

СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-28-35
УДК 621.391.812.3

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН УВЧ-ДИАПАЗОНА НА МЕСТНОСТИ С ЗЕЛеныМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Н. Пищин, Д. К. Султангалиева, К. В. Перова

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Представлена новая методика расчета затухания сигналов сотовой связи при их прохождении через листву лесонасаждений, используемых для озеленения в населенных пунктах Астраханской области (липа) и произрастающих в регионах, где указанная растительность может иметь преимущественный состав. Рассматриваются эмпирические модели распространения радиоволн в условиях лесонасаждений: модель Вайсбергера, модель COST-235. Построены кривые потерь сигнала на трассах, выведенные по новой методике. Проведен эксперимент для определения эффективности разработанной методики. Полученная методика подтверждает эффективность ее использования для повышения точности предварительного проектирования систем радиосвязи.

Ключевые слова: методика расчета, затухание радиосигнала, лесонасаждения, распространение радиоволн, модель Вайсбергера, модель COST-235.

Для цитирования: *Пищин О. Н., Султангалиева Д. К., Перова К. В.* Особенности распространения радиоволн УВЧ-диапазона на местности с зелеными насаждениями в условиях Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 1. С. 28–35. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-28-35.

Введение

Современное интенсивное развитие инфокоммуникационных технологий влечет за собой все более широкое использование инноваций, большая часть из которых основана на передаче информации посредством беспроводных систем. Активно ведется развертывание сетей 4-го поколения, так называемого LTE (Long-Term Evolution – долговременное развитие). Перспективность этого формата обусловлена, в том числе, и возможностью использования его для передачи цифрового телевидения. При проектировании любой системы связи необходимо предварительно провести моделирование ее работы в различных условиях, другими словами, провести исследование возможностей системы связи вышеуказанного стандарта для различных условий функционирования.

Наиболее важным условием для развертывания наземных систем связи является оценка затухания радиосигнала на трассе его распространения, проходящей вдоль земной поверхности с естественными препятствиями (лесонасаждения, холмы и пр.). В исследованных источниках и публикациях по данной тематике недостаточно отражены экспериментальные данные о свойствах лесонасаждений и древесной растительности [1–3]. В последнее время стало актуальным измерение комплексной диэлектрической проницаемости как почв, так и отдельных

«живых» деревьев [4]. Однако в диапазонах радиоволн в современных условиях, когда охватывается значительная часть «лесо-слоя», подобные измерения не проводились. Поэтому задача исследования особенностей распространения радиоволн в лесонасаждениях (сквозь листву) в настоящее время становится все более актуальной в инфокоммуникационных технологиях, особенно в таких системах, как системы подвижной радиосвязи общего пользования, в сетях беспроводного радиодоступа, а также в системах удаленного исследования, поиска и обнаружения биологических и техногенных объектов.

Листва представляет собой нестабильную систему, т. к. это система, приходящая в периодические и непериодические колебательные движения под воздействием ветра и осадков. Свойства массивов лесонасаждений зависят также от их возраста, сезонности, силы ветровых нагрузок и т. д., таким образом, свойства радиопрозрачности могут меняться случайным образом во времени и пространстве. За счет особенностей распространения радиоволн в листве, таких как сильное рассеяние, дифракция и поглощение электромагнитных волн элементами древесной растительности, а также амплитуды и фазы распространяющихся в них радиосигналов, радиоволны подвергаются пространственно-временным флуктуациям, и с повышением излучаемых частот амплитуда этих колебаний возрастает.

Единой модели распространения радиоволн в условиях местности с зелеными насаждениями и неравномерной застройки не существует в связи с большим количеством факторов, влияющих на затухание сигнала, и их нестабильностью во времени. В связи с этим имеется необходимость для разработки новой методики, которая отвечала бы требованиям мониторинга качества связи в Астраханской области.

