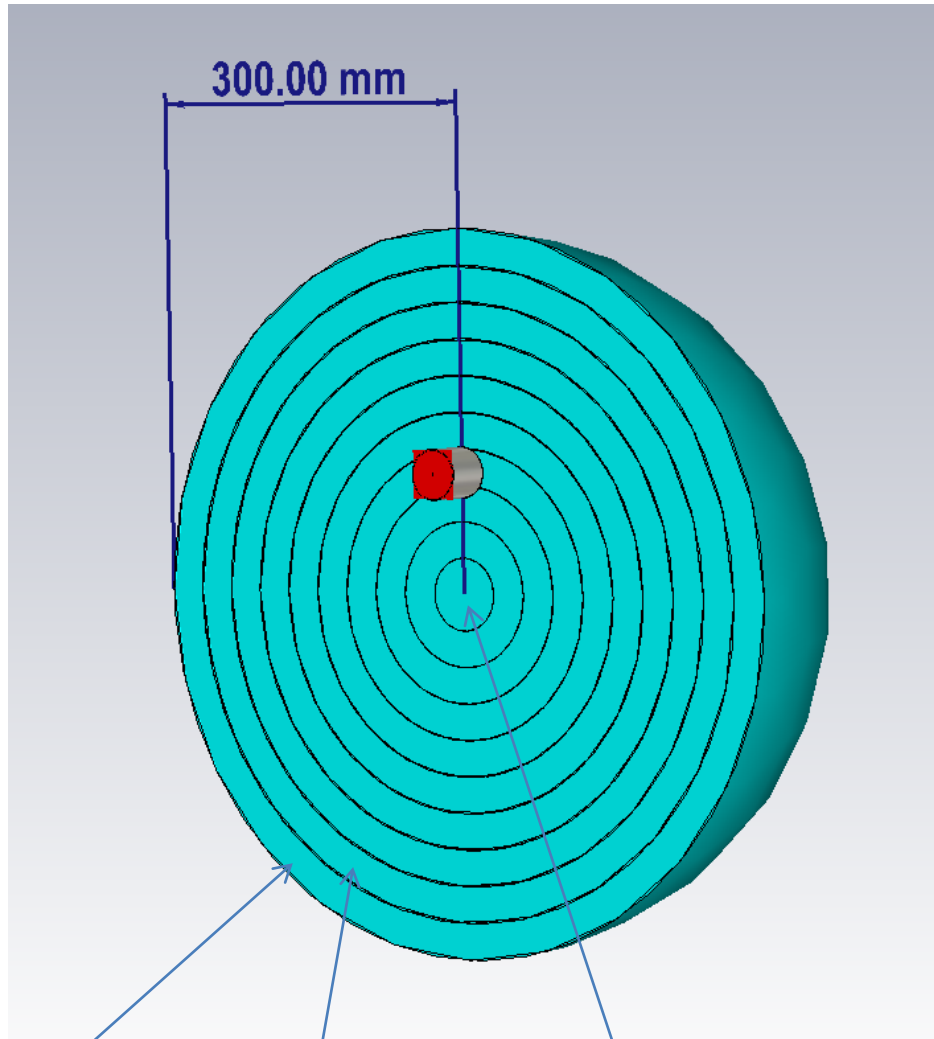


Рис. 2 плоская линза Люнеберга

$\varepsilon_1 = 1,097 \quad \varepsilon_2 = 1,275 \dots \quad \varepsilon_{10} = 1,9975$

$$\begin{cases} x' = \frac{1}{2} (x + \sqrt{1 - y^2}) \\ y' = y \\ z' = z \end{cases} \quad (7)$$

$$\hat{\varepsilon}' = \varepsilon \begin{pmatrix} 2 \left( \frac{1}{4} + \frac{y^2}{4(1-y^2)} \right) & -\frac{y}{\sqrt{1-y^2}} & 0 \\ -\frac{y}{\sqrt{1-y^2}} & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

$$\hat{\varepsilon}'' = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon_L \cdot \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi_M}, & \varphi \leq \varphi_M \\ \varepsilon_L, & \varphi > \varphi_M \end{cases} \quad (10)$$

