

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ
НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАТЧИКА МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ АНТЕНИ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ
НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕДАВАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BASE STATION ANTENNA PARAMETERS
ON ENERGY CHARACTERISTICS OF THE
MOBILE STATION TRANSMITTER**

Аннотация. Исследуется влияние ориентации антенны базовой станции сотовой мобильной сети на величину энергии, потребляемой передатчиком мобильной станции.

Анотація. У статті досліджується вплив орієнтації антени базової станції стільникової мобільної мережі на величину енергії, що споживає передавач мобільної станції.

Summary. We investigate the influence of the cellular mobile base station antenna orientation on the amount of energy consumed by a mobile station transmitter.

По мере развития сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами все большее внимание уделяется повышению качественных показателей и надежности обслуживания абонентов. Значительная часть возникающих при этом проблем начинает решаться за счет усовершенствования антенных систем базовых станций (БС). С помощью специальных устройств подобные антенны могут анализировать помеховую обстановку в соте и оперативно реагировать на ее изменение. Адаптивные антенны с электрическим управлением формой диаграммы направленности (ДН) называются *интеллектуальными антеннами* (smart antennas). По мнению специалистов, адаптивные антенны БС являются неотъемлемым элементом сотовых сетей 3G и 4G [1].

Эффективность обслуживания абонентов в сотовой сети может существенно изменяться и в том случае, когда форма ДН антенны БС остается неизменной, но меняется направленность основного лепестка относительно мобильных станций. Следует отметить, что эта тема в периодической печати затронута относительно мало.

Цель данной работы – исследовать влияние пространственной ориентации ДН антенны базовой станции на энергетические характеристики передатчика мобильной станции.

Панельные антенны базовых станций представляют собой плоские антенные решетки, состоящие из набора слабонаправленных излучателей. Результирующая ДН антенны формируется в результате интерференции волн, создаваемых этими излучателями. В качестве излучателей обычно используются симметричные вибраторы. Диаграмма направленности симметричного вибратора в сферических координатах θ и φ достаточно точно выражается функцией [2]

$$f_1(\theta, \varphi) = \frac{\cos(kl \sin \theta) - \cos kl}{\cos \theta} \quad (1)$$

В горизонтальной плоскости ($\theta = 0^\circ$) диаграмма направленности

$$f_1(\varphi) = 1 - \cos kl = \text{const},$$

т.е. имеет вид окружности.

Здесь $k = 2\pi/\lambda$ – постоянная распространения; $2l$ – длина симметричного вибратора.

На рис. 1,а представлена ДН симметричного вибратора при различных значениях параметра kl .

Простейшая антенная решетка, которая находит практическое применение, представляет собой систему из N эквидистантных излучателей, размещенных вдоль вертикальной оси. Эффект, получаемый в результате объединения излучателей, позволяет оценить функцию [2]

$$f_2(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N \cdot k \cdot d_{et}}{2} \sin \theta\right)}{N \cdot \sin\left(\frac{k \cdot d_{et}}{2} \sin \theta\right)}, \quad (2)$$

называемая *множителем решетки*. Здесь $d_{et} = a\lambda$ – расстояние между этажами.