Особенности проектирования радиолиний с учетом зеленых насаждений

При проектировании сотовой связи всегда возникает проблема равномерного покрытия для передачи сигналов без помех. Одним из препятствий равномерности являются площади с растительностью в виде кустарников или деревьев. Чтобы улучшить надежность и качество связи при наличии такого препятствия, необходимо максимально изучить характеристики канала радиосвязи.

Лесонасаждения (древесные массивы) можно классифицировать по уровню прозрачности в зависимости от рабочих частот приемно-передающих устройств (или базовых станций) [5, 6]:

1. Радиопрозрачные: на частотах $f < 10$ МГц, где суммарный погонный коэффициент затухания $a < (10^{-4} \div 10^{-3})$ дБ/м.
2. Полупрозрачные: на частотах $10 < f < 100$ МГц, где суммарный погонный коэффициент затухания $10^{-3} < a < 10^{-2}$ дБ/м.
3. Сильно поглощающая среда: на частотах $100 < f < 2\ 000$ МГц, где суммарный погонный коэффициент затухания $10^{-2} < a < 10^{-1}$ дБ/м.
4. Практически радионепрозрачная среда: на частотах $f < 2$ ГГц, где суммарный погонный коэффициент затухания $a > 10^{-1}$ дБ/м.

Теоретические результаты измерений распространения радиоволн в лесонасаждениях и экспериментальные данные сложно сравнить, т. к. эксперименты могли проводиться разными измерительными установками или приборами.

Наиболее подходящими для моделирования распространения радиоволн в условиях прохождения через зеленые насаждения являются эмпирические модели. При этом необходимо учитывать характер лесонасаждений, время года и пр. Поскольку в открытых источниках отсутствуют данные о программных моделях затухания радиоволн в лесонасаждениях, в частности для парков в городе Астрахани, а также не в полной мере рассмотрено влияние видового, структурного состава, свойств растительности на характер распространения радиоволн [1], была поставлена задача по рассмотрению этих вопросов.

Среди эмпирических моделей выделяются две модели распространения радиоволн в условиях лесонасаждений: модель Вайсбергера, имеющая ограничения по дальности (до 400 м) и по частоте (от 230 МГц до 95 ГГц), и модель COST-235.

Модель Вайсбергера получена эмпирическим путем, имеет вид

$$L(dB) = \begin{cases} 1,33 \cdot f^{0,284} \cdot d^{0,588} & \text{для условия } 14\text{м} < d_f \leq 400 \text{ м;} \\ 0,45 \cdot f^{0,284} \cdot d_f & \text{для условия } 0\text{м} < d_f \leq 14 \text{ м.} \end{cases}$$

Применяя формулу модели Вайсбергера $L(dB) = 1,33 \cdot 1800^{0,284} \cdot 500^{0,588}$, $L = 130,04$ дБ, получаем кривую потерь на трассе для частоты 1 800 МГц (рис. 1).

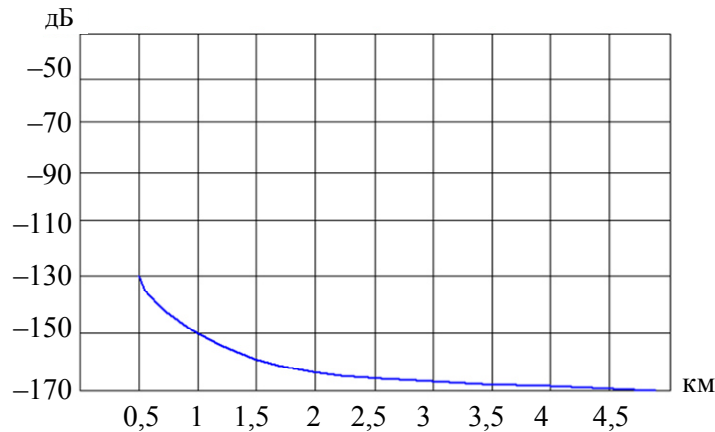


Рис. 1. Потери на трассе для модели Вайсбергера на частоте 1 800 МГц

Модель COST-235 основывается на серии экспериментов европейских ученых. Она имеет вид [7]

$$L(dB) = \begin{cases} 26,6 \cdot f^{-0,2} \cdot d^{0,5} & \text{out - of - leaf (условия небольшой лиственности);} \\ 15,6 \cdot f^{-0,009} \cdot d^{0,26} & \text{in - leaf (условия густой листвы).} \end{cases}$$

Для нашего случая выберем условия небольшой лиственности: $L = 110,14$ дБ, $L(dB) = 26,6 \cdot 1800^{-0,2} \cdot 500^{0,5}$

На рис. 2 представлены результаты, полученные по модели COST-235.

