

РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ

Факультет физико-математических и естественных наук

Кафедра теории вероятностей и кибербезопасности

ОТЧЕТ

ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №2

дисциплина: Построение и анализ моделей беспроводных сетей 5G/6G

Студент: Быстров Глеб Андреевич

Группа: НФИмд-01-24

Преподаватель: Бегишев Вячеслав Олегович

МОСКВА

2024 г.

Цель работы:

Изучить и сравнить различные аналитические модели антенных решеток, включая модель без потерь и модель с потерями, для анализа их усиления. Оценить зависимости усиления от угла направленности антенны и количества антенных элементов, а также выявить основные различия между моделями с точки зрения их применения в сетях беспроводной связи. Сделать выводы о точности и реалистичности моделей в контексте прикладных исследований.

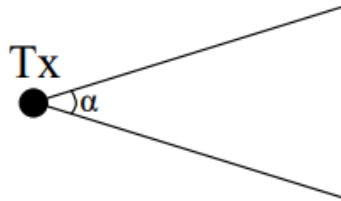
Список сокращений:

- G – коэффициент усиления основного луча антенны,
- α – угол направленности антенны.
- G_1 – коэффициент усиления основного луча антенны
- G_2 – коэффициент усиления бокового излучения антенны
- k – коэффициент потерь на боковые лепестки

Выполнение работы

Усиление антенной решетки

1. Используя упрощенную аналитическую модель вида конус для антенной решетки, постройте график зависимости усиления антенны от угла направленности антенной решетки.



$$G = \frac{2}{1 - \cos(\alpha/2)}.$$

где G – коэффициент усиления основного луча антенны, α – угол направленности антенны.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def convert_to_db(value):
    return 10 * np.log10(value)

angle_range = np.arange(-np.pi, np.pi, np.pi / 8)

def gain_model(alpha):
    return 2 / (1 - np.cos(alpha / 2))

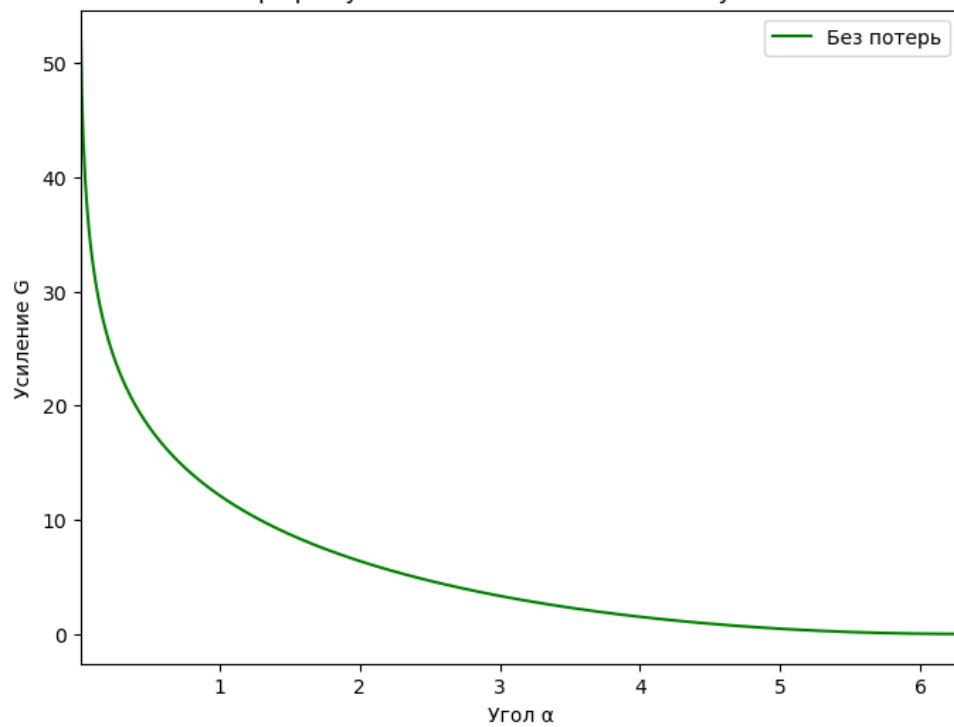
plt.figure(dpi=120)
plt.polar(angle_range, [gain_model(angle) for angle in angle_range], color='green', label='Без потерь')
plt.title('Модель вида конус')
plt.legend()
plt.show()

alpha_values = np.linspace(0.01, 2 * np.pi, 1000)
gain_values = [gain_model(alpha) for alpha in alpha_values]

