

**СПОСОБ АНАЛИЗА ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ СИГНАЛА
НА ВХОДЕ ПРИЁМНИКА МОБИЛЬНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ
ЗАКРЫТОЙ РАДИОТРАССЫ**

Рожновский М.В.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
mixail_exp@list.ru*

**СПОСІБ АНАЛІЗУ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ
НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ В УМОВАХ
ЗАКРИТОЇ РАДІОТРАСИ**

Рожновський М.В.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
mixail_exp@list.ru*

**METHOD OF THE ANALYSIS OF DEPENDENCE OF SIGNAL
POWER AT THE RECEIVER INPUT OF MOBILE STATION
IN CONDITION OF THE CLOSED RADIO ROUTE**

Rozhnovskiy M.V.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine.
mixail_exp@list.ru*

Аннотация. Предложен способ анализа зависимости мощности сигнала на входе приемника мобильной станции, расположенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн базовой станции, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы.

Ключевые слова: математическая модель, электромагнитное поле, мощность, мобильная станция, базовая станция.

Анотація. Запропоновано спосіб аналізу залежності потужності сигналу на вході приймача мобільної станції, розташованої на межі чарунки, в умовах закритої радіотраси з урахуванням висоти розташування антен базової станції, висоти будівель, ширини вулиць, розташування абонента відносно ширини вулиць.

Ключові слова: математична модель, електромагнітне поле, потужність, мобільна станція, базова станція.

Abstract. The method of the analysis of dependence of signal power at the receiver input of mobile station located on cell edge in condition of the closed radio route taking into account height of base station antennas, height of buildings, width of streets, the subscriber's arrangement concerning street width is offered.

Key words: mathematical model, electromagnetic field, power, mobile station, base station.

Современный мир телекоммуникаций характеризуется быстрым внедрением самых современных систем беспроводной связи [1]. При проектировании сотовых сетей подвижной радиосвязи наиболее сложной проблемой является расчет напряженности поля или зависимости потерь мощности сигнала от расстояния [2]. Указанная проблема заключается в том, что городская застройка при распространении радиоволн представляет собой сложную неоднородную структуру. Построение адекватной модели городского радиоканала является сложной задачей, решение которой может значительно облегчить процедуру проектирования сетей радиодоступа. При моделировании влияния городской застройки на распространение радиоволн применяют два типа моделей: статистические и детерминированные [3]. Статистические модели могут предсказать лишь некоторые средние характеристики сигналов, но при этом они не учитывают особенности конкретных радиотрасс и основываются на предва-

рительных экспериментальных данных, от числа которых зависит точность расчетов. Детерминированные модели учитывают конкретную городскую застройку, особенности материала застройки и поэтому в целом дают более точные результаты расчета мощности радиосигнала [1...3].

При проектировании сетей радиодоступа в условиях городской застройки особенно актуальной является задача анализа величины мощности сигнала на входе приемника мобильной станции (МС), расположенной на границе ячейки, где сигнал распространяется в условиях закрытых радиотрасс. Существует множество моделей распространения ультракоротких волн в условиях городской застройки. Среди наиболее известных можно выделить “COST231-Хата”, “Ли”, “Уолфиша-Икегами”, дифракционно-аналитическую модель распространения поля и др. [1...4]. Все перечисленные модели позволяют грубо определить максимальный радиус ячейки (зоны покрытия базовой станции). Однако для более точного проектирования сетей беспроводной связи необходимо проводить анализ зависимости изменения величины мощности сигнала на границе ячейки (зоны покрытия базовой станции) от высоты расположения антенн базовых станций (БС), высоты зданий, расположенных на границе ячейки, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы. Поэтому **цель данной статьи** – предложить способ анализа зависимости мощности сигнала на входе приемника МС, расположенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн базовых станций (БС), высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы.

Для достижения поставленной цели рассмотрим дифракционную аналитическую модель распространения поля в условиях городской застройки [4], которую можно записать в виде выражения:

$$L(R) = L_{\text{св}} + L_{\text{диф}} + L_{\text{преп}}, \quad (1)$$

где $L_{\text{св}}$ – потери в свободном пространстве; $L_{\text{диф}}$ – потери дифракции от крыш зданий; $L_{\text{преп}}$ – потери из-за дифракции от препятствий на трассе.

