

УДК 621.391.812.3

**Учёт особенностей распространения радиоволн над водной гладью при проектировании уровня электромагнитного поля в системах подвижной радиосвязи**

**Пищин Олег Николаевич**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Связь»  
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»  
E-mail: o.pishin@yandex.ru.

**Бестаева Наталия Викторовна**

Магистрант ФГБОУ ВО  
«Астраханский государственный технический университет»  
E-mail: nat.bestaeva@yandex.ru.

**Зубова Анастасия Дмитриевна**

Магистрант ФГБОУ ВО  
«Астраханский государственный технический университет»  
E-mail: zubovaanastasia33@gmail.com.

**Орлова Анна Андреевна**

Магистрант ФГБОУ ВО  
«Астраханский государственный технический университет»  
E-mail: anna.a\_orlova@mail.ru.

Адрес: 414056, г. Астрахань. ул. Татищева, 25.

**Аннотация:** Материалы исследования посвящены решению задач точного определения различий уровня затухания радиосигналов сотовой связи над водной гладью от уровней затухания в других условиях распространения радиоволн, применяемых, как правило, в системах проектирования мобильной связи.

Для получения модели расчёта уровня затухания над водной поверхностью были проведены экспериментальные исследования уровней затухания электромагнитного поля, формируемого сигналами сотовой связи над водной гладью. Для измерений использовалось профессиональное измерительное оборудование: Drive-Test Agilent E7475A - интегрированная измерительная система для анализа радиопокрытия в сетях сотовой связи. В результате получена новая методики расчёта распространения радиоволн в системах сотовой связи над водной гладью. Получен погонный коэффициент для расчёта затухания сигналов сотовой связи над водной гладью, упрощающий проведение предварительных расчётов при проектировании систем мобильной связи. Проведён сравнительный анализ уровней затухания радиосигналов в УВЧ диапазоне для различных типов подстилающей поверхности (свободное пространство, сельская местность, водная гладь).

**Ключевые слова:** затухание уровня сигнала, водная гладь, проектирование систем сотовой связи, распространение радиоволн над водой, радиопланирование.

**Вводная часть**

Современный период развития систем подвижной радиосвязи, характеризуется высокой степенью внедрения инноваций и, одновременно, растущими потребностями потребителей по уровню и объёму предоставления услуг в системах подвижной радиосвязи. Высокий потребительский рост на уровень услуг с одной стороны инициирован самими оператором связи, с другой стороны разработчиками приложений, требующих всё большие ресурсы как

от беспроводной сети, так и самих мобильных устройств.

Существующая сеть мобильной связи сложна была в реализации и до внедрения стандартов третьего и четвёртого поколения, однако современная её иерархичность и многогранность управления её параметрами предъявляет высокие требования к вопросам оптимизации уже организованных технических систем и систем, дополнительно надстраиваемых

мых или взаимно заменяющих технологии внутри сети одного оператора.

Вопросы оптимизации и предварительного проектирования систем подвижной радиосвязи [1,2], исследования современных учёных, касающиеся систем подвижной радиосвязи, охватили широкий спектр методов расчёта затухания для различных типов местности (город, пригород, сельская местность) [3-5]. Имеется пакет исследований затухания электромагнитного поля в зелёных насаждениях (лесу) [6,7], а также разработаны методики учёта неоднородностей при расчёте уровня электромагнитного поля в помещении [8]. Однако решение проблем проектирования систем сотовой связи [1,2,9], моделирование уровня электромагнитного поля, происходит без рассмотрения особенностей распространения радиоволн над водной гладью.

Водоёмы, которые являются неотъемлемой частью большого числа населённых пунктов, озёра, пруды, большой протяжённости водохранилища, а также реки, имеют весьма значимые размеры или протяжённости водной глади по сравнению с размерами населённых пунктов.