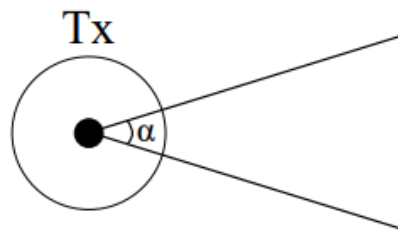
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(alpha_values, [convert_to_db(g) for g in gain_values], color='green', label='Без потерь')
plt.title("График усиления G в зависимости от угла α")
plt.xlabel("Угол α")
plt.ylabel("Усиление G")
plt.xlim(alpha_values[0], alpha_values[-1])
plt.legend()
plt.show()
```



График усиления G в зависимости от угла α



2. Используя упрощенную аналитическую модель вида конус плюс сфера для антенной решетки, постройте график зависимости усиления антенны от угла направленности антенной решетки для различных коэффициентов потерь $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.1$ и $k_3 = 0.2$.



$$\begin{cases} G_1 = 2[(1 - \cos(\alpha/2)) + k(1 + \cos(\alpha/2))]^{-1} \\ G_2 = kG_1. \end{cases}$$

где G_1 – коэффициент усиления основного луча антенны, G_2 – коэффициент усиления бокового излучения антенны, k – коэффициент потерь на боковые лепестки, α – угол направленности антенны.

3. В чем основная разница между моделями с точки зрения моделирования сетей беспроводной связи?

```
def calculate_gain_with_losses(alpha, loss_factor):
    primary_beam = 2 * ((1 - np.cos(alpha / 2)) + loss_factor * (1 + np.cos(alpha / 2))) ** -1
    side_lobes = loss_factor * primary_beam
    return primary_beam, side_lobes

angle_range_losses = np.arange(-2 * np.pi, 2 * np.pi, np.pi / 36)

loss_factors = [0.01, 0.1, 0.2]
for loss_factor in loss_factors:
    plt.figure(dpi=120)
    gains = calculate_gain_with_losses(angle_range_losses, loss_factor)
    plt.polar(angle_range_losses, gains[0], color='green', label='Основной лепесток')
    plt.polar(angle_range_losses, gains[1], color='red', label='Боковые лепестки')
    plt.title(f'Модель с потерями: k={loss_factor}')
    plt.legend()
    plt.show()
```



Модель с потерями: $k=0.1$



Модель с потерями: $k=0.2$



```

alpha_values = np.linspace(0.01, 2 * np.pi, 1000)

gain_without_losses = [gain_model(alpha) for alpha in alpha_values]
gains_main_lobe = {k: [] for k in loss_factors}
gains_side_lobe = {k: [] for k in loss_factors}

for alpha in alpha_values:
    for k in loss_factors:
        primary, side = calculate_gain_with_losses(alpha, k)
        gains_main_lobe[k].append(primary)
        gains_side_lobe[k].append(side)

