

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕТЕРОГЕННОГО РАДИОПОКРЫТИЯ

*Родионов М.А.*

*гр.467041*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Астровский И.И. – кандидат технических наук, доцент кафедры ИКТ*

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы организации совместного радиопокрытия гетерогенных радиосетей, когда на территории относительно большой городской соты культивируются малые пикосоты outdoor типа. С помощью компьютерного моделирования получены зависимости размеров малых сот от ряда параметров. Полученные результаты позволяют дать рекомендации по оптимизации гетерогенных сетевых решений.

**Ключевые слова:** гетерогенные сети, микросоты, пикосоты, гарантированное подключение, модели распространения волн, компьютерное моделирование, Matlab

**Введение.** Под гетерогенной сотовой сетью – HetNet – обычно понимают такой вариант радиопокрытия, когда на территории относительно большой городской микросоты (радиус от нескольких сотен метров до 1 км) организуются маленькие пикосоты (радиус от нескольких десятков метров до 150 метров) для обслуживания большого трафика в определённых локальных «горячих точках», или hot-spots (см. рисунок 1). По этой причине синонимом понятия HetNet часто является термин Small Cells – маленькие соты. При этом речь идёт как о пикосотах outdoor на улицах, так и о пикосотах indoor внутри помещений [1]. Кроме пико-BS локальное радиопокрытие могут создавать выносные радиомодули RRU, играющие роль репитеров сигналов центральной микро-BS. Такой сценарий характерен для покрытия «тёмных точек» – dark-spots.

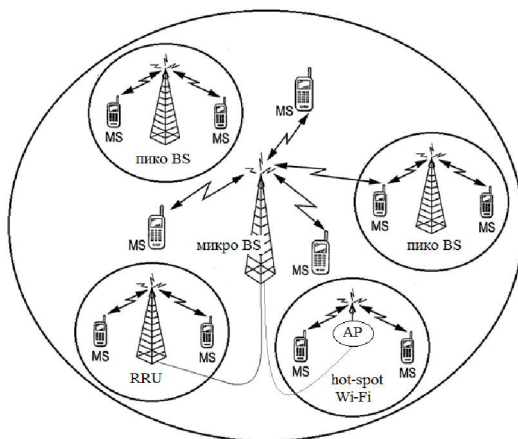


Рисунок 1 – Схема гетерогенной сети

(RRU – Remote Radio Unit, выносной приёмопередатчик; AP – Access Point, точка доступа Wi-Fi) [2]

Во всех перечисленных случаях возникает ситуация, когда мобильные станции MS оказываются под воздействием сигналов от центральной микробазы и ближайшей пикобазы. Мобильная станция обычно выбирает для дальнейшей работы ту базовую станцию, от которой она принимает более мощный специальный сигнал для выполнения процедуры Cell Select. Поэтому от характера распределения и взаимного соотношения уровней этих сигналов будет сильно зависеть, какие абоненты будут обслуживаться в пикосоте, а какие останутся в микросоте [3].

**Основная часть.** Для оценки размера формируемой пикосоты внутри микросоты была написана программа моделирования в среде MATLAB, результаты работы которой показаны на рисунке 2. Моделировалась ситуация, когда внутри городской относительно низкочастотной микросоты размещается высокочастотная пикосота типа PoleStation диапазона FR2. Программа вычисляла изменение уровня сигнала при удалении от микробазовой станции на основе модели COST 231-Hata [4] для частоты 1800 МГц, высоты установки антенны этой базы в 30 м и излучаемой мощности 46 дБм (40 Вт). Моделирование распределения уровня сигнала пикобазы выполнялось симметрично от точки установки этой пикобазы D на основе модели из [5] для сценария UMI-Street Canyon-LOS для частоты 27500 МГц, мощности 23 дБм (на рисунке 2) и высоты установки антенны 10 м. Следует особо отметить, что входящие в модели из [4, 5] логарифмы имеют точки разрыва при нулевом расстоянии. По этой причине пиковые мощности 46 дБм и 23 дБм для базовых станций на графиках рисунка 2 не отображаются.

Продольный размер пикосоты измерялся по координатам X1 и X2 точек пересечения графиков распределения сигналов от двух базовых станций. Далее отдельно вычислялся размер dX1 от точки D до координаты X1. Аналогично вычислялся размер dX2 и сумма  $R=dX1+dX2$ , имеющая смысл продольной длины пикосоты.