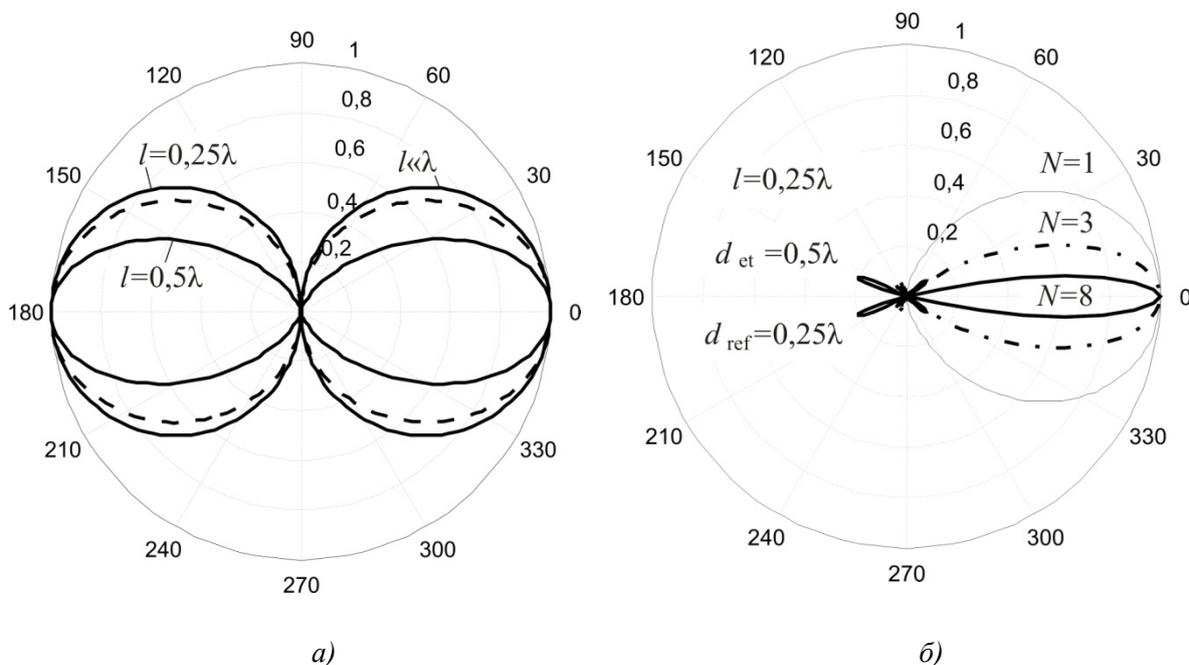


Рисунок 1 – Диаграмма направленности излучающего элемента (а) и панельной антенны (б)

Панельные антенны снабжаются рефлекторами, действие которых определяется функцией [2]

$$f_3(\theta) = \sin(k \cdot d_{ref} \cdot \cos\theta), \quad (3)$$

где $d_{ref} = b\lambda$ – расстояние между симметричным вибратором и рефлектором.

На основании принципа перемножения [2] диаграмма направленности всей антенны БС равна произведению функций (1) ... (3), а именно:

$$f(\theta, \varphi) = f_1(\theta, \varphi) \cdot f_2(\theta) \cdot f_3(\theta). \quad (4)$$

Графики функций $f(\theta, \varphi)$ для различных значений N представлены на рис. 1, б.

В общем случае диаграмма направленности антенной решетки определяется амплитудами и фазами возбуждения излучателей, поэтому путем независимого регулирования этих величин можно получить практически любую принципиально реализуемую ДН и управлять ее параметрами без изменения конструкции или механического перемещения антенны [2]. В этом случае возникает оптимизационная задача: найти такое положение ДН антенны БС в пространстве, которое доставляет экстремум выбранной определенным образом целевой функции, связанной с качественными показателями сети.

Рассмотрим оптимизацию угла наклона ДН антенны БС. Известно [1], что в мобильных станциях (МС) абонентов сотовой сети используется автоматическая регулировка мощности излучения радиопередатчика. Управление мощностью передатчика МС помимо других эффектов позволяет снизить потребляемую от источников питания энергию. При этом предполагается, что уровни мощности сигналов на входе приемника БС от передатчиков всех активных абонентов, находящихся в данном секторе соты, одинаковы и соответствуют чувствительности приемника БС [1].

Необходимая для выполнения этого требования мощность передатчика мобильной станции зависит от таких показателей, как расстояние между БС и МС; высота закрепления антенны БС; форма диаграммы направленности антенны БС; модель распространения радиоволн на участке МС-БС; ориентация антенны БС в пространстве и др.