Указанная модель разработана специально для расчета затуханий на трассах систем подвижной связи в городских и пригородных зонах. В отличие от рекомендованной Международным союзом электросвязи (МСЭ) статистической модели “COST231-Хата” [5] дифракционная модель позволяет вести расчеты в более широком диапазоне частот, при удалении МС от БС на расстояние от сотен метров до единиц километров [4]. Кроме того, данная модель позволяет учитывать три варианта расположения антенн БС относительно среднего уровня высоты крыш зданий (антенна БС расположена выше среднего уровня крыш зданий, антенна БС расположена на уровне крыш зданий, антенна БС расположена ниже среднего уровня крыш зданий) [4]. В первую очередь, рассматриваемая модель предназначена для расчета затуханий на закрытых трассах, когда сигнал, приходящий на вход приемника МС, является результатом сложной интерференции множества отраженных сигналов. Можно сказать, что дифракционная модель позволяет рассчитывать усредненные значения сигнала в точке приема в зависимости от характеристик городского рельефа.

Используя дифракционную аналитическую модель распространения поля в условиях городской застройки [4] совместно с первым уравнением передачи (уравнением радиолинии) [6], при условии заданной пороговой чувствительности приемника МС, определим максимальную дальность связи (R_{max}) для каждого из трех случаев расположения антенн БС. Далее с целью проведения анализа зависимости мощности сигнала на входе приемника МС, расположенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн БС, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы, запишем выражение для определения потерь мощности сигнала,

$$L(h_b, W, x) = \begin{cases} L_{\text{св}} + L_{\text{диф}} - 10 \cdot \lg \left[2,35^2 \cdot \left[\frac{h_b}{(R_{\text{max}} - W)} \cdot \sqrt{\frac{W}{\lambda}} \right]^{1,8} \right], & \text{если } h_b > h_0; \\ L_{\text{св}} + L_{\text{диф}} - 10 \cdot \lg \left[\left[\frac{W}{(R_{\text{max}} - W)} \right]^2 \right], & \text{если } h_b = h_0; \\ L_{\text{св}} + L_{\text{диф}} - 10 \cdot \lg \left[\left[\frac{W}{2\pi \cdot (R_{\text{max}} - W)} \right]^2 \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{h_b^2 + W^2}} \cdot \left[\frac{1}{\psi(W)} - \frac{1}{2\pi + \psi(W)} \right]^2 \right], & \text{если } h_b < h_0, \end{cases} \quad (2)$$

где h_b – высота подвеса антенны БС; h_0 – средний уровень высоты зданий городской застройки; W – ширина улицы; x – координата абонента относительно ширины улицы; R_{max} – расстояние от БС до границы ячейки; λ – длина волны; $\psi(W) = \arctg(h_b/W)$ – угол падения дифрагирующего луча относительно ширины улицы; $L_{\text{диф}} = -10 \cdot \lg \left(\frac{\lambda}{2\pi^2 r(x)} \cdot \left(\frac{1}{\theta(x)} - \frac{1}{2\pi + \theta(x)} \right)^2 \right)$

– потери из-за дифракции от крыш зданий ($r(x) = \sqrt{h_m^2 + x^2}$ – расстояние от крыши здания до МС, h_m – высота подвеса антенны МС, $\theta(x) = \arctg(h_m/x)$ – угол падения дифрагирующего луча относительно расположения абонента в рамках ширины улицы); $L_{\text{св}} = -10 \cdot \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi R_{\text{max}}} \right)^2$

– потери в свободном пространстве. Выражение (2) получено из дифракционной аналитической модели распространения поля в условиях городской застройки. Подставив выражения (2) в известное первое уравнение передачи [6], получим математическую модель, позволяющую анализировать зависимость мощности сигнала на входе приемника МС, расположенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн БС, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы, которую можно записать следующим образом:

$$P_{\text{МС}}(h_b, W, x) = P_{\text{БС}} + G_{\text{БС}} + G_{\text{МС}} - L(h_b, W, x), \quad (3)$$

где $P_{\text{БС}}$ – мощность передатчика БС, $G_{\text{БС}}$, $G_{\text{МС}}$ – коэффициенты усиления антенн БС и МС соответственно.