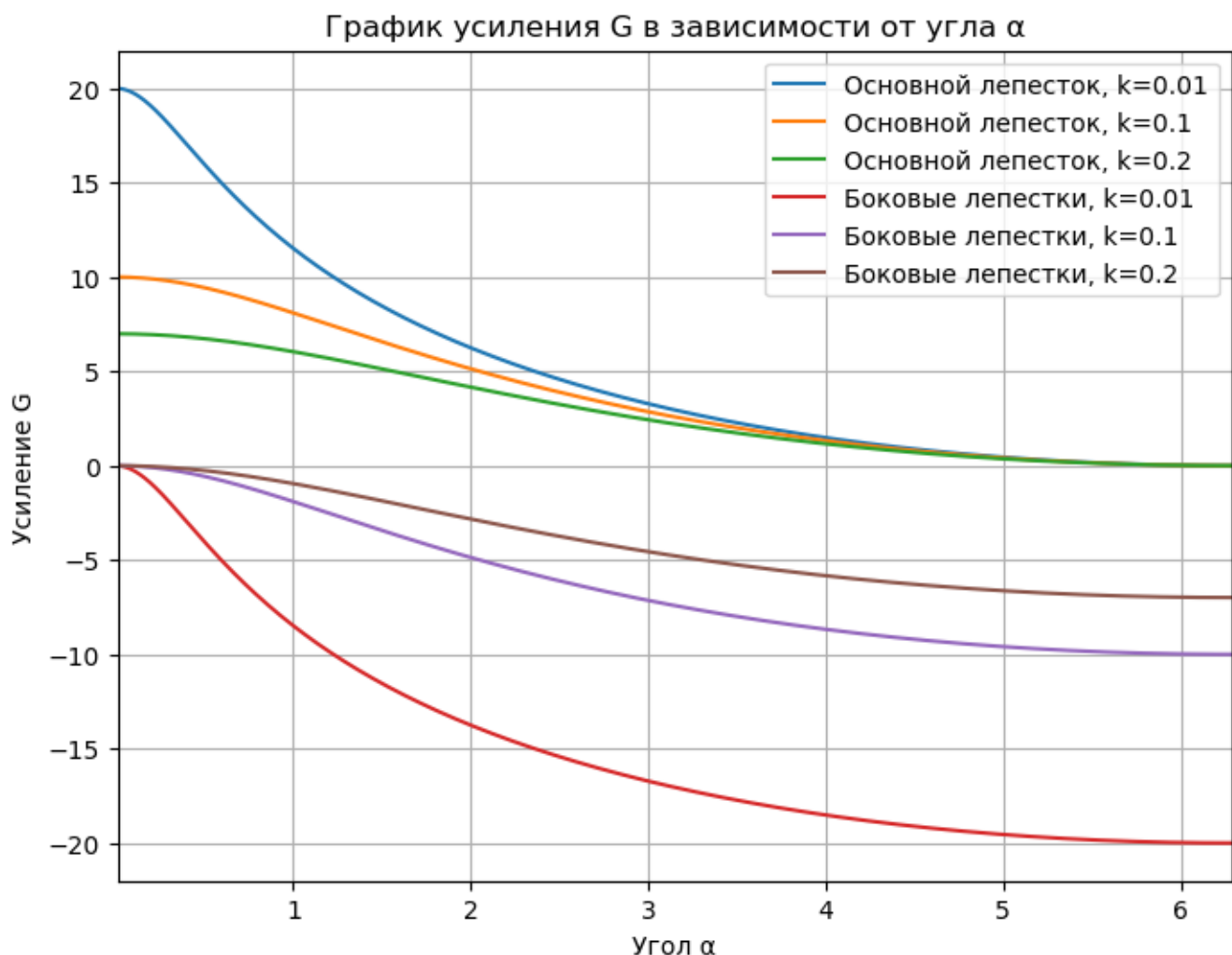
plt.figure(figsize=(8, 6))

for k in loss_factors:
    plt.plot(alpha_values, [convert_to_db(g) for g in gains_main_lobe[k]],
             label=f'Основной лепесток, k={k}')

for k in loss_factors:
    plt.plot(alpha_values, [convert_to_db(g) for g in gains_side_lobe[k]],
             label=f'Боковые лепестки, k={k}')

plt.title("График усиления G в зависимости от угла  $\alpha$ ")
plt.xlabel("Угол  $\alpha$ ")
plt.ylabel("Усиление G")
plt.xlim(alpha_values[0], alpha_values[-1])
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```



Основная разница между моделями заключается в учёте потерь сигнала. Модель без потерь описывает идеализированную антенну, где усиление зависит только от угла направления антенны. Она подходит для анализа в теоретических условиях, где

помехи игнорируются, и вся энергия сосредоточена в главном лепестке. Модель с потерями более сложная, так как учитывает коэффициент потерь, описывающий утечку энергии в боковые лепестки и ослабление сигнала. Эта модель реалистичнее, поскольку позволяет анализировать работу антенны в реальных условиях беспроводной связи, где присутствуют помехи и многолучевое распространение.