Можно показать, что при фиксированном азимутальном угле φ , т.е. в любой вертикальной плоскости, нормированную ДН антенны БС (4) можно аппроксимировать выражением

$$f(\theta, \varphi) = \cos^2(\theta - \theta_0), \quad -\pi/2 < \theta < \pi/2, \quad (5)$$

где θ_0 – угол наклона ДН антенны БС.

Тогда оптимизационная задача может быть сформирована следующим образом: найти оптимальный угол θ_0^* , при котором минимизируется расход энергии аккумуляторов в аппаратуре МС абонентов. Считаем, что потребляемая от аккумуляторов мощность пропорциональна мощности излучаемого сигнала. Коэффициент пропорциональности – КПД передатчика. Целевая функция (target function) при этом может быть представлена следующим образом:

$$TF(\theta) = \sum_{i=1}^m k_i P_{\text{перМС}_i} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $P_{\text{перМС}_i}$ – мощность передатчика МС, удаленного от БС на расстояние r_i . Коэффициенты k_1, k_2, \dots, k_m могут иметь произвольное технико-экономическое содержание. Например, они могут быть связаны с количеством пользователей в том или ином месте территории обслуживания, с пропускной способностью или другими характеристиками сети.

Пусть в данном случае весовые коэффициенты k_i учитывают неравномерность распределения абонентов на площади соты. На основании первого уравнения передачи [1] на восходящем участке МС-БС для передатчика i -й МС можно записать

$$P_{\text{перМС}_i} = \frac{P_{\text{прБС}} \cdot L_{0i}}{G_{\text{max}} \cdot f^2(\theta) \cdot G_{\text{перМС}}}, \quad i = 1, 2, 3 \dots m, \quad (7)$$

где $P_{\text{прБС}}$ – чувствительность приемника БС; $L_{0i} = \left(\frac{4\pi r_i}{\lambda}\right)^2$ – потери энергии сигнала на участке МС-БС; r_i – расстояние от БС до выбранных зон скопления пользователей; G_{max} – коэффициент усиления БС в направлении основного лепестка; $f(\theta)$ – ДН антенны БС в вертикальной плоскости (5); $G_{\text{перМС}}$ – коэффициент усиления антенны МС. Все сказанное иллюстрирует рис. 2.

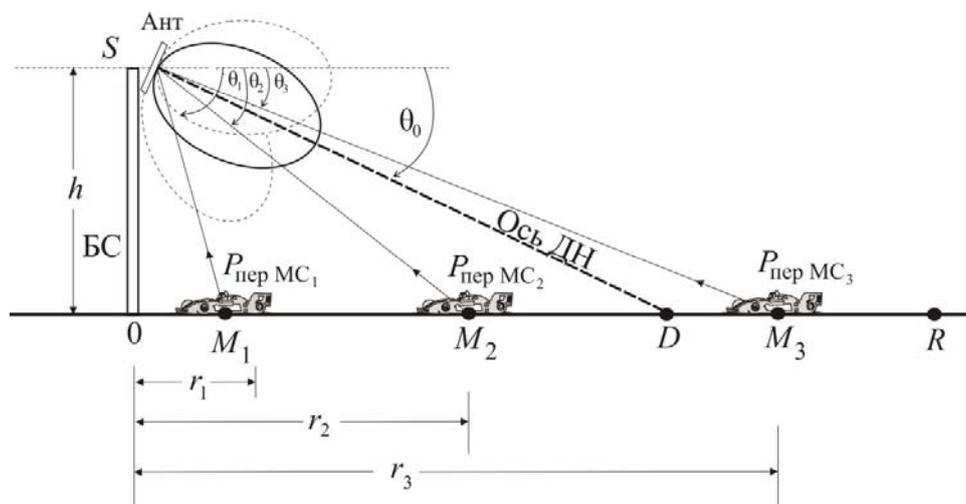


Рисунок 2 – Возможные положения диаграммы направленности антенны БС

Рассмотрим конкретный пример. Пусть: $m = 3$; $r_1 = 0,3$ км; $r_2 = 1,2$ км; $r_3 = 2,4$ км; $h = 72$ м; $\lambda = 0,33$ м; $P_{\text{прБС}} = 6,3 \cdot 10^{-10}$ Вт; $G_m = 10$; $G_{\text{перМС}} = 1,64$.