Последовательность анализа мощности сигнала на входе приемника МС согласно математической модели (3) приведена в виде алгоритма на рис. 1. На первом этапе задаются исходные данные. Далее с помощью дифракционной аналитической модели определяем дальность связи при условиях, когда антенна БС расположена выше среднего уровня крыш зданий; антенна БС расположена на уровне средней высоты крыш зданий; антенна БС расположена ниже среднего уровня крыш зданий. На следующем этапе алгоритма фиксируем усредненный радиус зоны покрытия БС и обозначаем его как R_{max} ($R_{\text{max}} \approx 1,5 \dots 2$ км). Далее, воспользовавшись выражением (2) на расстоянии R_{max} от БС, определяем зависимость величины потерь от высоты расположения антенн БС, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы. На последнем этапе алгоритма, согласно выражению (3), определяем зависимость мощности сигнала на входе приемника МС, расположенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн БС, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы и проводим анализ результатов.

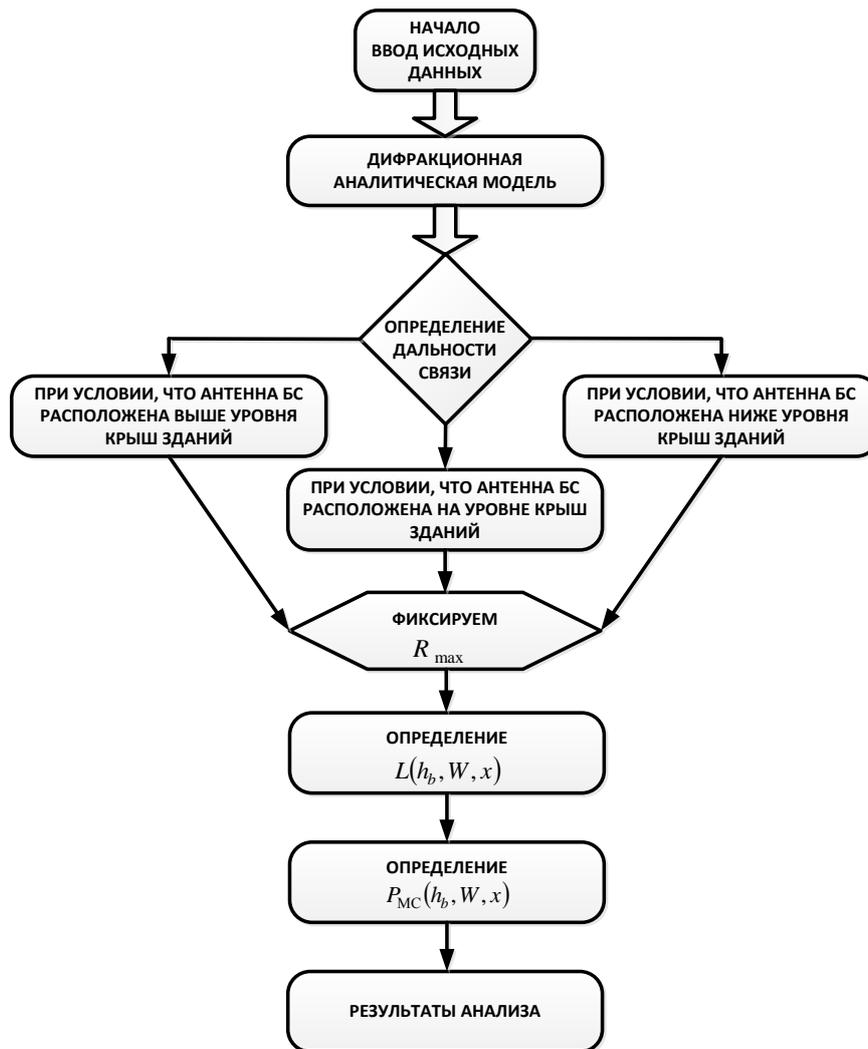


Рисунок 1 – Алгоритм анализа мощности сигнала на входе приемника МС

Проведем анализ мощности сигнала на входе приемника МС по предложенному алгоритму, показанному на рис. 1, воспользовавшись программным математическим пакетом MathCad [7]. С целью проведения указанного анализа зададим следующие исходные данные: мощность передатчика БС $P_{\text{БС}} = 16$ дБВт; коэффициент усиления антенны БС $G_{\text{БС}} = 17$ дБи; коэффициент усиления антенны МС $G_{\text{МС}} = 0$ дБи; частотный диапазон электромагнитных колебаний $f = 1800$ МГц; средний уровень высоты зданий городской застройки $h_0 = 30$ м; высота подвеса антенны БС $h_b = 25$ м, $h_b = 30$ м, $h_b = 40$ м (три варианта подвеса антенн БС относительно средней высоты застройки); ширина улицы $W = 50 \dots 90$ м; координата абонента относительно ширины улицы $x = 1 \dots W$ м; чувствительность приемника МС $P_{\text{МСmin}} = -137$ дБВт.