Дальнейшее отсутствие учёта особенностей распространения радиоволн при проектировании, оптимизации и настройке существующих сетей радиосвязи может привести к некорректным результатам радиопланирования и размещению новых объектов радиоэлектронных средств (РЭС), что в реальной электромагнитной обстановке может привести к дополнительной паразитной интерференции, рассогласованности в построении иерархии сети, ошибочном назначении эстафетной передачи сигнала (хэндовера), образованию зон так называемых «островов», и так далее, что однозначно, как следствие, будет приводить к ухудшению параметров качества сети, выражающихся в снижении скорости передачи данных, снижению качества передачи речи или обрывам телефонных соединений.

### **Основная часть**

Основные используемые диапазоны частот при предоставлении услуг в системах сотовой связи (фиксированной связи) в соответствии с действующими нормативными актами [10] закреплены в области: 900 МГц, 1800 МГц, 2100 МГц, 2600 МГц. Несмотря на принадлежность диапазонов 900 и 1800 МГц к системам связи 2-го поколения (GSM – Global System for Mobile Communications) активность использования этого ресурса значительно увеличилась с введением принципа технологической нейтральности [11], заключающемся в использовании частотных диапазонов не только той технологией, для которой частоты были выделены ранее, но и предоставления возможности, например, для технологии 4-го поколения LTE (Long-Term Evolution) использовать радиочастотный ресурс, предназначенный для систем GSM. Таким образом, актуальность исследований в диапазонах частот 900-1800 МГц, которые используются наиболее интенсивно, значительно возрастает.

В рекомендациях Международного союза электросвязи МСЭ-R P.1546-5 [12,13] раскрыт метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц, однако эти рекомендации не совсем точны для систем сотовой связи, так как рассчитаны в основном для мощности передатчика в 1кВт, что характерно для систем радиовещания. Моделей затухания электромагнитного поля (ЭМП) над водной гладью для систем подвижной радиосвязи, адекватно отражающих реальную электромагнитную обстановку, в рекомендациях не приведено.

Для повышения точности радиопланирования, соблюдения электромагнитной совместимости и максимально гарантированного отсутствия непреднамеренных помех (как внесистемных, так и внутрисистемных) при проектировании систем сотовой связи, необходимо учитывать различия в затухании сигналов сотовой связи над сушей и над водной поверхностью, что в настоящее время отсутствует в со-

Таблица 1 – Усредненные значения коэффициентов отражения

№ п/п	Вид поверхности	$\Phi$ при длинах волн, м			
		0,18-0,15	0,08-0,07	0,05	0,03-0,015
1	Водная поверхность	0,99 - 0,95	0,95 - 0,85	0,85 - 0,63	0,45 - 0,2
2	Равнина, пойменные луга, солончаки	0,99 - 0,95	0,8 - 0,6	-	-
3	Ровная лесистая местность	0,8 - 0,6	0,6 - 0,5	0,5 - 0,3	0,3 - 0,1
4	Среднепересечённая лесистая местность	0,5 - 0,3	0,3 - 0,2	-	-

временных методиках расчётов и, как следствие, в современных средствах автоматизированного проектирования.

На открытых интервалах линий передачи расчёт множителя ослабления для радиолинии имеет интерференционный характер, так как в точку приёма кроме прямой волны могут приходиться одна или несколько волн, отражённых от земной поверхности. Интерференционный множитель ослабления  $V$  рассчитывается по формуле [14, 15]:

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2 \cdot \Phi \cdot \cos\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot r} + \theta\right)},$$

где  $\Phi$  – модуль коэффициента отражения;  $h_1$  – высота подъёма передающей антенны, м;  $h_2$  – высота подъёма приёмной антенны, м;  $r$  – расстояние между точками приёма и передачи, м;  $\theta$  – фаза коэффициента отражения, град.;  $\lambda$  – длина волны, м.