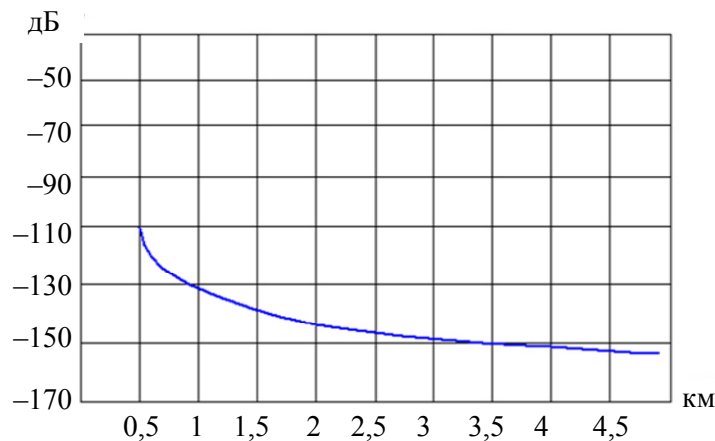


Рис. 2. Потери на трассе для модели COST-235 на частоте 1 800 МГц

Так как модели Вайсбергера и COST-235 не подходят для лесонасаждений Астраханской области, появляется необходимость разработки новой методики, которая адекватно оценивала бы распространение сигнала в подобной местности.

Методика для расчета использует ряд элементарных участков местности с просветами определенного размера, где крайние значения являются отметками высоты передатчика и приемника от уровня поверхности. Первый участок представляет собой свободное пространство до территории с растительностью (парка), второй участок – парк (рис. 3).

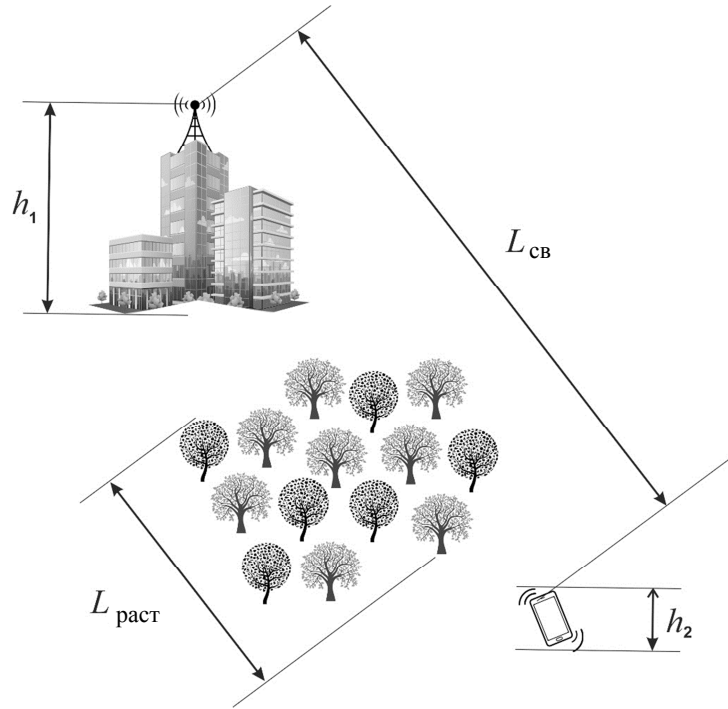


Рис. 3. Прохождение сигнала: $L_{св}$ – протяженность исследуемой линии связи; $L_{раст}$ – протяженность растительного покрова; h_1 – высота размещения антенн базовой станции; h_2 – высота антенны абонентской радиостанции

