

# Особенности расчёта предельно допустимых потерь мощности сигнала в системах мобильной связи

О.Н. Пицин, Е.И. Иванова

*Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия*

**Аннотация** - рассматриваются особенности расчёта максимально допустимых потерь мощности радиосигнала с обоснованием каждого слагаемого для различных систем сотовой связи: 2G, 3G и 4G. В работе также рассматривается задача представления модели расчёта энергетического бюджета радиoliniи в универсальном виде для использования в образовательном процессе в российских учреждениях высшего и среднего образования. Приводится подробное описание значений всех показателей формулы расчёта с описанием обоснования вариативности использования различных значений, опирающихся на различия используемых технологий в системах сотовой связи. Приводится пример расчёта «максимально допустимых потерь» в радиoliniях систем сотовой связи различных стандартов, и оценка безопасного расстояния размещения антенного оборудования. Моделирование зон радиопокрытия выполнено с опорой на экспериментальную модель, полученную авторами ранее для проведения расчётов затухания радиосигналов на расстояниях до 1000 м.

**Ключевые слова** - планирование сети сотовой связи, UMTS, 3G, 4G, LTE, энергетический бюджет радиoliniи, электромагнитная безопасность, предельно допустимый уровень мощности радиосигнала, модель расчёта затухания для расстояний до 1000 м, сотовая связь, мобильная связь, мобильный оператор T2.

## ВВЕДЕНИЕ

Для современного человека сотовая связь играет значительную роль в его жизни, и с каждым годом увеличивается спрос на услуги мобильных операторов. Одновременно с постоянным увеличением числа пользователей и потока данных, мобильные операторы развивают свои сети, проникают на новые для себя территории для предоставления своих услуг большому числу абонентов. Важным этапом развития любой системы связи является её предварительное

проектирование. Проект системы мобильной связи содержит в себе комплекс принятых решений по всем параметрам, влияющим на успешную его реализацию. В настоящей работе проведено исследование возможности организации системы мобильной связи на примере населённого пункта с. Татарская Башмаковка в Астраханской области, где услуги мобильного интернета развиты крайне слабо.

## 1. АКТУАЛЬНОСТЬ

Село Татарская Башмаковка (Рис. 1) расположено в Астраханской области. Население преимущественно сельское, виды деятельности: производство зерновых, бобовых, кормовых, технических, масличных, эфиромасличных и иных сельскохозяйственных культур, а также овощеводство, садоводство и животноводство.

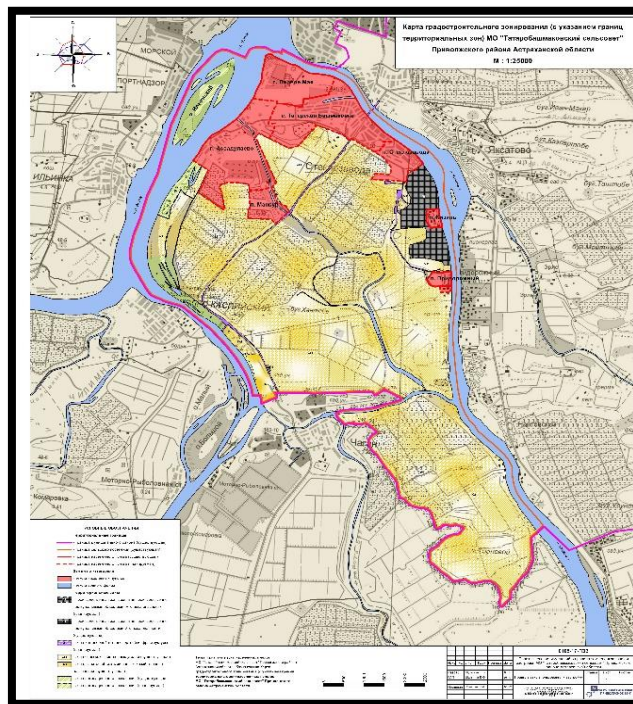


Рис.1 Территория с. Татарская Башмаковка

По переписи населения 2010 года количество жителей составляло около 2500 человек. По переписи населения в 2025 году количество жителей составляло уже более 5000 человек. Удвоение количества жителей в этом населенном пункте за указанный период говорит о необходимости расширения возможностей сети сотовой связи по предоставлению услуг в этом районе.

В настоящее время Российский сотовый оператор «Т2» в партнёрстве с «Ростелеком» реализует проект по развитию сети сотовой связи в Астраханской области. Ведутся работы по проектированию систем сотовой связи для этого оператора. На сегодняшний день, жители населённого пункта Татарская Башмаковка пока не обеспечены доступом в сеть сотового оператора «Т2». Нет доступа как к услугам голосовой связи, так и к услугам передачи данных. Проблемой оператора, является то, что лицензий на частотный диапазон систем второго поколения у оператора «Т2» на территории Астраханской области нет. Поэтому находясь в жёстких условиях конкуренции оператору необходимо проектировать такую сеть, которая могла бы стать конкурентной для существующих операторов сотовой связи «большой тройки» (ПАО «МегаФон», ПАО «МТС» и ПАО «ВымпелКом»).