Для расчёта интерференционного множителя ослабления необходимо, как правило, определять модуль коэффициента отражения  $\Phi$  и его фазу  $\theta$ . Для определения коэффициента отражения и его фазы необходимы такие данные, как диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  подстилающей поверхности и угол скольжения  $\Delta$ , определяемый графическим путём и зависящий от расстояния между антеннами и от высоты подъёма антенн над уровнем водной глади.

Модуль коэффициента отражения и его фаза определяются по номограммам «Кривые модулей коэффициентов отражения» и «Кривые аргументов коэффициентов отражения», приведённым в [16].

При распространении радиоволн на большие расстояния значение фазы коэффициента отражения стремится к  $180^\circ$  ( $\theta \rightarrow 180^\circ$ ) и, из-за сложности вычисления коэффициентов отражения, к расчёту можно принять и их усреднённые значения, выбираемые из таблицы «Усреднённые значения коэффициентов отражения» [17,18] (Таблица 1).

Интерференционный множитель ослабления, учитывающий рассеянное распространение радиоволн, это характерно только для шероховатых поверхностей (суша). Условия направленного отражения радиоволн, создаваемые зеркальными поверхностями (поверхности водоёмов) множитель ослабления учитывать не может.

Достаточно редким случаем является тот факт, что оператор сотовой связи направляет азимуты антенн на противоположную сторону суши через водную преграду. Как правило зону обслуживания базовых станций ограничивают локально на суше с одной стороны реки или водоёма, и обеспечением связью водных путей или противоположного берега не занимаются.

Однако, практически идеальный вариант размещения антенн был использован в прибрежной части реки Волга на территории г. Астрахань на базе оператора ЗАО «Астрахань GSM», где и проводились исследования распространения радиоволн сотовой связи над водной гладью.

Для исследований был выбран сайт, где размещены были сразу 2 базовые станции, работающие в диапазонах 1800 и 900 МГц, установленные на антенно-мачтовом устройстве

(ул. Дзержинского, 56/1). Активные азимуты исследуемых направлений излучения антенн составляли 0 (ноль) и 110 градусов для обоих стандартов. Установленные у оператора антенные системы KATHREIN K739623 (GSM 900) и K739495 (DCS 1800) имеют диаграммы направленности в горизонтальной плоскости 65°, что позволяет нивелировать некоторую приближённость азимутальной точности размещения измерительного оборудования во время проведения эксперимента.

Макет размещения измерительного оборудования на местности представлен на рисунке 1.

Базовые станции размещены в точке А (46°20'41"СШ, 47°59'43"ВД), измерения проводились в точках В, С, D, и Е. Ввиду однородной местности в районе базовой станции (сельская местность с этажностью строений 1-2 этажа) уровни сигналов в направлении обоих азимутов излучения (0° и 110°), измеряемые в точках В и С соответственно, были практически идентичны, что подтверждает исправность как антенного оборудования, так и передатчиков, работающих в одинаковых режимах на полную мощность. Расстояние от базовой станции до точек В и С обозначим для удобства внесения в таблицу через «х».

В имеющихся работах одного из авторов [15] есть неточности в полученной модели, сказывающиеся на корректности результирующих расчётов. С целью повышения корректности методики и расширения её диапазо-