# Плоская линза Лüneберга

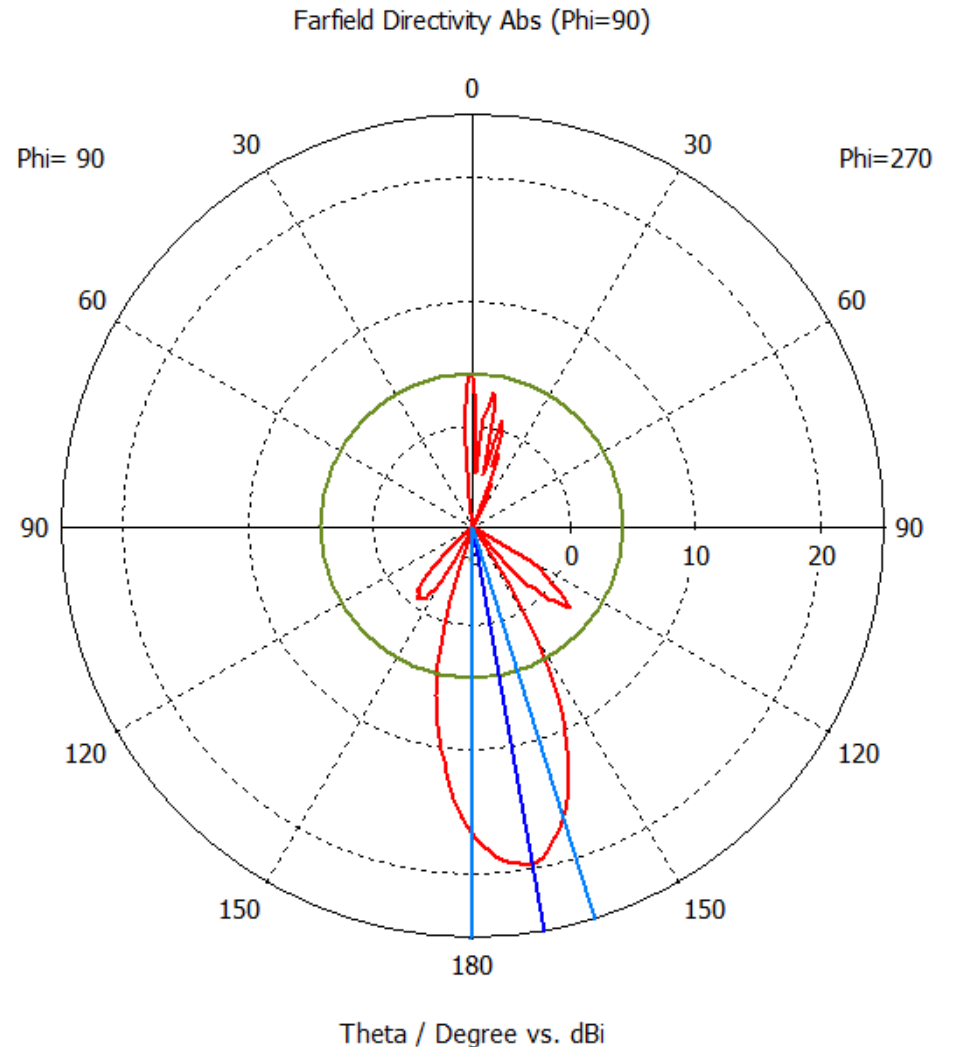
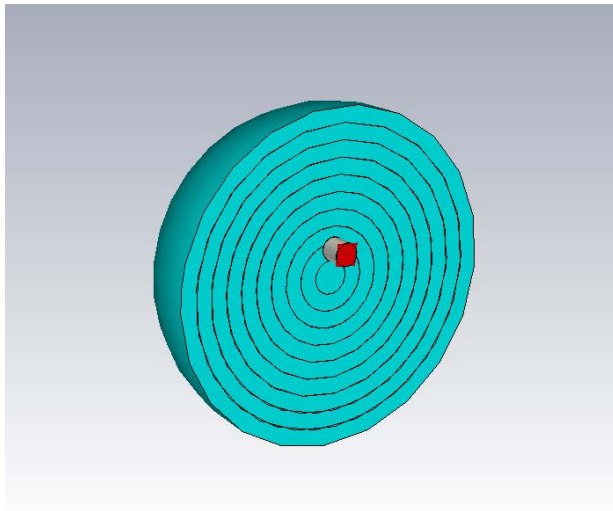