Новому оператору предоставлена возможность развиваться только в диапазонах 2100 и 2600 МГц (в системах третьего (3G) и четвёртого (4G) поколений), имеющих значительно меньший радиус действия по сравнению с системами GSM (2G). Оператор вынужден решать свои задачи, используя лишь ту доступную часть ресурса, на которую у него имеется лицензия.

В современной научной литературе и учебниках опубликовано достаточное количество [1–3] материалов для проведения расчётов энергетического бюджета радиolini, определяющие предельно возможные потери мощности сигнала, однако формулы расчёта имеют разный состав переменных и различные обозначения одних и тех же параметров [1–3]. Часть параметров описываются, как однозначные данные без пояснения их вариативности, отсюда возникают вопросы обоснованности использования тех или иных значений основных параметров расчёта энергетического бюджета радиolini для различных систем (стандартов) сотовой радиосвязи.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, необходимо провести предварительную оценку возможной дальности распространения сигналов в диапазонах 3G и 4G сети сотовой связи в с. Татарская Башмаковка Астраханской области. Исследовать правила расчёта энергетического бюджета радиolini для различных стандартов систем сотовой связи с обоснованием показателей, используемых в расчётах предельно допустимых потерь уровня мощности сигнала радиосвязи и

получить карту радиопокрытия расширения сети и предоставления услуг, как голосовой связи на территории населённого пункта, а также услуг по предоставлению высокоскоростного интернета.

## III. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

У операторов связи «Т2» и «Ростелекома» отсутствуют лицензии на использование диапазонов частот 900 и 1800 МГц. Исходя из условий наличия лицензий у оператора «Т2» на территории Астраханской области, необходимо обеспечить и реализацию голосовых услуг на систему связи третьего поколения CDMA (Code Division Multiple Access — это множественный доступ с кодовым разделением каналов).

Для предоставления голосовых услуг необходимо использовать технологию CDMA (относится к сетям третьего поколения 3G), работающей на частоте 2100 МГц. Для предоставления высокоскоростного интернета в качестве конкурентной скорости передачи данных по сравнению с операторами «большой тройки» необходимо одновременно использовать и технологию LTE на частоте 2600 МГц.

Таким образом, в селе Татарская Башмаковка в Астраханской области необходимо будет построить сеть мобильной связи, опираясь на две технологии: CDMA (3G) и LTE (4G).

## IV. ВЫБОР АППАРАТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТИ

Выбор оборудования базовых станций (БС) и антенно-фидерных устройств является ключевым фактором, определяющим архитектуру сети, возможности масштабирования и капитальные/эксплуатационные расходы.

В рамках исследования был проведен сравнительный анализ решений трех ведущих производителей: Huawei, ZTE и Ericsson. Сравнение производилось по критериям мультистандартности, поддерживаемым частотным диапазонам, выходной мощности, массогабаритным показателям и климатической устойчивости.

Результаты анализа технических характеристик показали:

- Huawei DBS5900 представляет собой современное распределенное решение с поддержкой всех необходимых стандартов (2G/3G/4G) и широкого спектра частот – 900/1700/2100/2300/2600 МГц. Обладает лучшими массогабаритными показателями (вес модуля всего 18 кг). Температурный диапазон эксплуатации ограничен нижней планкой в минус 20°C, что создает риски при эксплуатации в аномально холодные зимы. Также внедрение оборудования нового вендора потребует создания дублирующей

логистической цепочки и переобучения персонала оператора T2.

- ZTE B8200 поддерживает все необходимые стандарты с рабочими частотами 900/1800/2100/2600 МГц, имеет модульную и достаточно гибкую архитектуру, однако данное оборудование не рекомендуется к использованию в рамках развертывания новых сетей, так как оно не соответствует современным требованиям, а также в связи со скорым завершением заводской поддержки.

- Ericsson RBS 6601 поддерживает полный спектр стандартов с полосой частот 800/1700/1900/1700/2100, 2600 МГц. Архитектура позволяет еще более гибко конфигурировать приемопередатчики (до 6+6+6 GSM, или до 4+4+4 WCDMA, или 1+1+1 LTE с полосой 20 МГц). Оборудование оптимизировано для низкого энергопотребления. Важным преимуществом является расширенный температурный диапазон от -40°C до +55°C, обеспечивающий надежность в климатических условиях региона. Данное оборудование широко используется в уже существующих проектах компании T2.

На основании проведенного анализа для реализации проекта была выбрана платформа Ericsson RBS 6601. Выбор обоснован сочетанием высоких технических параметров (поддержка LTE 2600 МГц, климатическая устойчивость), большим числом доступных технических возможностей и экономической целесообразностью.