Углы места для трех зон (см. рис. 2) определяются по формулам

$$\theta_1 = -\arctg(h/r_1); \quad \theta_2 = -\arctg(h/r_2); \quad \theta_3 = -\arctg(h/r_3).$$

Углы между осью ДН антенны БС и направлениями на соответствующие зоны

$$\Delta\theta_1 = \theta_1 - \theta_0; \quad \Delta\theta_2 = \theta_2 - \theta_0; \quad \Delta\theta_3 = \theta_3 - \theta_0.$$

Подставляя $\Delta\theta_i$, $i = 1,2,3$ в (5), находим значения направленности антенны БС на соответствующие точки. Изменяя угол наклона ДН антенны БС $\theta_{0i} = \theta_{0\min} + i\Delta\theta_0$, $i = 1,2,3\dots$, на основании (7) и (6) получаем вектор значений целевой функции. Все вычисления удобно выполнять в среде MATLAB.

На рис. 3 представлены графики зависимости целевой функции от угла наклона ДН антенны БС при различных наборах весовых коэффициентов k_1 , k_2 и k_3 .

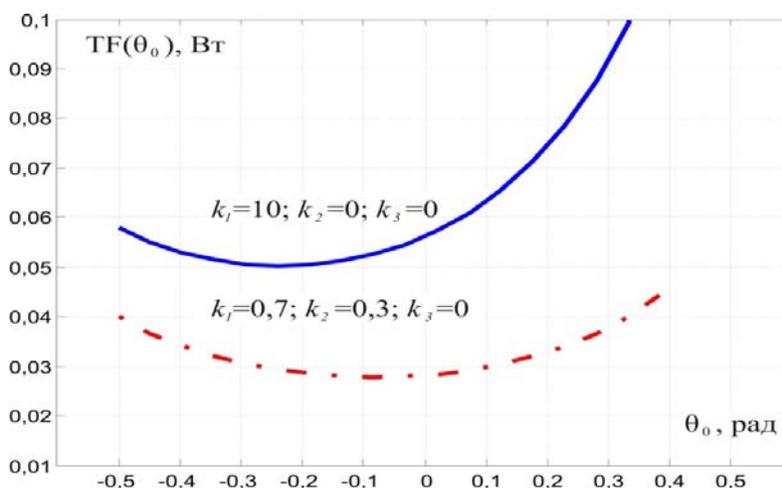


Рисунок 3 – Изменение целевой функции в процессе оптимизации

Для вычисления оптимального значения угла наклона можно применить известные методы одномерного поиска [3]. Однако в данном случае в этом нет необходимости, поскольку в среде MATLAB предусмотрена функция **min** с двумя выходными аргументами.

Команда

```
>>[m,k]=min(tarFun)
```

позволяет найти не только значение минимального элемента вектора tarFun, но и указать его порядковый номер. Так, для верхней кривой на рис. 3 можно получить $TF_{\min} = 0,050$ Вт и $\theta_0^* = -13,75^\circ$.

В заключение можно сказать следующее. Исследования показали, что на минимизацию энергетических затрат при прочих равных условиях оказывают влияние радиус соты R , выбранные значения r_i и высота закрепления антенны БС на опоре h . Дальнейший ход исследований целесообразно связать с анализом влияния изменения числа этажей в антенне БС на энергосбережение источников питания передатчиков МС.

Литература

1. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM / Попов В.И. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 296 с.
2. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства / Фрадин А.З. – М.: Связь, 1977. – 440 с.
3. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс; пер. с англ./ Банди Б. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.