Задав указанные выше исходные данные, согласно алгоритму (рис. 1), воспользовавшись аналитической дифракционной моделью [4], в математическом пакете MathCad определим дальность связи R_{max} для трех вариантов расположения антенн БС относительно средней высоты застройки. При указанных исходных данных в случае, когда антенна БС находится выше средней высоты застройки, $R_{\text{max}} \approx 3$ км; в случае, когда антенна БС находится на уровне средней высоты застройки, $R_{\text{max}} \approx 2,47$ км; в случае, когда антенна БС находится ниже средней высоты застройки, $R_{\text{max}} \approx 0,87$ км.

Далее, согласно алгоритму (рис. 1), зафиксируем $R_{\text{max}} \approx 2,47$ км для выполнения

дальнейшего анализа. Таким образом, мы постулируем, что радиус зоны покрытия БС составляет $R_{\max} \approx 2,47$ км, при этом абонент с МС располагается на границе ячейки и перемещается в рамках ширины улицы (рис. 2).

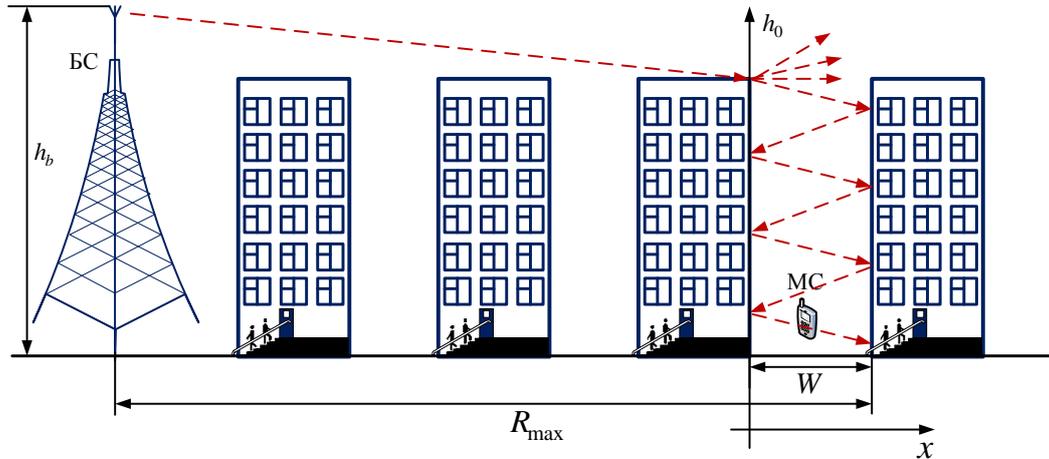


Рисунок 2 – Графическое изображение анализируемой задачи

На следующем этапе, согласно предложенному выражению (2), определим потери сигнала $L(h_b, W, x)$ в зависимости от высоты расположения антенн БС относительно средней высоты застройки, ширины улицы и положения абонента относительно ширины улицы. И на последнем этапе, согласно (3), определим зависимость мощности сигнала на входе приемника МС $P_{МС}(h_b, W, x)$ от тех же параметров, что и потери $L(h_b, W, x)$. Пример результатов расчета приведен в графическом виде на рис. 2, а численные значения анализа расчетов – в табл. 1.