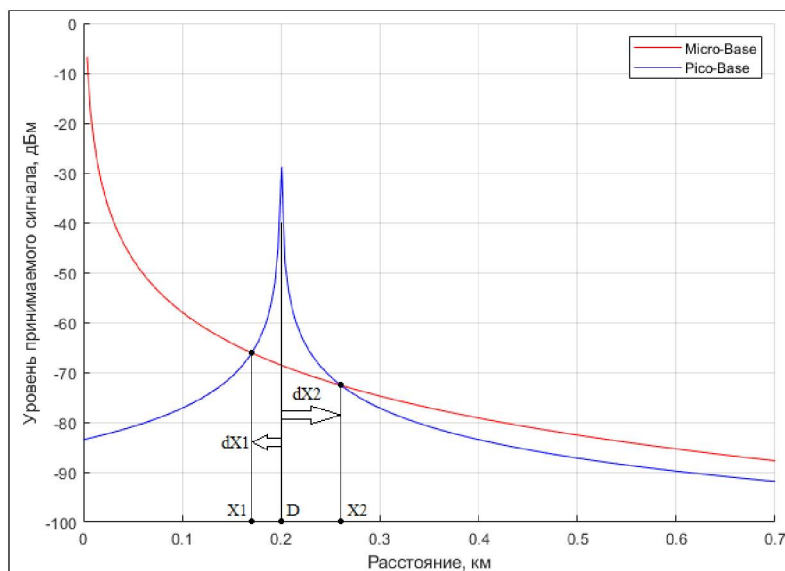


Рисунок 2 – Распределение уровней принимаемого сигнала от микробазы и пикобазы.

По результатам моделирования на рисунках 3 и 4 показан характер изменения размеров пикосоты  $R$ ,  $dX1$  и  $dX2$  при изменении, соответственно, места установки пикобазы  $D$  (при её мощности 23 дБм) и изменении мощности пикобазы ( $D=250$  м).

При росте излучаемой пикобазой мощности, так и её передвижении на границу микросоты, где ниже уровень сигнала микробазы, наблюдается рост линейного размера пикосоты. Причём изменение размера  $dX1$  не очень значительное, а рост  $R$  достигается исключительно увеличением размера  $dX2$ .

Другими словами, происходит смещение вправо точки  $X2$  на графике рисунка 2. Можно предположить, что при этом происходит изменение формы пятна пикосоты, как это показано на рисунке 5. В случае превышения сигнала пикобазы над сигналом микробазы в ограниченной области, эта область имеет некоторую овальную форму, соответствующую кривой 1. По мере роста уровня сигнала пикобазы, правая граница пикосоты смещается вправо, а сама пикосота, очевидно, увеличивается в размерах, как кривые 2 и 3. При некотором уровне сигнал пикобазы будет превышать сигнал микробазы всегда, т.е. до границы микросоты. Эту ситуацию иллюстрирует кривая 4.

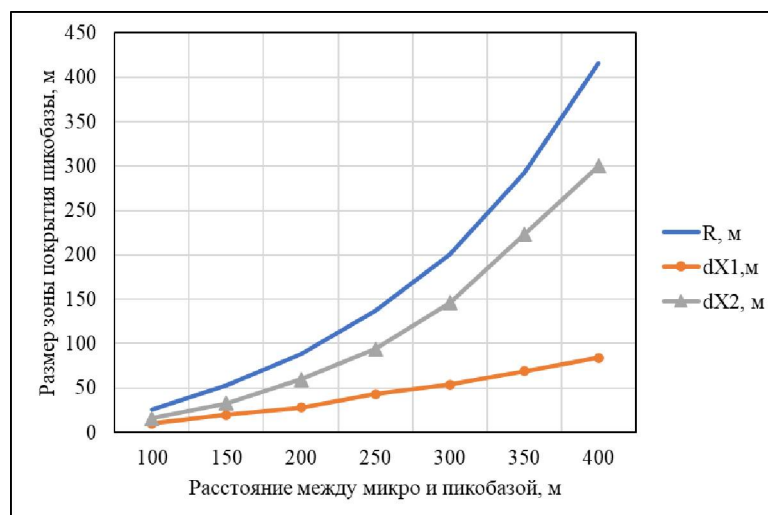


Рисунок 3 – Изменение продольного размера пикосоты при изменении расстояния между микро- и пикобазой.

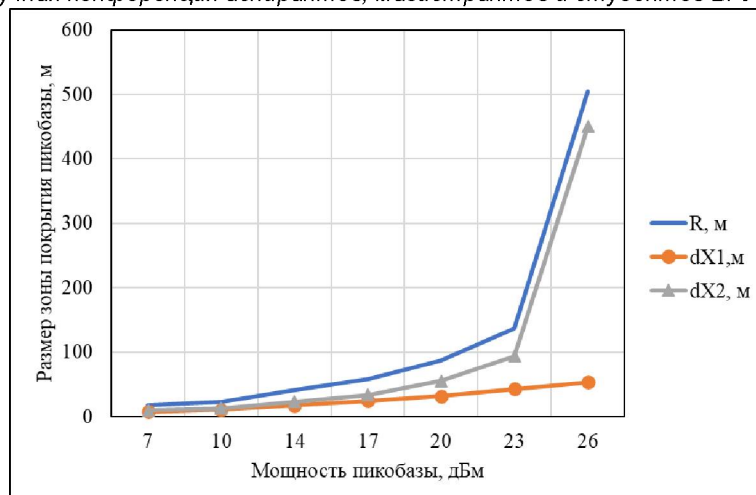


Рисунок 4 – Изменение продольного размера пикосоты при изменении мощности пикобазы.