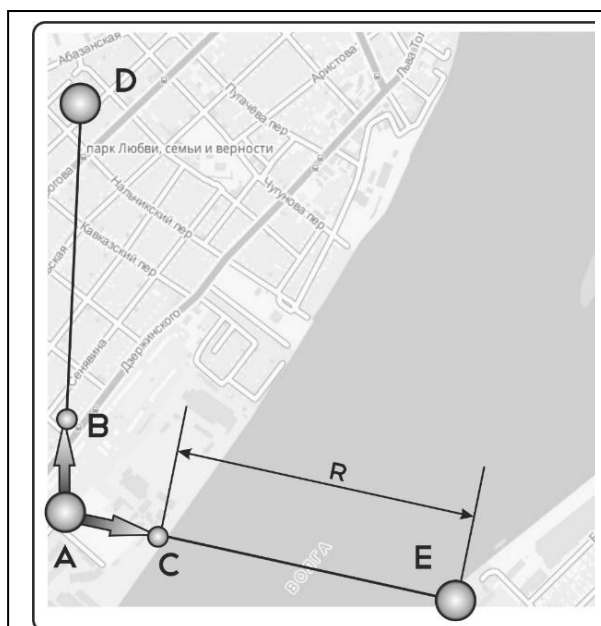


Рис.1. Макет размещения измерительного оборудования при проведении эксперимента

на практического применения в работе использованы дополнительные эксперименты, которые были осуществлены в зимний период с тем, чтобы учесть различия в состоянии водной глади (частичного оледенения) в зимний период.

Результаты исследований, проводимых в несколько этапов с целью охватить воздействие климатических факторов на водную гладь, внесены в таблицу 2.

Расстояние мест контрольных измерений (точек D и E) до базовой станции (точка А) было подобрано одинаковым и выбрано, таким образом, чтобы измерительный комплекс на-

Таблица 2 - Результаты экспериментальных исследований затухания радиосигнала в УВЧ диапазоне над водной гладью, проведённые в летний и зимний период

Длина волны $\lambda$ , (м)	Математическое ожидание уровней затухания сигнала, (dBm), с учётом быстрых замираний			
	Затухание вблизи станции (точки В и С)	Затухание над сушей (точка D: 46°21'20"СШ, 47°59'44"ВД) ( $R \sim x+800$ м)	Затухание над водной гладью летом (точка E: 46°20'36"СШ, 48°00'31"ВД) ( $R \sim x+800$ м)	Затухание над водной гладью зимой (частично покрытие льдом) (точка E) ( $R \sim x+800$ м)
~ 0,32	40,3	65,6	45,8	46,3
~ 0,16	56,9	82,3	62,4	63,5

ходилась в основном створе диаграммы излучения антенн, соответственно азимут  $0^\circ$  для точки D ( $46^\circ 21' 20''$ СШ,  $47^\circ 59' 44''$ ВД) и азимут  $110^\circ$  для точки E ( $46^\circ 20' 36''$ СШ,  $48^\circ 00' 31''$ ВД). Одновременно, трасса радиолинии A-D проходит над сушей, а трасса A-E над водной гладью.

В состав измерительного оборудования вошли измерительный комплекс DriveTest Agilent E7475A - интегрированная измерительная система для анализа радиопокрытия в сетях GSM/DCS в комплекте с измерительными телефонами Sagem OT-75 и OT-290, а также телефоны с установленной программой «NetMonitor» Nokia 6201, Nokia E51, Nokia 3110.

Результаты измерений подтвердили, что уровень электромагнитного поля при распространении радиоволн исследуемого диапазона при прохождении над водной гладью оказался значительно выше уровня поля, трасса прохождения которого находилась над сельской местностью. Можно сделать вывод, что затухание над водной гладью для диапазона 1800 МГц более чем в 4,5 раза меньше, чем над сельской местностью при наличии прямой видимости антенн абонентской и базовой станций.

Возможно представление затухания над водной гладью в виде погонного коэффициента затухания  $a_m$ . В этом случае можно использовать полученные при экспериментах результаты расчётов для диапазона 1800 МГц:

$$a_{m\_водная\_гладь\_1800} \approx 0,006875, \text{ дБ/м.}$$

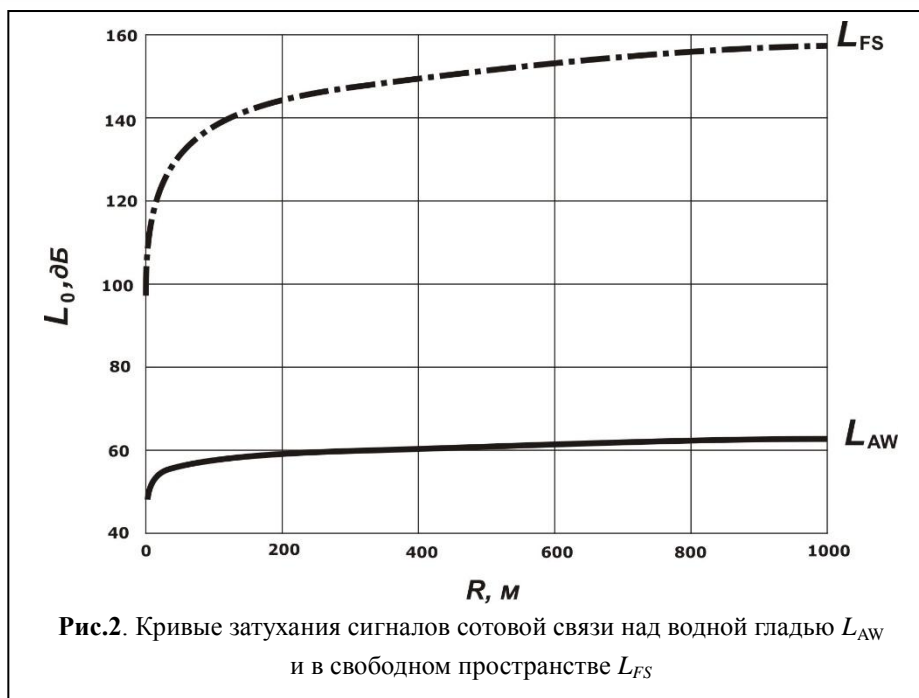


Рис.2. Кривые затухания сигналов сотовой связи над водной гладью  $L_{AW}$  и в свободном пространстве  $L_{FS}$

Аналогичные данные, согласно проведенным экспериментам, получены и для диапазона 900 МГц:

$$a_{m\_водная\_гладь\_900} \approx 0,006875, \text{ дБ/м.}$$

Для систем мобильной связи уровень затухания, как правило, происходит по логарифмически нормальному (логнормальному) распределению [19,20], поэтому для получения модели затухания сигналов сотовой радиосвязи над водной гладью результаты экспериментов аппроксимированы зависимостью для систем, работающих в диапазоне 900 МГц:

$$L_{AW\_900} = 0,95 \cdot (33,5 + 5 \cdot \lg(f) + 5 \cdot \lg(r)),$$

а для систем, использующих диапазон частот 1800 МГц, модель имеет вид:

$$L_{AW\_1800} = 0,95 \cdot (49,5 + 5 \cdot \lg(f) + 5 \cdot \lg(r)),$$

где  $L_{AW\_900}$ ,  $L_{AW\_1800}$  – потери передачи (затухание) в соответствующих диапазонах над водной гладью;  $f$  – рабочая частота, (ГГц);  $r$  – дистанция от передатчика базовой станции до приёмника абонентской радиостанции, (м); 0,95 – коэффициент отражения сигнала от водной глади (таблица 1). Для сравнения полученной методики расчёта с методикой расчёта затухания в свободном пространстве:  $L_{FS} = 32,45 + 20 \cdot \lg(f) + 20 \cdot \lg(r)$ , где  $L_{FS}$  –



потери передачи в свободном пространстве, построена графическая зависимость кривых потерь передачи для свободного пространства (free space – свободное пространство) и для водной глади (рис.2).

### Выводы

Повышение эффективности строительства и эксплуатации систем сотовой связи в условиях постоянно усложняющейся электромагнитной обстановки и необходимости периодической реконструкции уже функционирующих современных систем радиосвязи, становится ещё более актуальным.