Для выбора антенн был проведен анализ продукции компаний Andrew, Powerwave и Huawei:

- Антенна Andrew CVVPX306R3 работает на двух диапазонах частот 790-960 и 1710-2690 МГц, обладает более низким коэффициентом усиления, а также меньшими возможностями регулировки наклона антенны по сравнению с антенным оборудованием от Huawei;

- Антенна Powerwave 7765 имеет узкую ширину диаграммы направленности и низкий коэффициент усиления.

В качестве оптимального решения выбрана антенна Huawei A264521R1v06 с диапазоном частот 1695-2690 МГц. Антенна обеспечивает высокий коэффициент усиления (20,5 dBi) и ширину диаграммы направленности 65° в горизонтальной плоскости, что является стандартом для трехсекторной конфигурации.

Таким образом, подобрано оптимальное оборудование, которое можно использовать в лицензированных для исследуемого оператора диапазонах частот и отвечающее задачам проектирования.

## V. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЮДЖЕТА РАДИОЛИНИИ

Расчёт возможной дистанции (радиуса) обслуживания базовой станции необходимо начинать с

расчёта энергетического бюджета радиолинии. Определить энергетический бюджет радиолинии можно, используя актуальные модели расчёта затухания. Из энергетического бюджета можно вычислить предельную дальность распространения зоны уверенного приёма.

Зоной уверенного приёма будем считать зону связи (или предоставления услуги сотовой связи) с требуемым качеством, не смотря на воздействие возможных помех.

Энергетический бюджет радиолинии рассчитывается методом суммирования всех видов потерь и, например, предполагаемых или принимаемых усиления радиоканала, включая предполагаемые потери, в соответствии с [1]. Тогда расчет энергетического бюджета радиолинии производится по формуле:

$$L = P_{TX} + G_{TX} - P_{RX} - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fider} - IM - L_{slow}, \quad (1)$$

где  $L$  – максимально допустимое затухание радиолинии, дБ;

$P_{TX}$  – мощность передатчика, дБ;

$G_{TX}$  – коэффициент усиления передающей антенны, дБи;

$P_{RX}$  – чувствительность приемника, дБ;

$B_{BODY}$  – потери в теле абонента (актуально в большей степени только для систем GSM), дБ;

$G_{RX}$  – коэффициент усиления приемной антенны, дБи;

$B_{fider}$  – потери в фидере, дБ;

$IM$  – запас по интерференции, дБ;

$L_{slow}$  – запас на медленные замирания, берется равным 10,3 дБ [2].

В источнике [3] метод расчёта имеет вариативность, как в составе переменных, так и в их обозначении:

$$L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO} \quad (2)$$

где

$L_{MAPL}$  – максимально допустимые потери, дБ;

$P_{EIRP}$  – мощность передатчика, дБ;

$S_{Rx}$  – чувствительность приемника, дБ;

$G_{RxA}$  – коэффициент усиления антенны, дБи;

$L_{RxF}$  – потери в фидерном тракте, дБ;

$M_{Build}$  – запас на проникновение в помещение, дБ;

$M_{Int}$  – запас на помехи (то же самое, что и запас на интерференцию или интермодуляцию), дБ;

$M_{Shade}$  – запас на затенение (то же, что и запас на медленные замирания), дБ;

$G_{HO}$  – выигрыш от хэндовера (эстафетную передачу сигнала), дБ.

Как видно из двух представленных методов расчёта, в них имеется доля вариативности, которая требует обоснования.

Для использования в образовательном процессе в Российских учреждениях высшего и среднего образования предлагается, в обозначении переменных, использовать интуитивно понятную аббревиатуру с использованием стандартных международных латинских обозначений. Элементы затухания обозначать латинской буквой  $L$ , мощность и чувствительность –  $P$ , запас на затухание по дополнительным причинам –  $F$ , коэффициенты усиления –  $G$ .

Для расчёта энергетических потерь мощности сигнала в радиолиниях авторы предлагают представить формулы (1,2) в следующем виде:

$$L_{МДП} = P_{пер} - P_{пр} + G_{ант.пер} + G_{ант.пр} - L_{фидер} - (3) \\ - F_{помещ} - F_{интерф} - F_{замирания} + G_{эст},$$

где

$L_{МДП}$  – максимально допустимые потери на всём участке радиотрассы, дБ;

$P_{пер}$  – мощность используемого передатчика, дБ. Как правило мощность передатчика указывается в Ваттах (Вт). Для проведения расчётов значения мощности необходимо перевести в дБ.

Согласно приказу Минкомсвязи РФ от 17.02.2010 №31, максимальная выходная мощность передатчика базовой станции UMTS для одной несущей имеет вид согласно данным, представленным в Табл. I [4].