Согласно рекомендациям [8] методика расчета дополнительных потерь сигнала в листве и древесной растительности должна основываться на применении естественных параметров, это, как правило, коэффициент погонного ослабления (он отвечает за уменьшение силы энергии распространения радиоволн за пределами линии связи) и максимальное дополнительное (общее) ослабление сигнала в листве за счет потерь именно в растительном массиве. Затухание сигнала в свободном пространстве $L_{св}$, дБ, рассчитывается как

$$L_{св} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right),$$

где d – протяженность трассы, м; λ – длина волны, м.

Дополнительные ослабления в листве:

$$L_{доп} = A_m - A_m \cdot e^{\left(\frac{-d \cdot \gamma}{\lambda}\right)},$$

где A_m – наибольшее ослабление сигнала, дБ; γ – погонное ослабление сигнала для сокращенных трасс, пронизывающих растительность, дБ/м; d – протяженность трассы прохождения радиоволны сквозь листву, м.

Полные потери, согласно новой разработанной методике, над лесопарковой зоной L , дБ, рассчитываются по формуле

$$L_{св} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) + A_m - A_m \cdot e^{\left(\frac{-d \cdot \gamma}{\lambda}\right)}.$$

Зависимость A_m , дБ, от частоты излучения имеет вид $A_m = A_1 \cdot f^\alpha$, где A_1 – реальный уровень затухания на коротких участках лесистой местности, дБ; f – частота, МГц; α – отношение мощности, рассеянной в прямом направлении, к общей рассеянной мощности. Значение α в исследовании взято из Рекомендаций Международного союза электросвязи [8] для древесной растительности «липа с листвою» (табл.), ввиду того, что в исследуемом районе (в парке) преобладают именно эти деревья.

Значения α в зависимости от видов деревьев и частоты излучения сигнала

Частота излучения передатчика БС, МГц	Конский каштан с листвой	Серебристый клен с листвой	Серебристый клен без листвы	Липа обыкновенная с листвой	Липа обыкновенная без листвы
1 300	0,9	0,95	0,9	0,9	0,95
1 800*	–	–	–	0,91	0,95
2 000	0,75	–	0,95	–	0,95
2 200	–	–	0,95	–	–

* Значения α для частоты излучения 1 800 МГц спроектированы на основании измерений, проведенных в соседних частотных диапазонах, указанных в Рекомендациях Международного союза электросвязи (МСЭ-R P.833-6 «Ослабление сигналов растительностью») [8].

Значение коэффициента погонного ослабления сигнала в листве, γ , дБ/м, зависит от типа и плотности растительности. Стандартные значения коэффициента погонного ослабления, которые были получены в результате измерений на трассах, идущих через лесонасаждения, в диапазоне частот от 30 МГц до 30 ГГц [8], представлены на рис. 4.