В целях повышения точности систем проектирования была разработана методика (1) оценки затухания сигналов сотовой связи в диапазоне 900/1800 МГц над водными поверхностями, которые позволяет с высокой точностью вычислять затухание радиоволн над водной гладью:

$$\begin{cases} L_{AW\_900} = 0,95 \cdot (33,5 + 5 \cdot \lg(f) + 5 \cdot \lg(r)); \\ L_{AW\_1800} = 0,95 \cdot (49,5 + 5 \cdot \lg(f) + 5 \cdot \lg(r)). \end{cases} \quad (1)$$

Для проведения предварительных расчётов были экспериментально получены погонные коэффициенты затухания сигналов сотовой связи над водной гладью.

Использование новой методики расчёта позволит проводить максимально точные расчёты уровня распределения электромагнитного поля в населённых пунктах, разделённых водными преградами или имеющими водоёмы, а также соблюдать внутрисистемную электромагнитную совместимость при назначении частот для базовых станций вблизи водоёмов и каналов, повышая тем самым уровень качества обслуживания абонентов.

### Литература

1. Бабков В. Ю., Польшцев П. В., Устюжанин В. И. Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление / под ред. профессора А. А. Гоголя. М: Горячая линия - Телеком, 2005. 160 с.
2. Сети мобильной связи: планирование, оптимизация, управление / под ред. В.Ю. Бабкова,

В.А. Степанца. – СПб.:СПБГУТ-ИА Энергомашиностроение, 2007. – 108 с.

3. Кирюшин. Г. В., Маслов О. Н., Шаталов В. Г. Проектирование, развитие и электромагнитная безопасность сетей сотовой связи стандарта GSM: учебное пособие для вузов / ред. О. Н. Маслов. М: Радио и связь, 2000. – 146 с.

4. Весоловски К. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польского Н. И. Рудицкого. Под ред. А. И. Ледовского. М.: Горячая линия – Телеком. 2006. – 536 с.

5. Mogensen P.E., Eggers P., Jensen C., Andersen J.B. Urban Area Radio Propagation Measurements at 955 and 1845 MHz for Small and Micro Cells // Proc. of IEEE Global Commun. Conference (GLOBECOM), Phoenix, 1991. pp. 1297-1302.

6. Popov V. UNF radio wave propagation through woodlands in cellular mobile communication systems. In: 44nd. International Scientific Conference. October 11-13, 2003, Riga Technical University, Transport and Engineering, Railway Transport, Serija 6, Sejums 12, 2004.

7. Popov V., Chaiko A., Homicky V. Mogorit N. Effektive complex dielectric permittivity of forest media for Radio waves / Latvian Journal of Physics and Tehnical Sciences, 2001. №2. – Pp. 46-50.

8. Rappaport T.S. Wireless Communications, Principles and Practice, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 1996.

9. Пицун О.Н., Дмитриев В.Н. Повышение эффективности использования радиочастотного ресурса в сетях сотовой подвижной радиосвязи / Научно-технические ведомости СПбГПУ. №2-1(55). Санкт Петербург: Изд-во СПбГТУ. 2008. – С.35-39.

10. Постановление Правительства РФ от 21 декабря 2011 г. N: 1049-34 "Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации".

11. Пастух С.Ю. Общие сведения о технологической нейтральности использования радиочастот [Электронный ресурс] / НИИР. – май 2014. - Режим доступа: <http://niir.ru/news/otkrytye-dannye/doklady-i-prezentacii-fgup-niir/tehnologicheskaya-nejtralnost-ispolzovaniya-radiochastot-mezhdunarodnyj-opyt-polozhitelnye-i-otricatelnye-aspekty-vozmozhnosti-povnedreniyu-v-nekotoryx-polosax-chastot/> (дата обращения 03.07.2017).

12. Рекомендации МСЭ-R P.1546-5 (09/2013) «Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц».

13. ITU-R Recommendations. 2001. P. 1546.

14. Чёрный Ф.Б. Распространение радиоволн. – М.: Советское радио, 1972. – 464 с.