ТАБЛИЦА I  
МАКСИМАЛЬНАЯ ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОДНОЙ НЕСУЩЕЙ

Класс базовой станции	Эталонная чувствительность, дБм
Большого радиуса действия	38
Среднего радиуса действия	24-38
Локального радиуса действия	24

$P_{пр}$  – чувствительность приемника, дБ. Чувствительность приёмника в различных системах сотовой связи варьируется и может составлять

значения в среднем для стандарта GSM (2G) согласно данным, указанным в Табл. II [5].

ТАБЛИЦА II  
УРОВЕНЬ КОНТРОЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ AP

Диапазон частот	Класс AP	Уровень принимаемого полезного сигнала, дБм
GSM 900	Класс 4 и 5	-102
	Класс 2 и 3	-104
GSM 1800	Класс 1 и 2	-102
	Класс 3	-102

Уровень чувствительности в системах сотовой связи 3-го поколения оценивается на основании норм, указанных в Приказе Минкомсвязи России для UMTS [6], нормы представлены в Табл. III

ТАБЛИЦА III  
ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЭТАЛОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА РАЗНЫХ КЛАССОВ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ДИАПАЗОНЕ 2000 МГц

Класс базовой станции	Эталонная чувствительность, дБм
Большого радиуса действия	-121
Среднего радиуса действия	-111
Локального радиуса действия	-107

В системах 4-го поколения чувствительность приёмника зависит от используемой полосы частот, в соответствии с нормами для LTE [7,8], Табл.IV.

ТАБЛИЦА IV  
ПАРАМЕТРЫ ЭТАЛОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА БАЗОВОЙ СТАНЦИИ [7,8]

Полоса канала LTE, МГц	Значение эталонной чувствительности, дБм
1,4	106,8
3	103,0
5	101,5
10	101,5
15	101,5
20	101,5

Таким образом, расчет энергетических потерь мощности сигнала в радиолиниях необходимо производить исходя из задач проекта, возможностей оператора по предоставлению на каждом из участков проекта значений допустимой для использования полосы частот.

$G_{ант.пер}$  – коэффициент усиления антенны передатчика, дБ. Значение коэффициента усиления включается в расчёт из технических характеристик той

антенны, которая подобрана для проекта. Для антенн систем сотовой связи это, как правило, 15-22 дБи.

$G_{ант.пр}$  – коэффициент усиления антенны приемника, дБи. В среднем это значение одинаково у всех мобильных терминалов и составляет 2 дБи [1,3].

$L_{фидер}$  – потери в фидерном тракте, дБ. Потери в фидерном тракте необходимо предварительно рассчитать, исходя из протяжённости фидера (или высоты подвеса антенны, так как фидерный тракт, как правило, имеет протяжённость, равную расстоянию от передатчика до антенного оборудования) и погонного коэффициента затухания сигнала на 100 метров фидерного тракта (из технических характеристик используемого фидера). В настоящее время получил наибольшее распространение способ размещения радиомодуля непосредственно возле антенны без использования фидера, с тем, чтобы снизить затухание, вносимое фидерной линией, и радиомодуль (приёмопередатчик) могут размещать непосредственно вместе с антенной.

Размещение радиомодуля у антенного оборудования приводит к тому, что затуханием фидерного тракта служит только один разъём между радиомодулем и антенной, с потерями не более 0,3-0,5 дБ.

$F_{помещ}$  – запас на проникновение в помещение, дБ. Нормы запаса на проникновение сигнала в помещение указаны в [1,3] и соответствуют данным, приведённым в Табл. V.

ТАБЛИЦА V  
ЗНАЧЕНИЯ ЗАПАСА НА ЗАМИРАНИЯ СИГНАЛОВ LTE В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ЗАСТРОЙКИ

Условия распространения радиоволн	Значения запаса на замирания, дБ
Плотная городская застройка, 9-24 этажа	22
Городская застройка средней плотности 5-9 этажей	17
Пригород 3-5 этажей	12
Сельской местности 1-2 этажа (в автомобиле)	8

$F_{интерф}$  – запас на интермодуляцию (интерференционные помехи или межканальная интерференция), дБ. Как правило, составляет 2,0 дБ [2,3].

$F_{замирания}$  – запас на медленные замирания, как правило указывают в размере 10,3 дБ [1,2].

$G_{эст}$  – выигрыш, получаемый от «мягкой» эстафетной передачи (выигрыш от хэндовера), дБ. Выигрыш от мягкого хэндовера для системы GSM не учитывается, так как в этой системе эстафетная передача сигнала происходит по «жесткому принципу»: жесткий хэндовер с отключением канала связи на период до 3

мс. Начиная с систем 3-го поколения (3G), выигрыш от мягкого хэндовера устанавливают от 2 до 5 дБ, чаще всего используется значение 2,5 дБ [1-3].