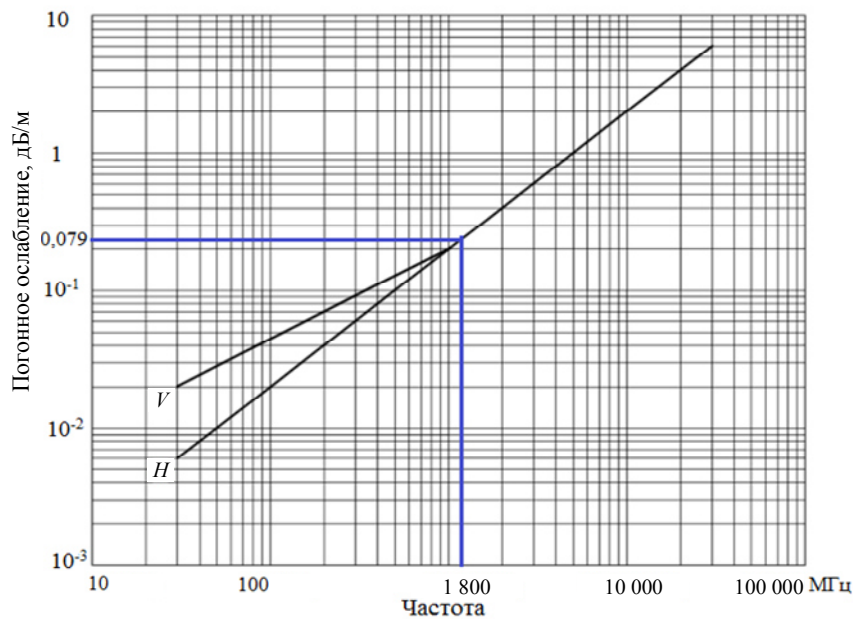


Рис. 4. Погонное ослабление, обусловленное лесистой местностью: V – вертикальная поляризация; H – горизонтальная поляризация [8]

Для нашего исследования величина погонного ослабления, γ , при частоте 1 800 МГц равна 0,079 дБ/м [8].

Следует учесть, что из-за непостоянства лиственной структуры деревьев, кустарников и других элементов зеленых насаждений, плотности их размещения, наклона и формы, а также времени года ослабление сильно меняется. Указанные на рис. 5 значения будем считать типовыми. Допустимые потери для системы LTE равны 155,5 дБ.

Применяя новую методику расчета затухания радиосигнала в Астраханской области с учетом коротких участков лесистой местности, получаем:

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4 \cdot 3,14 \cdot 500}{16,7} \right) + 20,5 - 20,5 \cdot e^{-\frac{500 \cdot 0,079}{16,7}} ;$$

$$L = 70,055 \text{ дБ.}$$

По результатам использования предложенной методики получаем кривую потерь на трассе распространения для частоты 1 800 МГц (для коротких участков лесопарковых зон с преобладанием насаждений из липы обыкновенной) (рис. 5).

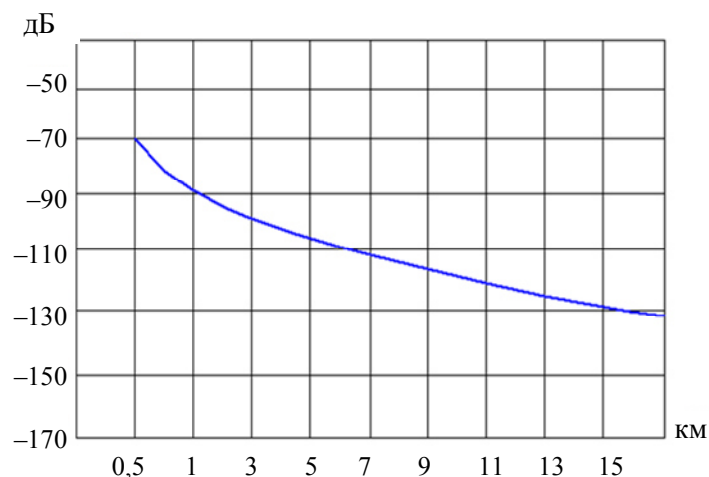


Рис. 5. Потери на трассе для новой методики расчетов затухания радиосигналов в Астраханской области на частоте 1 800 МГц

Результаты расчетов посредством новой методики являются наиболее приближены к реальным значениям измерений на местности, проведенных авторами работы в ходе исследования.

На рис. 6 представлено сравнение полученных авторами экспериментальных данных и зависимостей со значениями, полученными по модели Вайсбергера, COST 235, а также с применением новой методики расчета затухания сигнала в условиях городских лесонасаждений Астрахани.

