

С.М. Бурков, Д.В. Вегера, В.Н. Власов, Г.В. Жиба

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ GSM НА ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И АВТОДОРОГАХ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ

Аннотация. При строительстве новых базовых станций на сложных по рельефу загородных трассах, отдаленных и труднодоступных населенных пунктов Хабаровского края необходимо учитывать ослабление сигнала за счет лесных массивов. На примере уже существующего объекта связи проводится оценка распространения радиоволн для технологии GSM в диапазонах 900 и 1800 МГц. Проведен расчет затухания для трассы со сложным рельефом с учетом лиственного леса, его сравнение с фактическими показателями, а также результаты моделирования для хвойного и смешанного леса. Для решения поставленных задач используются методы математического моделирования, вычислительной математики, системного анализа, методы программирования и натурного экспериментального исследования.

Ключевые слова: метод параболического уравнения, метод Попова, формула Введенского, распространение радиоволн, эмпирический метод EMM 1, GSM.

S.M. Burkov, D.V. Vegeera, V.N. Vlasov, G.V. Zhibba

EVALUATION OF THE USE OF GSM TECHNOLOGY DURING DISTRIBUTION IN FOREST TERRITORIES AND HIGHWAYS WITH COMPLEX TERRAIN

Abstract. When building new base stations on country roads with difficult terrain, remote and hard-to-reach settlements of the Khabarovsk Territory, it is necessary to take into account the weakening of the signal due to forests. On the example of an already existing communication facility, an assessment of the propagation of radio waves for GSM technology in the range of 900 and 1800 MHz is carried out. The calculation of attenuation for a path with a complex terrain, taking into account a deciduous forest, its comparison with actual indicators, and also the simulation results for a coniferous and mixed forest are presented. To solve the tasks set, methods of mathematical modeling, computational mathematics, system analysis, programming methods and full-scale experimental research are used.

Keywords: parabolic equation method, Popov method, Vvedensky formula, radio wave propagation, empirical method EMM 1, GSM.

Введение

Междугородние трассы являются местом повышенной опасности, и обеспечение их связью – важная задача. Тем не менее не все такие трассы сегодня обеспечены связью, даже экстренной. Одной из проблемных с точки зрения телекоммуникаций является трасса Лидога – Ванино Хабаровского края. Для трассы Лидога – Ванино применение стандартных схем организации связи невозможно по причине отсутствия населенных пунктов и придорожной инфраструктуры, а также сложного рельефа местности. Поэтому одним из возможных вариантов решения проблемы обеспечения связью является применение малых земных станций спутниковой связи (далее – МЗССС) для организации канала связи, а предоставление услуг связи может быть обеспечено стандартной базовой станцией сотовой связи. При строительстве новых базовых станций (далее – БС) оператор должен

Бурков Сергей Михайлович

доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники. Тихоокеанский государственный университет, город Хабаровск. Сфера научных интересов: атомная и квантовая физика; вычислительная математика; телекоммуникационные системы; системный анализ. Автор более 100 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: burkovsm@khhb.ru

Вегера Денис Владимирович

старший преподаватель кафедры вычислительной техники. Тихоокеанский государственный университет, город Хабаровск. Сфера научных интересов: телекоммуникационные системы; системный анализ; математическое моделирование. Автор более 20 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vegera79@mail.ru

Власов Владимир Николаевич

старший преподаватель кафедры вычислительной техники. Тихоокеанский государственный университет, город Хабаровск. Сфера научных интересов: телекоммуникационные системы; системный анализ; математическое моделирование. Автор 7 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: rz0sq@mail.ru

Жиба Григорий Вячеславович

инженер 1-й категории филиала Главного радиочастотного центра в Дальневосточном федеральном округе, город Хабаровск. Сфера научных интересов: телекоммуникационные системы; системный анализ; математическое моделирование; программные комплексы; компьютерное моделирование; программирование. Автор более 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: grisha2160@mail.ru

учитывать выбор стандарта сотовой связи, а также влияние окружающей среды на распространение сигнала.