Рис. 3 Диаграмма направленности плоской линзы Лüneберга для случая расположения волновода  $2 \cdot r_{\text{mal}}$

# Плоская линза Люнеберга

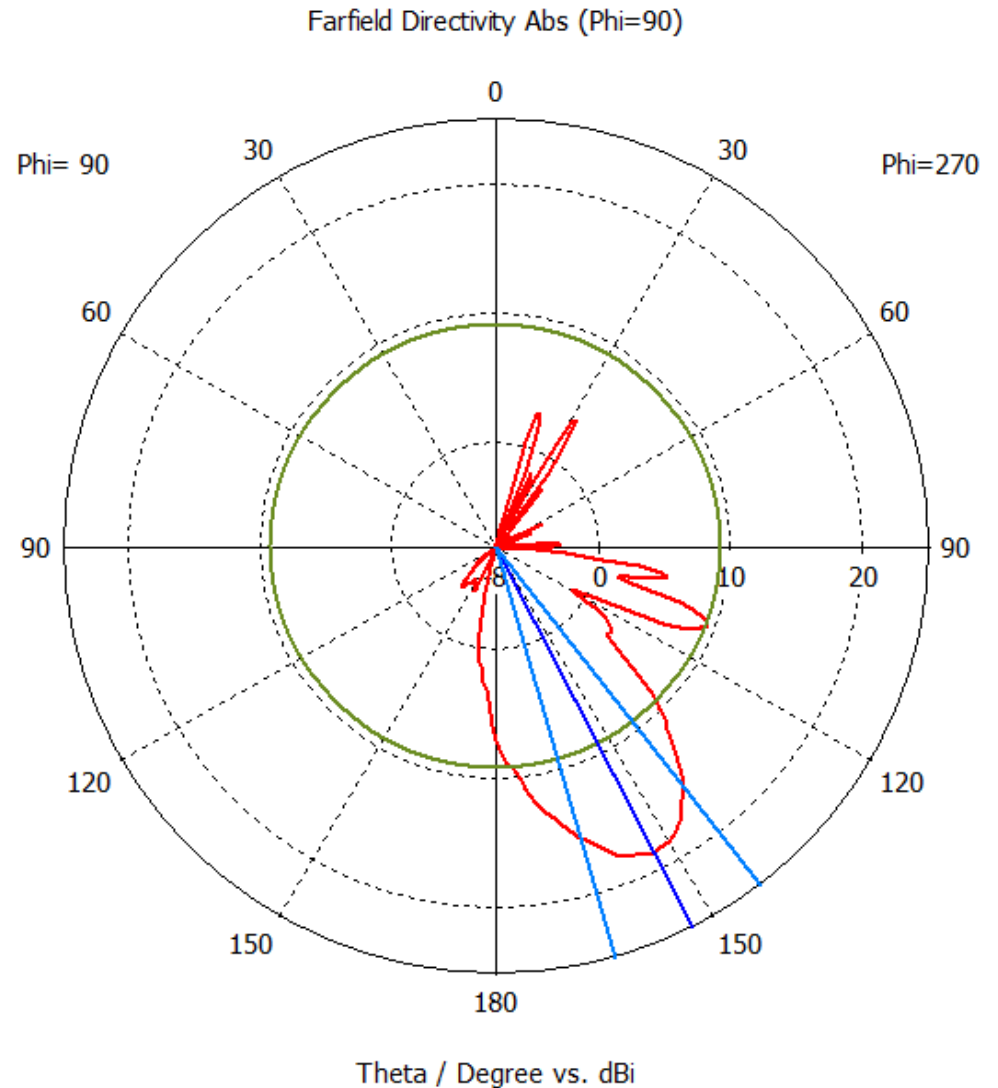
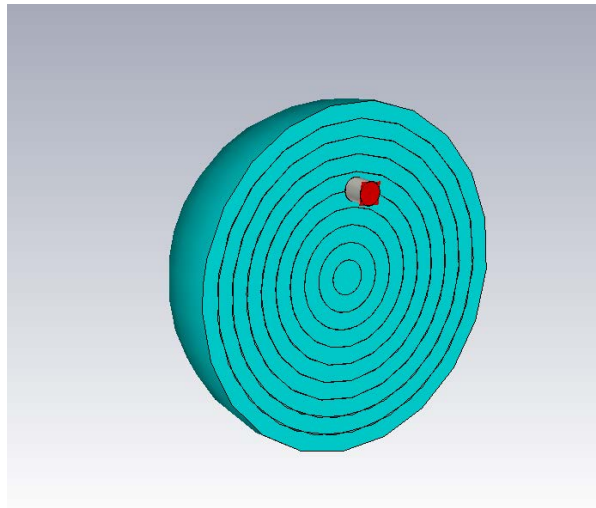