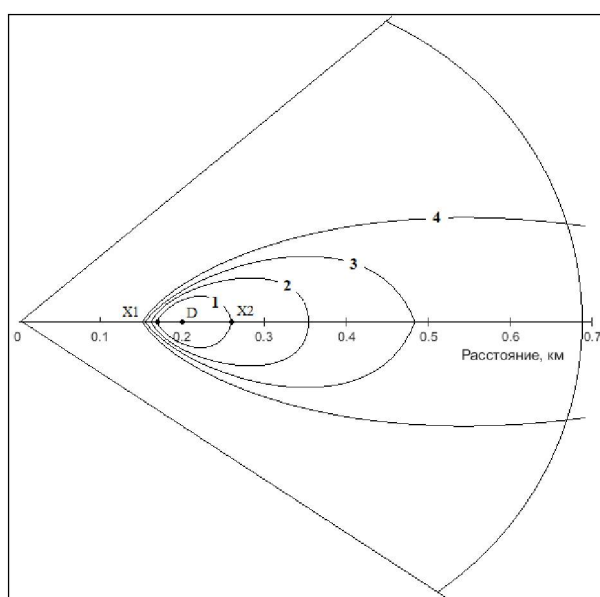


Рисунок 5 – Изменение формы пикосоты при увеличении уровня сигнала пикобазы.

Разумеется, сделанное предположение не полностью корректно. Для оценки уровня сигнала пикобазы применялось математическое выражение сценария UMI-Street Canyon-LOS, соответствующее распространению по прямой видимости вдоль улицы или проспекта. При условии расположения антенны пикобазы ниже крыш прилегающих зданий (10 метров против 15–30 метров) и очень высокой рабочей частоты 27500 МГц, радиоволны пикобазы не смогут преодолеть здания, расположенные вдоль улицы. Кроме того, диаграмма направленности антенны базовых станций обычно наклоняется максимумом в низ, что также ограничит дальность распространения волн даже вдоль улицы.

Тем не менее результаты моделирования однозначно предостерегают, что пикосота, вопреки своему названию, может вырваться из габаритов небольшого округлого пятна и своими «щупальцами» распространится на сотни метров вдоль городских улиц. Подобная ситуация наиболее вероятна при расположении пикобазовых станций вблизи границы микросоты.

**Заключение.** Результаты компьютерного моделирования позволяют сделать несколько выводов.

Во-первых, размеры покрытия пикосот могут сильно меняться даже при незначительных изменениях места расположения и уровня излучаемой мощности пикобазы.

Во-вторых, использование для пикосот достаточно высоких радиочастот не гарантирует

локализацию радиопокрытия на небольшой площади.

В-третьих, ключевую роль в гармонизации гетерогенного радиопокрытия играет форма и угол наклона диаграммы направленности всех задействованных антенн, в том числе и антенных массивов с Beamforming.

Полученные результаты имеют практическое значение при проектировании сотовых радиосетей гетерогенного типа.

### **Список литературы**

1. *Small cell networks: Deployment, Management, and Optimization*. Holger Claussen, David Lopez-Perez, Lester Ho, Rouzbeh Razavi, Stepan Kucera. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. – John Wiley & Sons, Inc. – 2017. – 555 p.
2. Jeanette Wannstrom, Keith Mallinson. *Heterogeneous Networks in LTE*. /WiseHarbor [Электронный ресурс] – URL: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/1576-hetnet>.
3. Аксёнов, В. А. Гетерогенные радиосети мобильного и фиксированного доступа. *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*, 2023, № 1, с. 60–75.
4. ETSI TR 101 362 V7.0.0 (1999-07). *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio network planning aspects. Annex B: Propagation loss formulas for mobile radiocommunications*. P. 20-21. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/101300\\_101399/101362/07.00.00\\_60/tr\\_101362v070000p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101300_101399/101362/07.00.00_60/tr_101362v070000p.pdf)
5. 3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16. *5G. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz*. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/138900\\_138999/138901/16.01.00\\_60/tr\\_138901v160100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138901/16.01.00_60/tr_138901v160100p.pdf)