15. Пицун О. Н. Анализ и экспериментальные исследования затухания радиосигнала систем сото-

вой подвижной радиосвязи над водной гладью // Известия южного федерального университета. Технические науки. 2009. №1. – С.43-49

16. Чернышов В.П., Шейман Д.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: учеб. – М.: Радио и связь, 1989. – 238 с.

17. Справочник по радиорелейной связи / Каменский Н.Н., Модель А.М., Надеенко Б.С. и др.; – 2-е изд. Перераб. и доп. под редакцией С.В. Бородача. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

18. Василенко Г. О. Оценка ослабления сигналов сетей подвижной связи на коротких трассах прямой видимости / Электроника: Наука, Техника, Бизнес. 2008, №4. – С. 72-74.

19. Милютин Е. Р., Василенко Г.О., Сиверс М.А., Волков А.Н., Певцов Н.В. Методы расчёта поля в системах связи дециметрового диапазона. – СПб.: Трида, 2003. – 159 с.

20. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М.: Эко Трендз, 2005. – 296 с.

Поступила 28 августа 2017 г.

English

### The peculiarities of radio wave propagation above the water surface when engineering the electromagnetic field level in mobile radio systems

**Oleg Nikolaevich Pishchin** – Candidate of Technical Sciences, Communication Department Head, Federal State-funded Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University».

E-mail: o.pishin@yandex.ru.

**Natalia Viktorovna Bestaeva** – Master's Degree Student, Federal State-funded Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University».

E-mail: nat.bestaeva@yandex.ru.

**Anastasia Dmitrievna Zubova** – Master's Degree Student, Federal State-funded Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University».

E-mail: zubovaanastasia33@gmail.com.

**Anna Andreevna Orlova** – Master's Degree Student, Federal State-funded Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University».

E-mail: anna.a\_orlova@mail.ru.

Address: 414056, Astrakhan, Tatischev str., 25.

**Abstract:** The development level of today's mobile data transmission technology via radio channels and a pursuance of the mobile radio systems of higher level generations does not affect the wave propagation physical laws. Quality communication problems in the mobile systems therefore, as a rule, remain unaltered. One of these problems is the errors in the preliminary design systems of the placement of radio-electronic means in compliance with the requirements of electromagnetic compatibility. Professionals in radio communication systems are aware that the level of radio signal attenuation over water differs from the signal attenuation level over land. In practical terms the customer device users of cellular systems confirmed the highest communication range, while at sea or nearby the large bodies of water when using cell phones. However, as the cellular systems are primarily intended to ensure communication in areas of customers' permanent stay (over land area) and so there was no proper attention to radio wave propagation research in cellular systems above the water surface. Rather rarely the cellular service operator uses an antenna azimuths direction that would distribute their energy over the water, as one of the main frequency planning tasks is to remove the maximum load of the customers' traffic. Thus, the area where such traffic is not expected then antenna azimuths are not scheduled. However, it is sometimes complicated electromagnetic environment in the coastal part of the reservoir during the field test that leads to unexpected results. That is why the work is dedicated to the experimental research of radio wave propagation above the water surface within the wave bands used by the mobile operators in order to obtain a precise model, which enables to perform calculations for the engineering of electromagnetic field level in the areas adjacent to large bodies of water. Successful completion of the experimental research enabled to obtain the calculation methods of the electromagnetic field level and also the linear damping factor for 900 and 1800 MHz electromagnetic waves in the environment of the radio signal propagation over the water.

**Keywords:** attenuation of the signal level, water surface, design of cellular systems, radio wave propagation over water, radioplanning.