Рис. 4 Диаграмма направленности плоской линзы Люнеберга для случая расположения волновода  $3 \cdot r_{\text{mal}}$

# Плоская линза Люнеберга

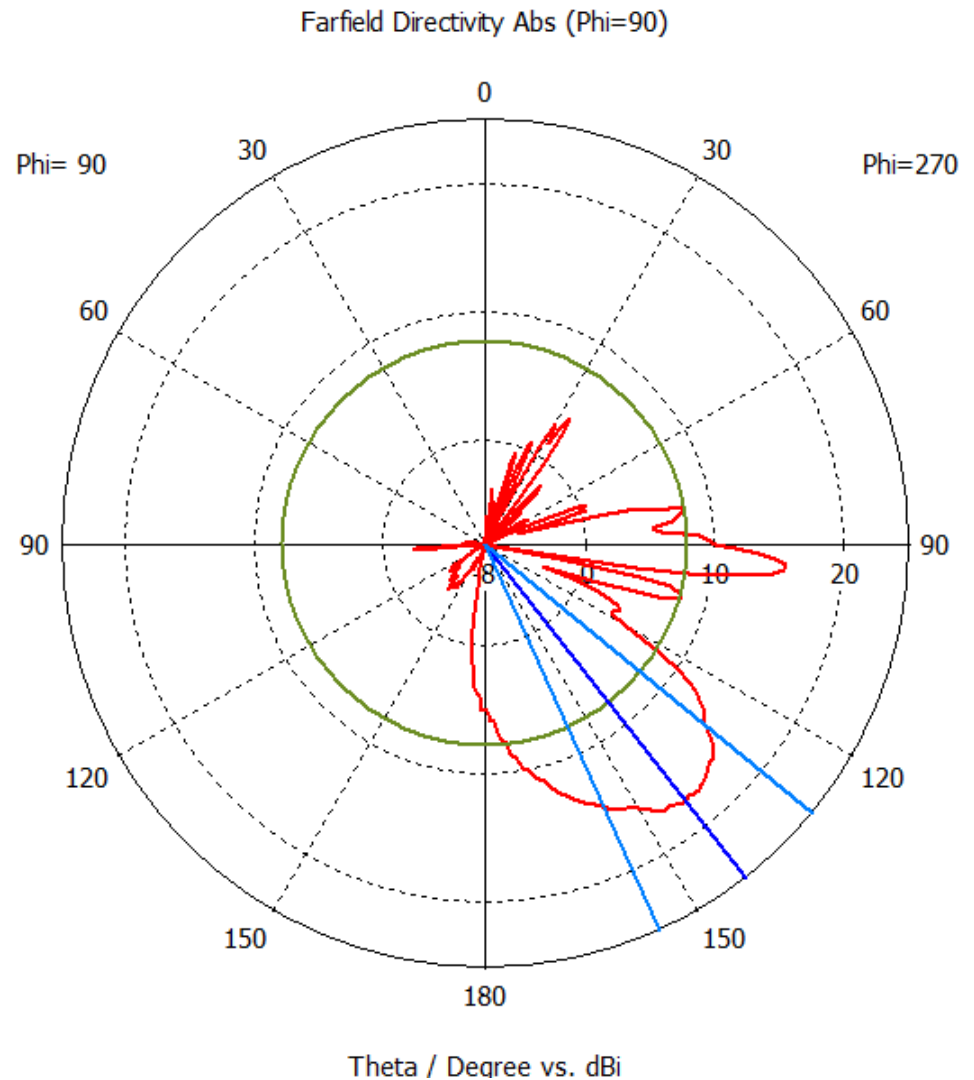
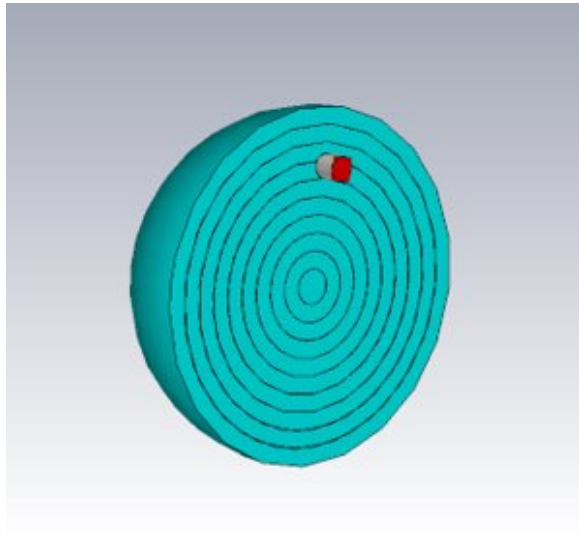