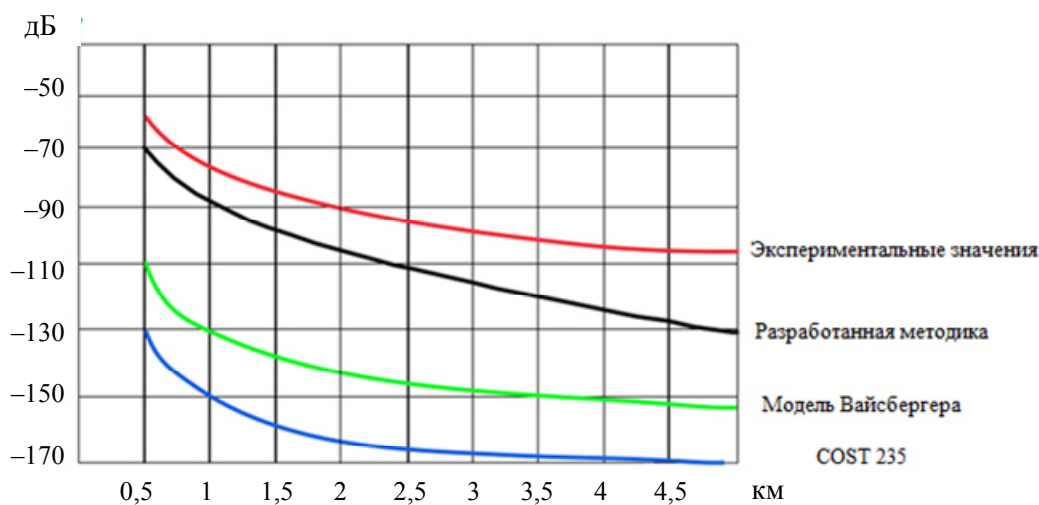


Рис. 6. Результаты эксперимента и различных моделей

Необходимо отметить, что новая методика расчета эффективна только на коротких трассах лесонасаждений. Однако для городской среды, где расчет распространения радиосигнала в системах сотовой связи является наиболее сложным процессом, использование полученной методики приведет к значительному повышению точности проектирования радиосистем.

Заключение

Проведено исследование уровня затухания сигналов сотовой связи на частоте 1 800 МГц в условиях коротких трасс лесонасаждений. Выполнен анализ существующих моделей расчета затухания радиосигнала на трассе распространения, проходящей вдоль земной поверхности с естественными препятствиями (лесонасаждения). Разработана методика расчета затухания радиосигнала, предназначенная для оценки затухания в коротких массивах парковых лесона-

саждений, построены кривые потерь сигнала на трассах. Расчеты, проводимые с помощью разработанной методики, являются наиболее точными и более близкими к экспериментальным измерениям по сравнению с используемыми в настоящее время моделями расчета.

Использование новой методики позволит повысить точность проведения предварительного проектирования на автоматизированных комплексах с использованием цифровых карт местности в условиях растительности с низкой плотностью для южных районов Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельгор А. Л., Попов Е. А. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 204 с.
2. Пищин О. Н., Дмитриев В. Н. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства в системах подвижной радиосвязи: учеб. пособие. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013. 244 с.
3. Пищин О. Н. Управление частотно-территориальным планированием современных систем подвижной радиосвязи на инновационной основе: моногр. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. 172 с.
4. Калинин А. А., Крылова М. С., Арманд Н. А., Каковкина А. Ю., Слюсарев В. И., Манаков В. Ю., Плющев В. А. Исследование взаимосвязи отражательных свойств сосновых лесов и водного режима элементов деревьев // Радиотехника и электроника. 2010. Т. 55. № 11. С. 1327–1334.
5. Попов В. И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М.: Эко-Трендз, 2005. 296 с.
6. Попов В. И. Распространение радиоволн в лесах. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 392 с.
7. Чухланцев А. А., Шутко А. М., Головачев С. П. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 11. С. 1285–1311.
8. МСЭ-R P.833-6. Ослабление сигналов растительностью. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-t/rec/p/R-REC-P.833-6-200702-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 15.10.2020).

Статья поступила в редакцию 13.12.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пищин Олег Николаевич – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук, доцент; зав. кафедрой связи; o.pishin@yandex.ru.

Султангалиева Джамия Канатовна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; студент, направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»; djamilya-10@mail.ru.