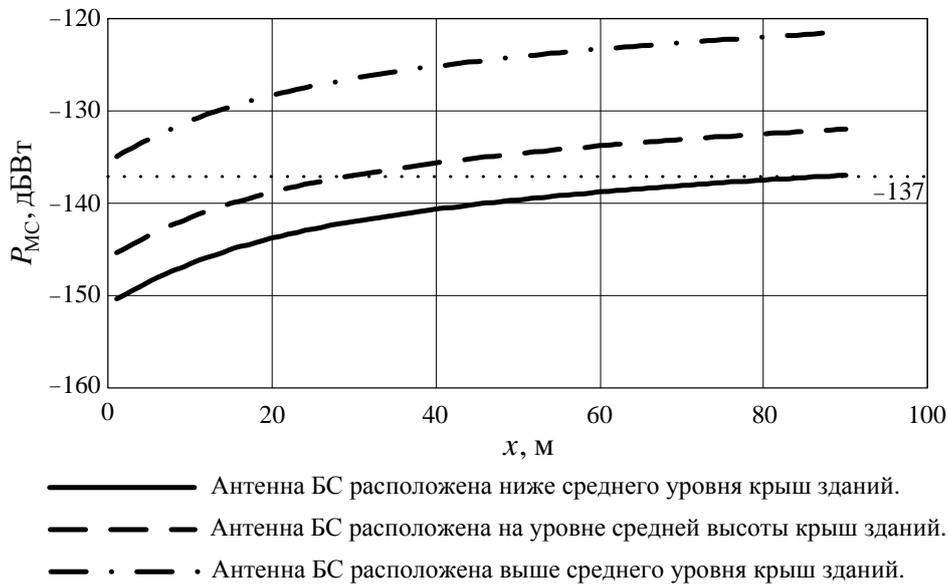


Рисунок 3 – Зависимость мощности сигнала на входе приемника МС (для трех случаев расположения антенн БС) от расположения абонента относительно ширины улицы

Таблица 1 – Анализ зависимости мощности сигнала на входе приемника МС от расположения абонента относительно ширины улицы

| Ширина улицы W (м) | | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | |
|--|------------------------------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Варианты расположения антенн БС по отношению к усредненному уровню крыш зданий | Антенна БС ниже уровня крыш зданий | Зона тени (м) | 0 – 50 | 0 – 60 | 0 – 70 | 0 – 80 | 0 – 80 |
| | | Зона неустойчивого приема (м) | – | – | – | – | 80 – 90 |
| | | Зона устойчивого приема (м) | – | – | – | – | – |
| | Антенна БС на уровне крыш зданий | Зона тени (м) | 0 – 37 | 0 – 35 | 0 – 32 | 0 – 28 | 0 – 25 |
| | | Зона неустойчивого приема (м) | 36 – 49 | 35 – 48 | 32 – 40 | 28 – 38 | 25 – 35 |
| | | Зона устойчивого приема (м) | 49 – 50 | 48 – 60 | 40 – 70 | 38 – 80 | 35 – 90 |
| | Антенна БС выше уровня крыш зданий | Зона тени (м) | 0 – 13 | 0 – 10 | 0 – 5 | – | – |
| | | Зона неустойчивого приема (м) | 13 – 15 | 10 – 14 | 5 – 10 | – | – |
| | | Зона устойчивого приема (м) | 15 – 50 | 14 – 60 | 10 – 70 | 0 – 80 | 0 – 90 |

Отметим, что в табл. 1 понятие “зона тени” обозначает расстояние вдоль ширины улицы, на котором уровень мощности сигнала ниже пороговой чувствительности приемника МС, понятие “зона неустойчивого приема” обозначает отрезок вдоль ширины улицы, на котором уровень мощности сигнала равен пороговой чувствительности приемника МС и, соответственно, “зона устойчивого приема” – это отрезок вдоль ширины улицы, на котором уровень мощности сигнала превышает пороговую чувствительности приемника МС.