Зависимость от числа антенных элементов

4. Постройте график зависимости усиления основного луча антенной решетки от количества антенных элементов для двух моделей, приведенных выше.

$$\alpha \approx 102^\circ/N$$

где α – угол направленности антенны, N – число антенных элементов.

5. Сделайте выводы об использовании различных моделей антенных решеток в прикладных исследованиях. Какая является более точно и реалистичной?

```
N_values = np.arange(1, 101, 1)

gain_without_losses = []
gains_main_lobe = {k: [] for k in loss_factors}
gains_side_lobe = {k: [] for k in loss_factors}

for N in N_values:
    alpha = np.radians(102 / N)
    gain_without_losses.append(gain_model(alpha))
    for k in loss_factors:
        primary, side = calculate_gain_with_losses(alpha, k)
        gains_main_lobe[k].append(primary)
        gains_side_lobe[k].append(side)

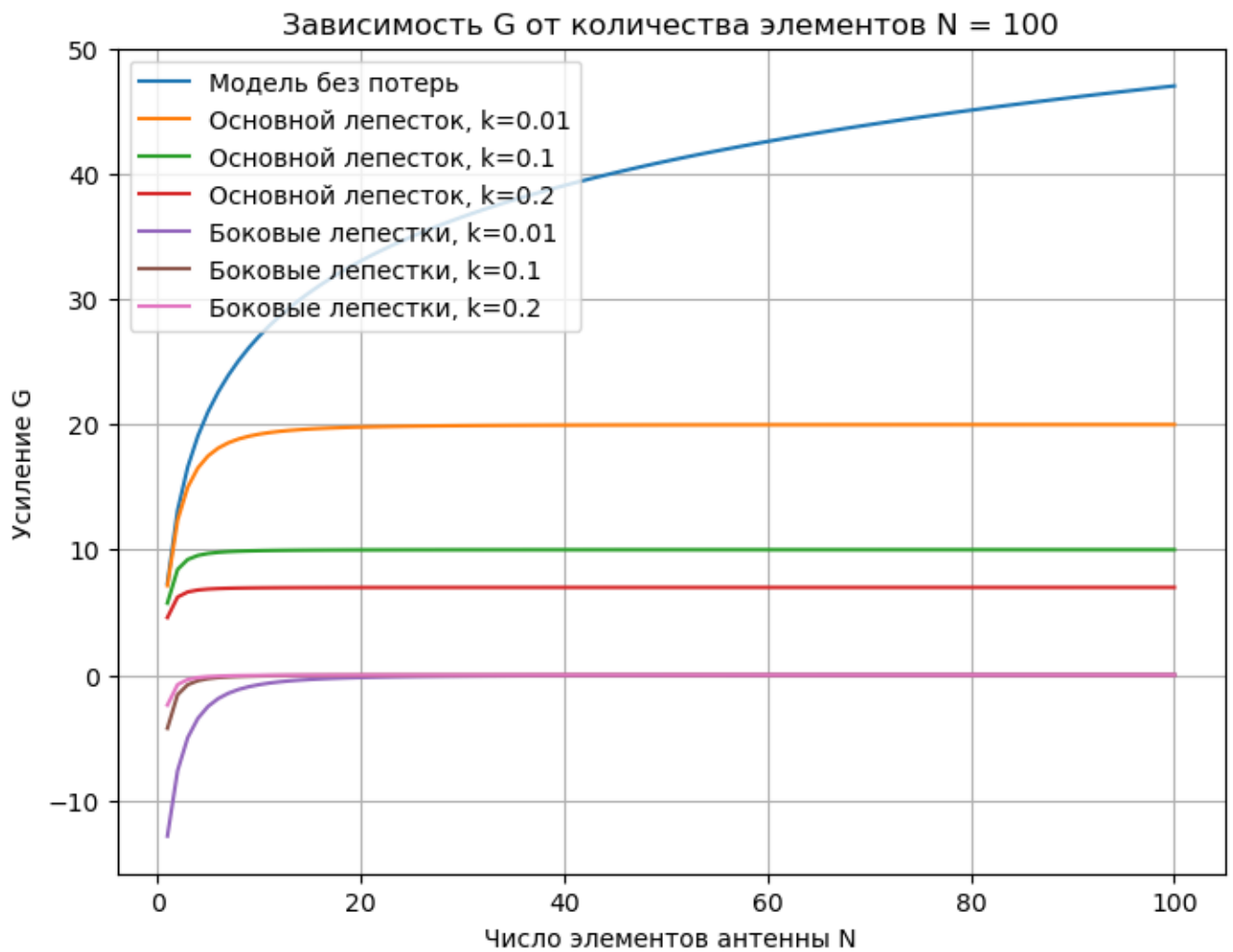
plt.figure(figsize=(8, 6))

plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gain_without_losses], label='Модель без потерь')

for k in loss_factors:
    plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gains_main_lobe[k]],
            label=f'Основной лепесток, k={k}')

for k in loss_factors:
    plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gains_side_lobe[k]],
            label=f'Боковые лепестки, k={k}')

plt.title("Зависимость G от количества элементов N = 100")
plt.xlabel("Число элементов антенны N")
plt.ylabel("Усиление G")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```