Рис. 5 Диаграмма направленности плоской линзы Люнеберга для случая расположения волновода  $4 \cdot r_{\text{mal}}$

# Схематичный рисунок «улучшенной линзы Люнеберга»

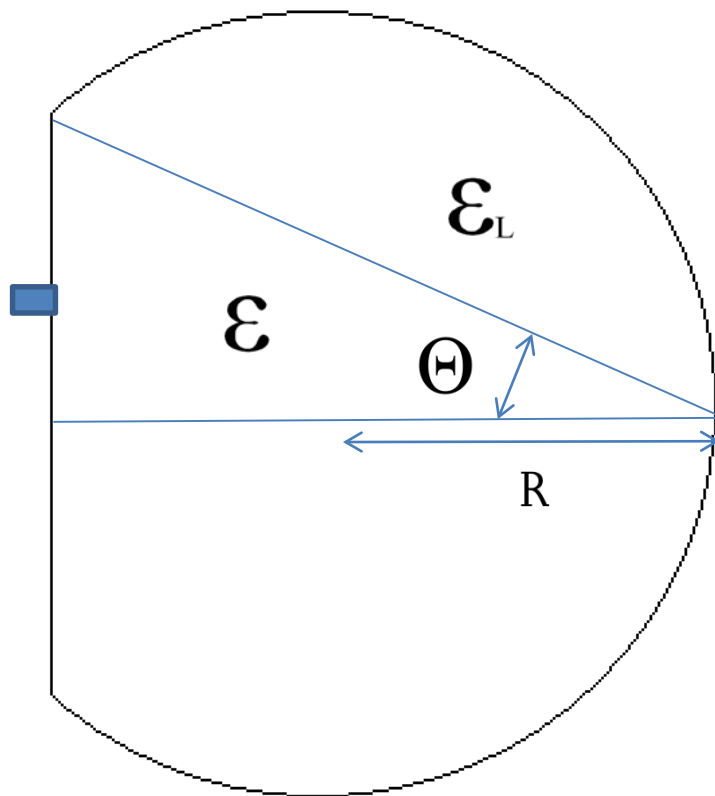


Рис. 6 Схема улучшенной линзы Люнеберга

$$\varepsilon_L = \left( 2 - \left( \frac{r_{mal}}{R} \right)^2 \right) \quad (11)$$