Проведен комплекс теоретических и практических расчетов для стандарта GSM в диапазоне 900 и 1800 МГц. БС установлена на сложной по рельефу загородной трассе в Хабаровском крае. В дальнейшем планируется строительство еще нескольких БС по технологии GSM в диапазоне 1800 МГц. Чтобы проверить, изменится ли зона покрытия на примере уже построенного объекта, работающего в диапазоне 900 МГц, рассматриваются методики расчета основных параметров для сложных трасс и сравниваются с фактическими показателями. Приводятся графики затухания сигнала GSM-900 в зависимости от типа леса. Затем на основе полученных результатов производится выбор методики, более всего совпадающей с фактическими показателями для расчета дальности распространения радиосигнала в диапазоне 1800 МГц. Для оценивания параметров используется метод имитационного моделирования. В качестве среды разработки имитационной модели выбран программный пакет Matlab.

Методика проведения экспериментов

При проектировании необходимо обоснование выбора мест, на которых планируется установка БС. Для решения этой задачи необходимо провести анализ затухания и дальности распространения сигнала на трассе. Лесная среда является одним из самых проблемных факторов, оказывающих влияние на прохождение радиоволн практически во

всех диапазонах частот [10; 12; 16]. На трассе Лидога – Ванино преобладают хвойные, лиственные и смешанные леса. Для моделирования лес представляется в виде слоистой структуры. Средняя высота дерева составляет от 25 м, а зеленая часть деревьев находится в пределах от 1 до 23 м от земной поверхности.

Для определения влияния леса на прохождение сигнала существует множество моделей. Основные модели и их описание представлены в статье [5]. К сожалению, модели, учитывающей все нюансы, не существует. Каждая из моделей имеет свои плюсы и минусы, которые способствуют определению затухания сигнала в условиях леса. Исходя из сложности трассы рассматриваются: метод параболического уравнения (далее – МПУ) [4; 9; 11; 13–15], метод Попова (далее – МП) [6; 7], эмпирический метод (далее – ЭМ) [8] и метод Введенского (далее – МВ) [3].

Для оценивания параметров используется метод имитационного моделирования. В качестве среды разработки имитационной модели выбран программный пакет Matlab. Разработанная программа позволяет выбрать модель распространения радиоволн и по заданным параметрам вычислить затухание и дальность распространения радиосигнала [2].

Измерения проводились в движении и в конкретных точках на участке трассы Лидога – Ванино. Для получения корректных данных измерительным комплексом места контрольных измерений выбраны в зоне излучения антенны базовой станции. В состав измерительного оборудования входили: измерительный комплекс для анализа радиопокрытия; персональный компьютер со специальным программным обеспечением для мониторинга и контроля работы. Для тестирования работы и скорости использовались 4 сотовых телефона фирмы Huawei, LG, Samsung и Apple. Лес на выбранном участке лиственный. Полученные результаты покрытия GSM-900 сравнивались с выбранными методами.

Для анализа результатов моделирования в Таблице 1 указаны значения уровня принимаемого сигнала, а на Рисунке 1 – профиль трассы с обозначением рельефа местности и точечным расположением БС-1, БС-2 и БС-3. Результаты измерений приводятся для БС-3.



Рисунок 1. Участок трассы, на котором проводились эксперименты, с указанием рельефа местности

Из-за сложного рельефа местности удастся обеспечить сигналом связи лишь отдельный участок трассы. Зона покрытия сектора составляет 1 ... 14,7 км. На пути распространения сигнала сектора 2 встречается помеха в виде сопки, поэтому зона покрытия – 4 км. Также необходимо учитывать, что на более дальних расстояниях телефон способен осуществлять вызов, но возможно пропадание сигнала. В качестве источника сигнала использовалась двухсекторная антенна фирмы Kathrein: сектор 1 – 60°, сектор 2 – 120°. Для работы БС использовался надежный автономный источник энергоснабжения [1].