```

N_values = np.arange(1, 20, 1)

gain_without_losses = []
gains_main_lobe = {k: [] for k in loss_factors}
gains_side_lobe = {k: [] for k in loss_factors}

for N in N_values:
    alpha = np.radians(102 / N)
    gain_without_losses.append(gain_model(alpha))
    for k in loss_factors:
        primary, side = calculate_gain_with_losses(alpha, k)
        gains_main_lobe[k].append(primary)
        gains_side_lobe[k].append(side)

plt.figure(figsize=(8, 6))

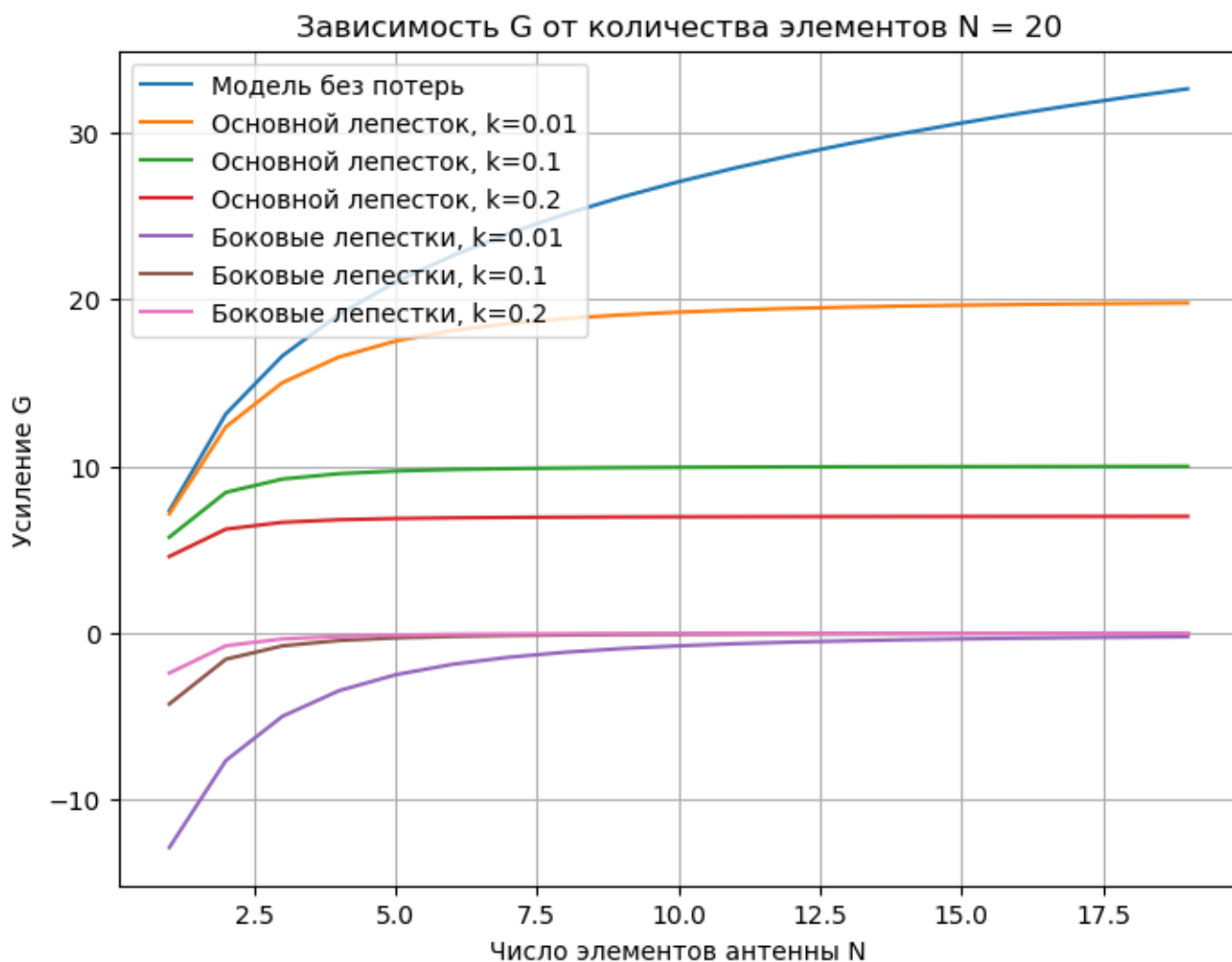
plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gain_without_losses], label='Модель без потерь')