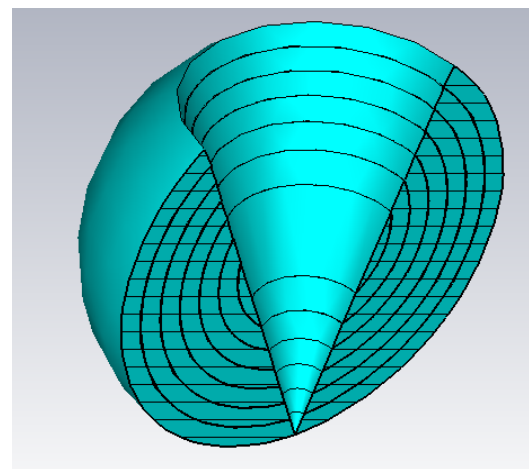


Рис. 7 Модель внешней части улучшенной линзы Люнеберга

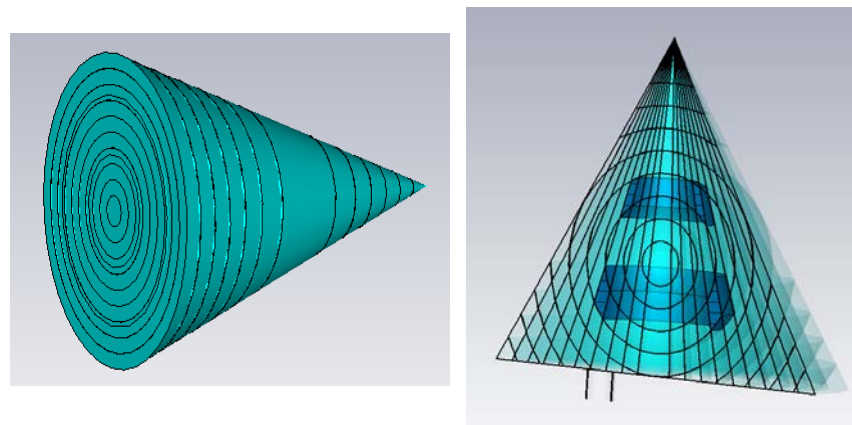


Рис. 8 Модель внутренней части улучшенной линзы Люнеберга

$$\varepsilon = \left( 2 - \left( \frac{r_{mal}}{R} \right)^2 \right) * \left( \frac{\cos \frac{\varphi}{Ni}}{\cos \theta} \right)^2 \quad (12)$$