Таким образом, исходные данные для сетей третьего поколения:

$$P_{пер} - 24дВт = -6 дБ ;$$

$$P_{пр} = -107 дБм = -137дБ ;$$

$$G_{ант.пер} = 18дБи ;$$

$$G_{ант.пр} = 2дБи ;$$

$$L_{фидер} = 0,3дБ ;$$

$$F_{помещ} = 8дБ ;$$

$$F_{интерф} = 2дБ ;$$

$$F_{замирания} = 10,3дБ ;$$

$$G_{эст} = 2дБ.$$

Используя формулу (3), рассчитываем максимально допустимые потери для систем связи третьего поколения:

$$L_{МДП}(3G) = 132,4дБ. \quad (4)$$

Модель затухания радиосигнала для систем 3-го и 4-го поколений построена на основе экспериментальных данных, рассмотрена в статье [9]. Модель отражает зависимость уровней сигнала на входе приёмного устройства от расстояния (до 1000 м):

$$L_{f_{2100MHz}} = 20,8 \cdot \log R + 67,8. \quad (5)$$

Приравняв формулу (5) к полученному значению максимально допустимых потерь для систем связи третьего поколения (4), определяем максимальную дальность распространения уверенного сигнала:

$$132,5 = 20,8 \cdot \log R + 67,8.$$

$$\log R = 3,11.$$

Тогда максимальная дальность распространения уверенного сигнала системы связи третьего поколения составит:

$$R \approx 1300 \text{ м.}$$

Исходные данные для расчёта максимально допустимых потерь для систем связи 4-го поколения:

$P_{пер} - 23дВт = -7 дБ$  (максимальная мощность передатчика для систем LTE) [10];

$$P_{пр} = -101,5 дБм = -131,5дБ ;$$

$$G_{ант.пер} = 18дБи ;$$

$$G_{ант.пр} = 2дБи ;$$

$$L_{фидер} = 0,3дБ ;$$

$$F_{помещ} = 8дБ ;$$

$$F_{интерф} = 2дБ ;$$

$$F_{\text{затмирения}} = 10,3 \text{ дБ};$$

$$G_{\text{эст}} = 2 \text{ дБ}.$$

Используя формулу (3), рассчитываем максимально допустимые потери для систем связи четвёртого поколения:

$$L_{\text{МДП}}(4G) = 125,9 \text{ дБ}. \quad (6)$$

Приравняв формулу (5) к максимально допустимым потерям для систем сотовой связи четвёртого поколения (6), определяем максимальную дальность распространения уверенного сигнала:

$$125,9 = 20,8 \cdot \log R + 67,8;$$

$$\log R = 2,79.$$

Тогда максимальная дальность распространения уверенного сигнала для системы связи четвёртого поколения составит:

$$R \approx 617 \text{ м}.$$

Для визуализации на цифровой карте местности проводим расчёт и моделирование зоны радиопокрытия для каждого из стандартов, используя автоматизированный программный комплекс проектирования радиосвязи RPLS ONEGA [11].

## VI. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ

Установка базовых станций нового оператора будет целесообразна на уже существующих и эксплуатирующихся площадках операторов ПАО «МТС» и ПАО «МегаФон», а для улучшения качества сигнала дополнительно будет нужна ещё одна базовая станция с собственной площадкой (3 площадки на Рис.2). При выборе мест установки БС учитывается рассчитанное значение дальности связи.

Размещение станций 4-го поколения произведено на площадках совместно с базовыми станциями 3-го поколения, что позволяет обеспечить оптимальный доступ населения к услугам передачи данных на всей территории села Татарская Башмаковка (Рис.3).



Рис.2 Карта радиопокрытия сети сотовой связи с оценкой распределения уровня мощности поля для стандарта 3G

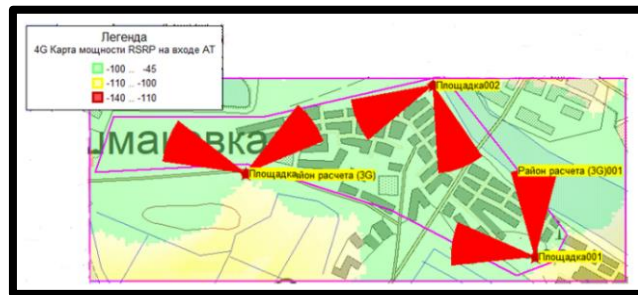


Рис. 3 Карта радиопокрытия, отражающая степень доступности уровня мощности поля при передаче данных для стандарта 4G

Для исследования вопросов электромагнитной безопасности для населения на территории данного населенного пункта необходимо оценить уровень опасности излучения радиоэлектронных средств (РЭС) и рассчитать расстояние, предельно допустимого уровня излучения антенн.