Перова Ксения Владимировна – Россия, 414056, Астрахань; Астраханский государственный технический университет; студент, направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»; sscdox12@gmail.com.



CHARACTERISTICS OF UHF RADIO WAVES PROPAGATION IN WOODLAND OF ASTRAKHAN REGION

O. N. Pishchin, D. K. Sultangalieva, K. V. Perova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article considers a new method for calculating the attenuation of cellular signals during their propagation in the forested areas frequently occurring in the Astrakhan region (linden) and the regions where the above trees predominate. There are also discussed the empirical models of a radio wave propagation in the forested areas, such as a Weisberger model and a COST-235

model. There have been built the curves of signal losses on the routes derived by the new method. There was conducted the experiment determining the effectiveness of the developed method. The obtained method has been found efficient for improving the accuracy of the preliminary design of radio communication systems.

Key words: method for calculating, attenuation of a radio signal, forested areas, propagation of radio waves, Weisberger model, COST-235 model.

For citation: Pishchin O. N., Sultangalieva D. K., Perova K. V. Characteristics of UHF radio waves propagation in woodland of Astrakhan region. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;1:28-35. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-28-35.

REFERENCES

1. Gel'gor A. L., Popov E. A. *Tekhnologiya LTE mobil'noi peredachi dannykh: uchebnoe posobie* [Technology LTE for mobile data transmission: tutorial]. Saint-Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. 204 p.
2. Pishchin O. N., Dmitriev V. N. *Rasprostranenie radiovoln i antenno-fidernye ustroystva v sistemakh podvizhnoi radiosvazi: uchebnoe posobie* [Radio wave propagation and antenna-feeder devices in mobile radio communication systems: tutorial]. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2013. 244 p.
3. Pishchin O. N. *Upravlenie chastotno-territorial'nym planirovaniem sovremennykh sistem podvizhnoi radiosvazi na innovatsionnoi osnove: monografiya* [Management of frequency-territorial planning of modern systems of mobile radio communication on innovative basis: monograph]. Astrakhan', Izd-vo AGTU, 2010. 172 p.
4. Kalinkevich A. A., Krylova M. S., Armand N. A., Kakovkina A. Iu., Sliusarev V. I., Manakov V. Iu., Pliushchev V. A. Issledovanie vzaimosvazi otrazhatel'nykh svoystv osnovnykh lesov i vodnogo rezhima elementov derev'ev [Study of relationship between reflective properties of pine forests and water regime of tree elements]. *Radiotekhnika i elektronika*, 2010, vol. 55, no. 11, pp. 1327-1334.
5. Popov V. I. *Osnovy sotovoi svyazi standarta GSM* [Basics of cellular communication of GSM standard]. Moscow, Eko-Trendz Publ., 2005. 296 p.
6. Popov V. I. *Rasprostranenie radiovoln v lesakh* [Propagation of radio waves in forests]. Moscow, Goriachaia liniya – Telekom Publ., 2015. 392 p.
7. Chukhlantsev A. A., Shutko A. M., Golovachev S. P. Oslablenie elektromagnitnykh voln rastitel'nymi pokrovami [Attenuation of electromagnetic waves by trees and plants]. *Radiotekhnika i elektronika*, 2003, vol. 48, no. 11, pp. 1285-1311.
8. MSE-R P.833-6. *Oslablenie signalov rastitel'nost'iu* [ITU-R P.833-6. Attenuation of signals by vegetation]. Available at: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.833-6-200702-S!!PDF-R.pdf (accessed: 15.10.2020).

The article submitted to the editors 13.12.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pishchin Oleg Nikolaevich – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Communication; o.pishin@yandex.ru.

Sultangalieva Djamilya Canatovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Student, training area 11.04.02 “Infocommunication Technologies and Communication Systems”; djamilya-10@mail.ru.

Perova Kseniya Vladimirovna – Russia, 414056, Astrakhan; Astrakhan State Technical University; Student, training area 11.04.02 “Infocommunication Technologies and Communication Systems”; sscdox12@gmail.com.