Таблица 1

Значения уровня сигнала

Качество сигнала	Значение уровня сигнала, дБм
Очень хорошее	≥ -80
Хорошее	-80 ... -90
Плохое	-90 ... -100
Очень плохое	≤ -100

Результаты моделирования

На Рисунке 2 показан общий график затухания радиосигнала на частоте 900 МГц сектора 1 (С-1) и сектора 2 (С-2) для четырех моделей в условиях лиственного леса.

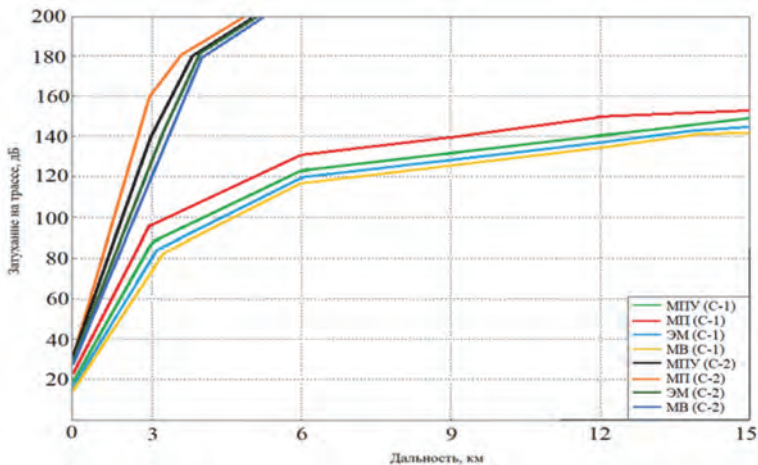


Рисунок 2. Общий график затухания сигнала на частоте 900 МГц для сектора 1 и сектора 2 в условиях лиственного леса

На Рисунке 3 показан общий график прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 900 МГц сектора 1 и сектора 2 для четырех моделей в условиях лиственного леса.

Из-за помех, встречающихся на пути сектора 2, результаты для этого сектора не учитываются при выборе подходящей модели, так как с увеличением частоты зона покрытия не изменяется.

На Рисунке 4 показан общий график затухания радиосигнала на частоте 900 МГц сектора 1 (С-1) для четырех моделей в условиях хвойного леса.

Оценка использования технологии GSM на лесных территориях и автодорогах ...

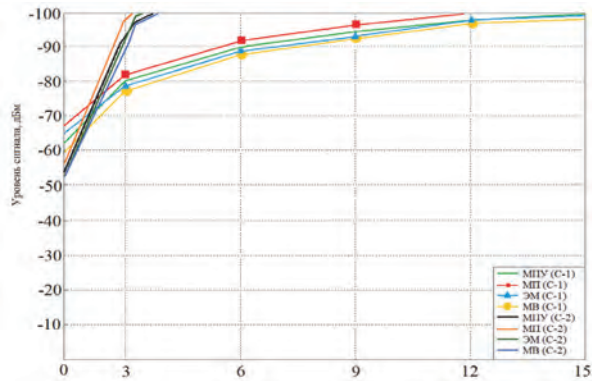


Рисунок 3. Общий график прогнозирования уровня радиосигнала на частоте 900 МГц сектора 1 и сектора 2 для выбранных моделей в условиях лиственного леса

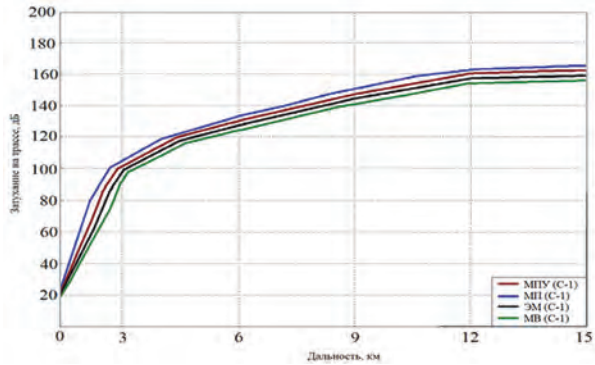


Рисунок 4. Общий график затухания сигнала на частоте 900 МГц для сектора 1 в условиях хвойного леса

На Рисунке 5 показан общий график затухания радиосигнала на частоте 900 МГц сектора 1 (С-1) для четырех моделей в условиях смешанного леса.