for k in loss_factors:
    plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gains_main_lobe[k]],
             label=f'Основной лепесток, k={k}')

for k in loss_factors:
    plt.plot(N_values, [convert_to_db(g) for g in gains_side_lobe[k]],
             label=f'Боковые лепестки, k={k}')

plt.title("Зависимость G от количества элементов N = 20")
plt.xlabel("Число элементов антенны N")
plt.ylabel("Усиление G")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```



Модель с потерями является более точной и реалистичной для прикладных исследований, так как учитывает физические явления, которые имеют место в реальных беспроводных сетях. Она лучше подходит для оптимизации дизайна антенн и оценки их эффективности. Однако модель без потерь остаётся полезной на начальных этапах проектирования, где требуется быстрое и простое моделирование. Для достижения наиболее точных результатов в прикладных исследованиях рекомендуется комбинировать обе модели: использовать модель без потерь для начального анализа и переходить к модели с потерями для более глубокого изучения.

Заключение.

В ходе лабораторной работы были изучены две модели антенных решеток: упрощённая модель без потерь и модель с учётом потерь. Построены графики зависимости усиления антенны от угла направленности и количества антенных элементов. Также проведено сравнение моделей с точки зрения их применения в беспроводных сетях.

Основные выводы:

1. Модель без потерь показала, что усиление антенны зависит исключительно от угла направленности, что позволяет её использовать для базового анализа и теоретического изучения работы антенных решеток в идеальных условиях.
2. Модель с потерями, учитывающая коэффициент потерь, продемонстрировала более сложное поведение усиления, включая влияние боковых лепестков. Это делает её более реалистичной для моделирования реальных систем, где сигналы подвержены потерям из-за многолучевого распространения, отражений и помех.
3. Зависимость усиления от количества антенных элементов подтвердила, что увеличение числа элементов улучшает направленность и усиление антенны. Однако в модели с потерями остаются заметными утечки энергии на боковые лепестки, особенно при высоких значениях коэффициента.
4. Для прикладных исследований модель с потерями рекомендуется как более точная и реалистичная, так как она позволяет учитывать реальные условия эксплуатации и оптимизировать конструкцию антенных решеток.

Таким образом, использование обеих моделей целесообразно в зависимости от целей исследования: модель без потерь подходит для быстрого анализа, тогда как модель с потерями необходима для изучения реальных условий и проектирования беспроводных сетей.