# Сравнение диаграмм направленности для плоской и улучшенной линзы Люнеберга (при $r_{\text{mal}}=1/3$ )

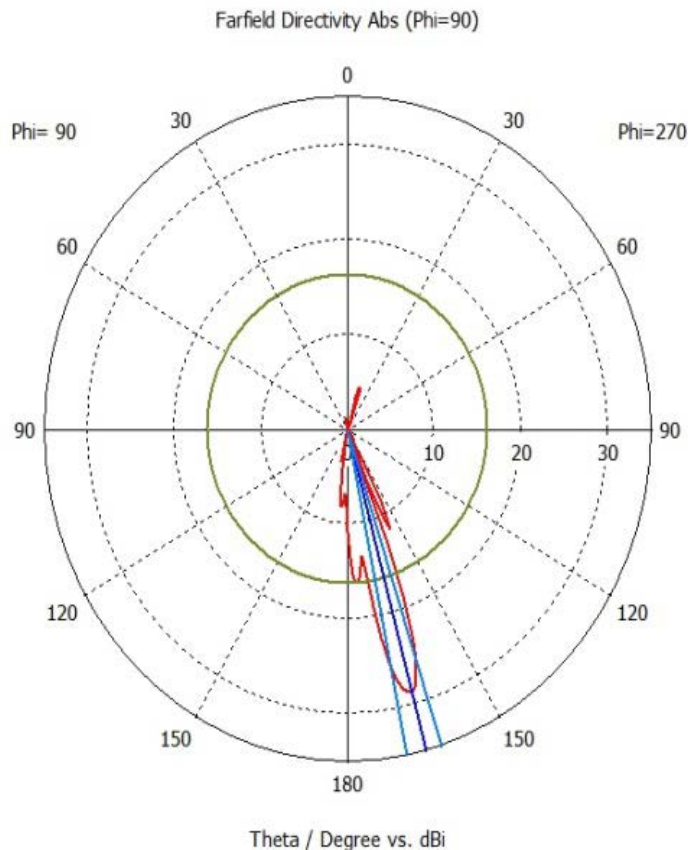


Рис. 12 ДН улучшенной линзы  
для случая угла среза 20

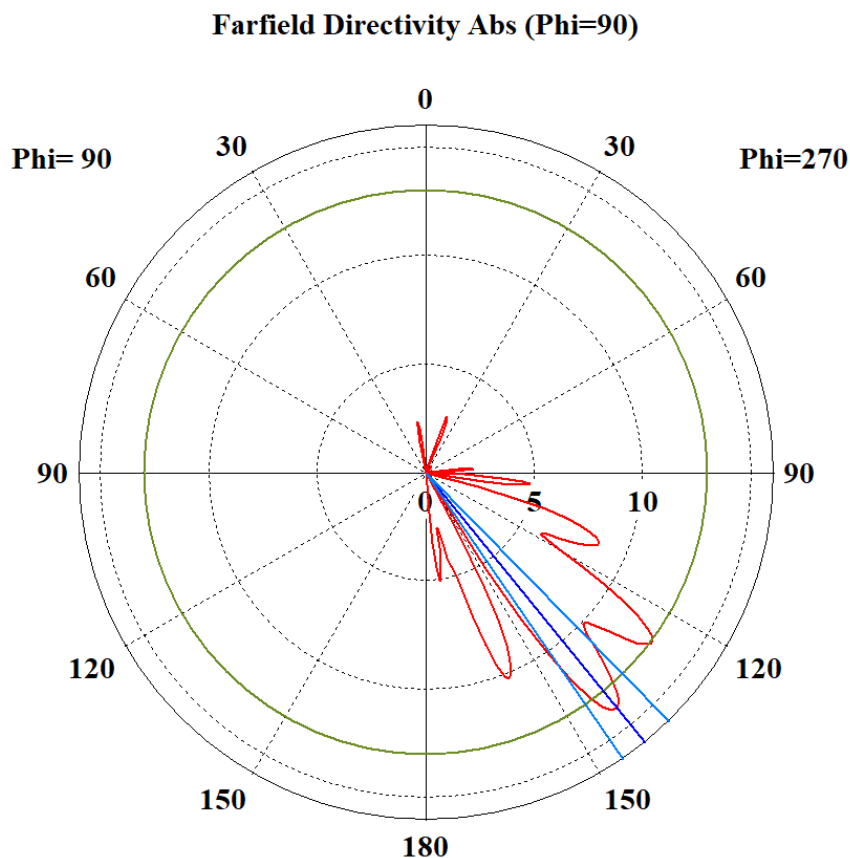


Рис. 13 ДН улучшенной линзы  
для случая угла среза 45

# Сравнение диаграмм направленности для плоской и улучшенной линзы Люнеберга (при $r_{\text{mal}}=1/2$ )

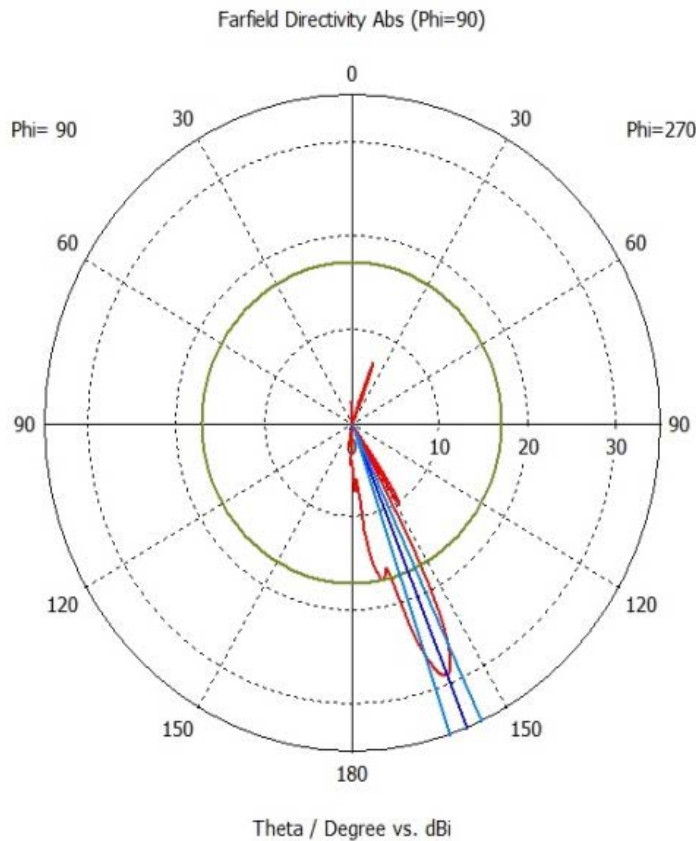


Рис. 14 ДН улучшенной линзы  
для случая угла среза 20

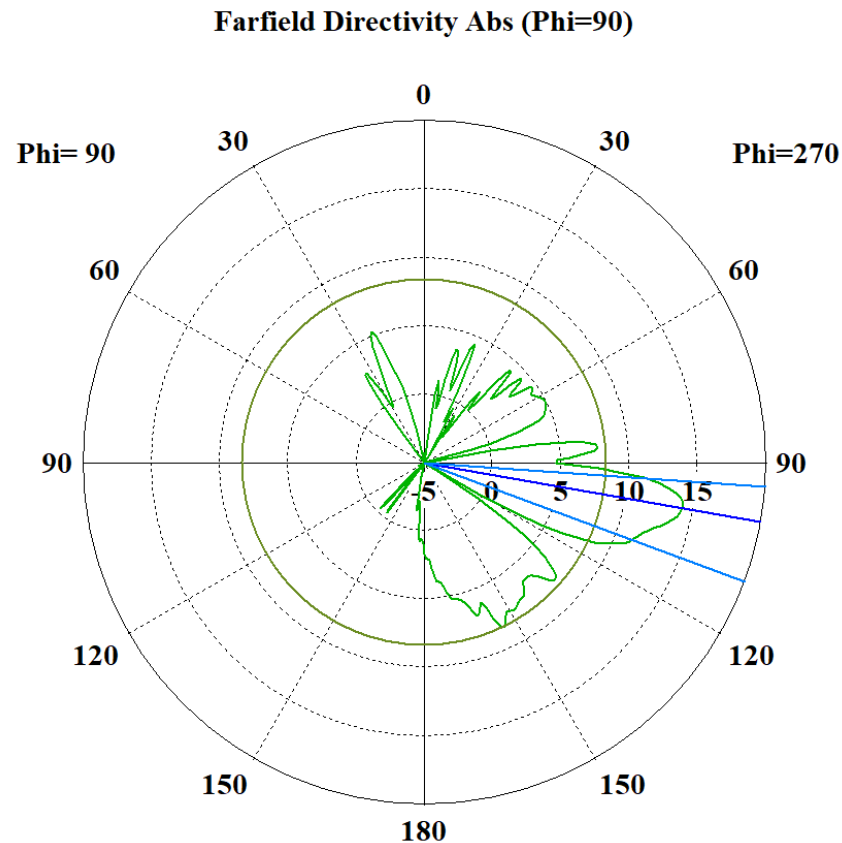


Рис. 15 ДН улучшенной линзы  
для случая угла среза 45

## **Выводы:**

- выведена формула для распределения диэлектрической новой «улучшенной линзы» Люнеберга
- реализован алгоритм создания модели «улучшенной линзы» Люнеберга
- промоделированы различные случаи угла среза линзы и приведены диаграммы направленности антенны

Результаты исследований приведены в следующих работах:

1. Бобрешов А.М., Усков Г.К., Лазарев А.В., Киселев А.Ю. Синтез линзы Люнеберга с плоской поверхностью с использованием квазиконформных оптических преобразований // Физика волновых процессов и радиотехнические системы 2020. Т.23, №4. С.68-73
2. Бобрешов А.М., Усков Г.К. Лазарев А.В. Киселев А.Ю. Синтез линзы Люнеберга с плоской поверхностью с использованием метода квазиконформных оптических преобразований // Радиолокация, навигация, связь: XXVI Международная научно-техническая конференция. 2020. Т. 5. С.194-199

**Спасибо за внимание!**