## VII. ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

При проектировании сети в жилой зоне критически важным является соблюдение санитарных норм. Расчет плотности потока энергии (ППЭ) с опорой на предельно допустимые нормы для населения [12], производился по формуле:

$$П = \frac{P_{\text{пер}} \cdot G_{\text{ант}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (7)$$

где  $П$  - предельно допустимый уровень излучения, мкВт/см<sup>2</sup>;  $P_{\text{пер}}$  - мощность передатчика, Вт;  $G_{\text{ант}}$  - коэффициент усиления антенны, дБ;  $r$  - безопасное расстояние от излучателя антенны, м.

Безопасное расстояние  $r$ , на котором ППЭ не превышает нормативного значения 10 мкВт/см<sup>2</sup> (согласно СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 для населения при неподвижной диаграмме направленности антенны [12]), рассчитывается как:

$$r = \sqrt{\frac{P_{\text{пер}} \cdot G_{\text{ант}}}{4 \cdot \pi \cdot П}}, \quad (8)$$

где предельно допустимый уровень для населения составляет:

$$П = 10 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} = 0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Для антенн системы связи 3-го поколения расстояние составило:

$$r_{3G} = \sqrt{\frac{0,25 \cdot 18}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1}} = 1,9 [\text{м}].$$

А для антенн системы связи 4-го поколения оно составило:

$$r_{4G} = \sqrt{\frac{0,2 \cdot 18}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1}} = 1,7 [м].$$

Таким образом, определена дистанция (зона ограничения) в створе антенны при постоянном её излучении для безопасного размещения антенного оборудования. В пределах указанной зоны действия пребывания населения не допускается. Поэтому необходимо иметь в виду, что при монтаже антенного оборудования рассчитанные значения дальности связи обязательно соблюдать для дальнейшего получения санитарного сертификата на коммерческую эксплуатацию оборудования базовых станций в с. Татарская Башмаковка.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены особенности расчёта максимально допустимых потерь мощности радиосигнала для систем сотовой связи актуальных стандартов. Для оценки максимальной дальности распространения уверенного сигнала применена модель затухания радиосигнала для систем 3-го и 4-го поколений, построенная на основе экспериментальной модели, изложенной в статье [9].

Предложена формула расчёта энергетических потерь мощности сигнала в радиолиниях с интуитивно понятной аббревиатурой и использованием стандартных международных латинских обозначений.

Для организации зоны уверенной радиосвязи в с. Татарская Башмаковка с помощью автоматизированного комплекса проектирования и оптимизации радиосистем RPLS ONEGA получены карты радиопокрытия, показывающие распределения уровня мощности сигналов базовых станций. Они подтвердили необходимость установки 3-х базовых станций стандарта 3G и трёх базовых станция стандарта 4G.

Проведенная оценка электромагнитной обстановки показала, что нахождение человека в створе антенны на дистанции более 2-х метров является безопасным.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дюсенова, О. С. Исследование использования новых стандартов сотовой связи и широкополосного доступа LTE и WIGIG для предоставления услуг Triple Play / О. С. Дюсенова, О. Н. Пищин, Г. С. Павленко. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2013. — № 5 (52). — С. 45-49. — URL: <https://moluch.ru/archive/52/6793>. (дата обращения 31.03.2026)
- [2] Мищенко, В. Н. Сети радиодоступа систем сотовой радиосвязи с кодовым разделением каналов: учебно-методическое пособие / В. Н. Мищенко. — Минск: БГУИР, 2016. — 64 с. URL: <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/25510> (дата обращения 31.03.2026)
- [3] Варукина Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE. URL: [https://www.mforum.ru/arc/20110520\\_LTE\\_RNP\\_Varukina\\_180511.pdf](https://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf) (дата обращения 31.03.2021)
- [4] Приказ Министерства информационных технологий и связи РФ от 27 августа 2007 г. № 102 «Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов систем подвижной радиотелефонной связи. Часть V. Правила применения оборудования базовых станций и ретрансляторов систем подвижной радиотелефонной связи стандарта UMTS с частотным дуплексным разносом и частотно-кодовым разделением радиоканалов, работающих в диапазоне частот 2000 МГц»
- [5] РД 45.187-2001. Руководящий документ отрасли. Абонентские радиостанции систем сотовой подвижной связи. Стандарта gsm 900/1800. Общие технические требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035410?ysclid=mnfxkr0np0569142605> (дата обращения 01.04.2026)
- [6] Приказ Минкомсвязи России от 17.02.2010 N 31 (ред. от 12.05.2015) Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть V. Правила применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта UMTS с частотным дуплексным разносом и частотно-кодовым разделением радиоканалов (Зарегистрировано в Минюсте России 15.03.2010 N 16621) URL: <https://base.garant.ru/197787/> (дата обращения 02.04.2026)
- [7] Приказ Минкомсвязи России от 29.10.2018 N 572 Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ «Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.11.2018 N 52780) URL: [https://r-tel.ru/sitetemp/files/documents/regulations/572\\_29-10-2018.pdf](https://r-tel.ru/sitetemp/files/documents/regulations/572_29-10-2018.pdf) (дата обращения 02.04.2026)
- [8] Приказ Минкомсвязи России от 06.06.2011 N 128 (ред. от 22.06.2018) Об утверждении Правил применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE (Зарегистрировано в Минюсте России 24.06.2011 N 21165) URL: <https://base.garant.ru/55171631/> (дата обращения 02.04.2026)
- [9] Пищин О. Н., Пузанков Д. С. Модели расчета распределения уровня мощности электромагнитного поля в системах подвижной радиосвязи для малых дистанций в летний период // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. №2. С. 111–119.
- [10] Приказ Минкомсвязи России от 06.06.2011 N 129 (ред. от 01.04.2016) Об утверждении Правил применения базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи. Часть VI. Правила применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE (Зарегистрировано в Минюсте России 24.06.2011 N 21166) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902285149?ysclid=mnhcf8tqo570975142> (дата обращения 02.04.2026)
- [11] Программный комплекс ONEPLAN RPLS-DB планирования и оптимизации подвижной и фиксированной связи (сетевая версия) Реестровая запись №8968 от 28.01.2021 URL: [https://reestr.digital.gov.ru/reestr/310318/?sphrase\\_id=9138421](https://reestr.digital.gov.ru/reestr/310318/?sphrase_id=9138421) (дата обращения 03.04.2026)
- [12] Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 09.06.2003 N 135 (ред. от 19.12.2007) О введении в действие Санитарных правил и нормативов - СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03 (вместе с СанПиН 2.1.8./2.2.4.1383-03. 2.1.8. Физические факторы окружающей природной среды. 2.2.4. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, утв. Главным государственным