Анализ полученных результатов на рис. 3 и в табл. 1 показывает, что расширение улицы на границе зоны покрытия БС напрямую влияет на перераспределения мощности сигнала вдоль ширины улицы. Другими словами, чем шире улица, тем больше по площади “зона устойчивого приема” и, соответственно, меньше “зона тени” и “зона неустойчивого приема”. Указанная закономерность обусловлена тем, что поле, детектируемое антенной МС, является результатом интерференции множества электромагнитных лучей, многократно переотражённых от стен окружающих зданий и строений (рис. 2). На рис. 2 видно, что чем уже улица, тем больше точек отражения электромагнитного луча и, наоборот, чем шире улица, тем точек отражения меньше. В каждой точке отражения электромагнитная волна теряет часть мощности за счет поглощения энергии поля в стенах зданий. Следовательно, количество точек отражения влияет на мощность электромагнитного поля, детектируемого антенной МС, находящейся между зданиями. При этом необходимо отметить, что при любой ширине улицы присутствует “зона тени”. Минимальная площадь “зоны тени” наблюдается при условии, что антенна БС расположена выше среднего уровня высоты крыш зданий и ширина улицы составляет не более 70 м, а при дальнейшем увеличении ширины улицы «зона тени» исчезает. Необходимо также отметить, что для случая, когда антенна БС расположена ниже среднего уровня высоты крыш зданий, с расширением улицы мощность сигнала также возрастает, что в реальных сетях мобильной связи может влиять на внутрисистемную электромагнитную совместимость в сети.

Таким образом, в данной статье на основе дифракционной аналитической модели предложен способ анализа зависимости мощности сигнала на входе приемника МС, распо-

ложенной на границе ячейки, в условиях закрытой радиотрассы с учетом высоты расположения антенн БС, высоты зданий, ширины улиц, расположения абонента относительно ширины улицы. Указанный способ основан на применении предложенной математической модели расчета потерь мощности сигнала при его распространении в условиях закрытых радиотрасс. Предложенный способ можно использовать при проектировании сетей мобильной связи на этапе составления матриц электромагнитной совместимости, так как он позволяет анализировать мощность сигнала на границе зоны обслуживания БС при условии учета характера городской застройки и расположения МС на границе зоны обслуживания БС.

К направлениям дальнейших исследований в данной области следует отнести анализ влияния изменения поляризации электромагнитных волн в точках отражения от стен зданий на величину мощности сигнала на входе приемника МС, находящейся на границе зоны обслуживания БС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриленко В.Г. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи / Гавриленко В.Г. – Нижний Новгород, 2003. – 148 с.
2. Утц В.А. Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей / В.А. Утц // Вестник Балтийского государственного университета им. И. Канта. – 2011. – № 5. – С 44–49.
3. Карпов А.А. Модель городского многолучевого радиоканала с предварительной обработкой данных о городской застройке / А.А. Карпов // Журнал радиоэлектроники. – 2008. – № 8. – С. 3–9.
4. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 224 с.
5. ITU-R Recommendations. 2001. P. 1546
6. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ. / Сукачев Э.А. – [3-е изд., испр. и доп.]. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
7. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров: русская версия / Очков В.Ф. – Петербург: BHV, 2009 г. ISBN 978-5-9775-0403-4

REFERENCES

1. Gavrilenko, V.G. *Distribution of Radio Waves in Modern Systems of Mobile Communication*. Nizhny Novgorod: 2003.
2. Utts, V.A. "Research of Losses at Distribution of a Radio Signal of Cellular Communication on the Basis of Statistical Models." *The Bulletin of the Baltic State University of I. Kant* 5 (2011): 44-49.
3. Karpov, A.A. "Model of a City Multibeam Radio Channel with Preliminary Data Processing about City Building." *Journal of Radio Electronics* 8 (2008): 3-9.
4. Babkov, V.Yu., M.A. Voznyuk, and P.A. Mihaylov. *Networks of Mobile Communication. Frequency and Territorial Planning*. Moscow: Hot Line – Telecom, 2007.
5. ITU-R Recommendations. 2001. P. 1546
6. Sukachev, E.A. *Cellular Networks of a Radio Communication with Mobile Objects*. 3rd ed. Odesa: O.S. Popov ONAT, 2013.
7. Ochkov, V.F. *Mathcad 14 for Students and Engineers*. N.p.: Petersburg:BHV, 2009. Print. ISBN 978-5-9775-0403-4.