## References

1. Babkov V. Yu., Polyntsev P. V., Ustyuzhanin V. I. Mobile communication service quality. Assessment, monitoring and control / Ed. by Professor A. A. Gogol. - M: Goryachaya liniya - Telekom, 2005. - 160 p.
2. Mobile Network planning, optimization, management / edit. Babkov V. Yu., Stepanets V. A.. The SUT-IA power Engineering, 2007. - 108 p.
3. Kiryushin. G. V., Maslov O. N., Shatalov V., Engineering, development and electromagnetic security of GSM cellular networks: textbook for higher education institutions / ed. by O. N. Maslov. - M: Radio i svyaz, 2000. - 146 p.
4. Krzysztof Wesolowski. Mobile Communication Systems / Transl. from Polish by N. I. Ruditsky. Ed. by Ledovskoy. M.: Goryachaya liniya – Telekom. 2006. - 536 p.
5. P. E. Mogensen, PEGgers, C. Jensen, J. B. Andersen. "Urban Area Radio Propagation Measurements at 955 and 1845 MHz for Small and Micro Cells", Proc. of IEEE Global Commun. Conference (GLOBECOM), Phoenix, 1991, pp. 1297-1302.
6. Popov V. UNF radio wave propagation through woodlands in cellular mobile communication systems. In: 44nd. International Scientific Conference. October 11-13, 2003, Riga Technical University, Transport and Engineering, Railway Transport, Serija 6, Sejums 12, 2004.
7. V. Popov, A. Chaiko, N. V. Homicky Mogorit Effektive complex dielectric permittivity of forest media for Radio waves. – Latvian Journal of Physics and Tehnical Sciences, 2001. No. 2, p. 46-50.
8. T. S. Rappaport, Wireless Communications, Principles and Practice, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J., 1996.
9. Pishchin O. N., Dmitriev V. N. Efficiency improvement of using radio frequency resource in cellular mobile radio communication/ Scientific and technical reports SPbSPU. No. 2-1(55). St. Petersburg: SPbGU publishing house . 2008. – P. 35-39.
10. RF Government Regulation Resolution from December 21, 2011 N 1049-34 "On approval of radio frequency allocation table between Radio Services of the Russian Federation and of annulment of certain Regulations of the Government of the Russian Federation".
11. Pastukh S. Yu. The overview of technological neutrality of using radio frequencies [Electronic resource]/ NIIR. – may 2014. -Access Mode : <http://niir.ru/news/otkrytye-dannye/doklady-i-prezentacii-fgup-niir/tehnologicheskaya-nejtralnost-ispolzovaniya-radiochastot-mezhdunarodnyj-opyt-polozhitelnye-i-otricatelnye-aspekty-vozmozhnosti-po-vnedreniyu-v-nekotoryx-polosax-chastot/> ( access date 03.07.2017).
12. Recommendations MCЭ-R P. 1546-5 "Prediction Method for path traces "station with area" for ground services in the frequency bandwidth from 30 MHz to 3000 MHz. (09/2013)
13. ITU-R Recommendations. 2001. P. 1546.
14. Cherny F. B. Radio wave propagation. – M.: Sovetskoye radio, 1972. – 464.
15. Pishchin O. N. Analysis and experimental study of the radio signal attenuation of the cellular mobile radio communication systems above the water surface. News of the Southern Federal University. Technical Sciences. 2009. No. 1. S. 43-49
16. Chernyshov V. P., Sheiman I. D. Radio wave propagation and antenna-feeder devices: textbook. – M.: Radio i svyaz, 1989. – 238 p.
17. Handbook of radio relay communication / Kamensky N. N., Model A. M., Nadeenko B. S., and other colleagues.; – 2-e Ed. revised and updated, edited by S. V. Borodich. – M.: Radio i svyaz, 1981. – 416 p
18. Vasilenko, G. O. Evaluation of signal attenuation in the mobile communication networks on short routes of direct vision // Elektronika: Nauka, Tekhnika, Biznes. – 2008 - №4 - p. 72-74.
19. Milyutin E. R., Vasilenko, G. O., Sivers M. A., Volkov A. N., Pevtsov N.V. Field calculation methods in ultra-high frequency communication systems. – SPb: Triada, 2003. – 159 p.
20. Popov V. I. GSM cellular communication fundamentals. - M.: Ecotrends, 2005. – 296 p.