санитарным врачом РФ 09.06.2003) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 18.06.2003 N 4710) URL: <https://ekosf.ru/normativnye-dokumenty/em-polya/573-sanpin-2-2-4-1383-03/?ysclid=mnim37nn3z46468953> (дата обращения 03.04.2026)

### Информация об авторах

Пищин Олег Николаевич, к.т.н., доц., заведующий кафедрой «Связь», АГТУ, Астрахань, Россия, e-mail: [o.pishin@yandex.ru](mailto:o.pishin@yandex.ru)

Иванова Елена Ивановна, магистрант, АГТУ, Астрахань, Россия, e-mail: [elena.ivan03@mail.ru](mailto:elena.ivan03@mail.ru)

### Features of calculating the maximum allowable signal power loss in mobile communication systems

Oleg Pishchin, Elena Ivanova

*Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia*

**Abstract** - This paper examines the specifics of calculating maximum permissible radio signal power losses, with justification for each term for various cellular communication systems: 2G, 3G, and 4G. The paper also addresses the problem of presenting a model for calculating the energy budget of a radio link in a universal form for use in the educational process at Russian institutions of higher and secondary education. A detailed description of the values of all the parameters in the calculation formula is provided, with a description of the rationale for the variability of using various values based on the differences in the technologies used in cellular communication systems. An example of calculating the "maximum permissible losses" in radio links of cellular communication systems of various standards is given, along with an assessment of the safe distance for placing antenna equipment. Radio coverage areas are modeled using an experimental model previously obtained by the authors for calculating radio signal attenuation at distances of up to 1000 m.

**Keywords** – cellular network planning, UMTS, 3G, 4G, LTE, radio link energy budget, electromagnetic safety, maximum permissible radio signal power level, attenuation calculation model for distances up to 1000 m, cellular communications, mobile communications, mobile operator T2

### REFERENCES

- [1] Dyusenova, O. S. Issledovanie ispol'zovaniya novykh standartov sotovoy svyazi i shirokopolosnogo dostupa LTE i WIGIG dlya predostavleniya uslug Triple Play / O. S. Dyusenova, O. N. Pishchin, G. S. Pavlenko. — Tekst: neposredstvennyj // Molodoy uchenyy. — 2013. — № 5 (52). — S. 45-49. — URL: <https://moluch.ru/archive/52/6793>. (data obrashcheniya 31.03.2026)
- [2] Mishchenko, V. N. Seti radiodostupa sistem sotovoy radiosvyazi s kodovym razdeleniem kanalov: uchebno-metodicheskoe posobie / V.

- N. Mishchenko. — Minsk: BGUIR, 2016. — 64 s. URL: <https://libeloc.bsuir.by/handle/123456789/25510> (data obrashcheniya 31.03.2026)
- [3] Varukina L. Uprazhnenie po planirovaniyu radiosetey LTE. URL: [https://www.mforum.ru/arc/20110520\\_LTE\\_RNP\\_Varukina\\_180511.pdf](https://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf) (data obrashcheniya 31.03.2021)
- [4] Prikaz Ministerstva informatsionnykh tekhnologij i svyazi RF ot 27 avgusta 2007 g. № 102 «Ob utverzhdenii Pravil primeneniya bazovykh stantsij i retranslyatorov sistem podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi. Chast' V. Pravila primeneniya oborudovaniya bazovykh stantsij i retranslyatorov sistem podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi standarta UMTS s chastotnym dupleksnym raznosom i chastotno-kodovym razdeleniem radiokanalov, rabotayushchikh v diapazone chastot 2000 MGts»
- [5] RD 45.187-2001. Rukovodnyashchij dokument otrasli. Abonentskie radiostantsii sistem sotovoy podvizhnoj svyazi. Standarta gsm 900/1800. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035410?ysclid=mnfxkr0np0569142605> (data obrashcheniya 01.04.2026)
- [6] Prikaz Minkomsvyazi Rossii ot 17.02.2010 N 31 (red. ot 12.05.2015) Ob utverzhdenii Pravil primeneniya bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi. Chast' V. Pravila primeneniya oborudovaniya sistem bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi standarta UMTS s chastotnym dupleksnym raznosom i chastotno-kodovym razdeleniem radiokanalov (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 15.03.2010 N 16621) URL: <https://base.garant.ru/197787/> (data obrashcheniya 02.04.2026)
- [7] Prikaz Minkomsvyazi Rossii ot 29.10.2018 N 572 Ministerstvo tsifrovogo razvitiya, svyazi i massovykh kommunikatsij RF "Ob utverzhdenii Pravil primeneniya bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi. Chast' VI. Pravila primeneniya bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi standarta LTE i ego modifikatsii LTE-Advanced" (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 26.11.2018 N 52780) URL: [https://r-tel.ru/sitetemp/files/documents/regulations/572\\_29-10-2018.pdf](https://r-tel.ru/sitetemp/files/documents/regulations/572_29-10-2018.pdf) (data obrashcheniya 02.04.2026)
- [8] Prikaz Minkomsvyazi Rossii ot 06.06.2011 N 128 (red. ot 22.06.2018) Ob utverzhdenii Pravil primeneniya abonentskikh terminalov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi standarta LTE (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 24.06.2011 N 21165) URL: <https://base.garant.ru/55171631/> (data obrashcheniya 02.04.2026)
- [9] Pishchin O. N., Puzankov D. S. Modeli rascheta raspredeleniya urovnya moshchnosti elektromagnitnogo polya v sistemakh podvizhnoj radiosvyazi dlya malyx distantsij v letnij period // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2024. №2. S. 111-119.
- [10] Prikaz Minkomsvyazi Rossii ot 06.06.2011 N 129 (red. ot 01.04.2016) Ob utverzhdenii Pravil primeneniya bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi. Chast' VI. Pravila primeneniya oborudovaniya sistem bazovykh stantsij i retranslyatorov setey podvizhnoj radiotelefonnoj svyazi standarta LTE (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 24.06.2011 N 21166) URL: <https://docs.cntd.ru/document/902285149?ysclid=mnhcf8tqo570975142> (data obrashcheniya 02.04.2026)
- [11] Programmnyj kompleks ONEPLAN RPLS-DB planirovaniya i optimizatsii podvizhnoj i fiksirovannoy svyazi (setevaya versiya) Reestrovaya zapis' №8968 ot 28.01.2021 URL: [https://reestr.digital.gov.ru/reestr/310318/?sphrase\\_id=9138421](https://reestr.digital.gov.ru/reestr/310318/?sphrase_id=9138421) (data obrashcheniya 03.04.2026)
- [12] Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 09.06.2003 N 135 (red. ot 19.12.2007) O vvedenii v dejstvie Sanitarnykh pravil i normativov - SanPiN 2.1.8./2.2.4.1383-03 (vmeste s SanPiN 2.1.8./2.2.4.1383-03. 2.1.8. Fizicheskie faktory okruzhayushchej prirodnoj sredy. 2.2.4. Fizicheskie faktory proizvodstvennoj sredy. Gigenicheskie trebovaniya k razmeshcheniyu i ekspluatatsii peredayushchikh radiotekhnicheskikh ob'ektov. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy, utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 09.06.2003) (Zaregistrovano v Minyuste RF 18.06.2003 N 4710) URL:

<https://ekosf.ru/normativnye-dokumenty/em-polya/573-sanpin-2-2-4-1383-03/?ysclid=mnim37nn3z46468953> (data obrashcheniya 03.04.2026)

### **Information about the authors**

Pishchin Oleg Nikolaevich, Cand. of Techn. Sci., Associate Professor, Head of the Department of Communications, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: [o.pishin@yandex.ru](mailto:o.pishin@yandex.ru)

Ivanova Elena Ivanovna, Master's Student, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia, e-mail: [elena.ivan03@mail.ru](mailto:elena.ivan03@mail.ru)