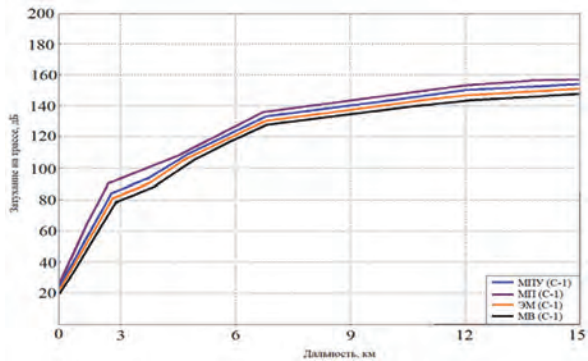


Рисунок 5. Общий график затухания сигнала на частоте 900 МГц для сектора 1 в условиях смешанного леса

Полученные результаты моделирования и экспериментальные данные на частоте 900 МГц для сектора 1 показаны на Рисунке 6. Для удобного сравнения результаты дальности распространения сигнала для лиственного леса показаны в Таблице 2, а для хвойного и смешанного леса – в Таблице 3.

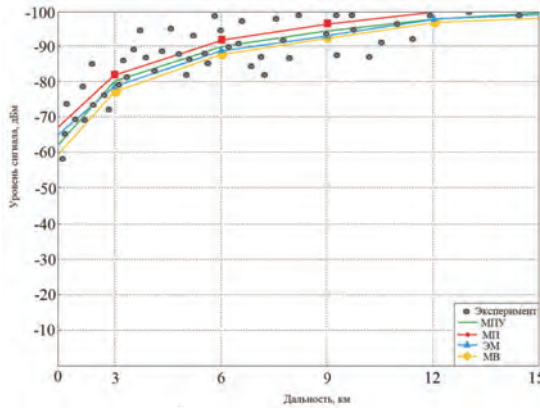


Рисунок 6. Результаты моделирования и экспериментальные данные на частоте 900 МГц для сектора 1 в условиях лиственного леса

Таблица 2

Результаты распространения сигнала для лиственного леса

Модель	Дальность распространения сигнала GSM-900			
	Теория		Практика	
	Сектор 1, км	Сектор 2, км	Сектор 1, км	Сектор 2, км
Метод Попова	12	3,2	14,7	4
Метод параболического уравнения	15	3,9		
Эмпирический метод	15	3,5		
Метод Введенского	>15	4,1		

Таблица 3

Результаты моделирования распространения сигнала для хвойного и смешанного леса

Модель	Дальность распространения сигнала GSM-900			
	Хвойный		Смешанный	
	Сектор 1, км	Сектор 2, км	Сектор 1, км	Сектор 2, км
Метод Попова	10	3,7	10,9	3,8
Метод параболического уравнения	13,6	3,8	14	3,9
Эмпирический метод	13,8	3,7	14,2	3,8
Метод Введенского	14,3	3,9	14,8	3,9

Полученные данные дают основание полагать, что в различных типах лесной растительности можно получить разные результаты затухания и дальность распространения сигнала

GSM. В условиях лиственного леса модель Введенского для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 7 км с возможным пропаданием более 15 км; для хвойного леса сигнал будет распространяться до 14,3 км, а для смешанного леса – до 14,8 км. В условиях лиственного леса модель Попова для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 5,7 км с возможным пропаданием до 12 км; для хвойного леса сигнал будет распространяться до 10 км, а для смешанного леса – до 10,9 км. В условиях лиственного леса эмпирическая модель для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 6,8 км с возможным пропаданием до 15 км; для хвойного леса сигнал будет распространяться до 13,8 км, а для смешанного леса – до 14,2 км. В условиях лиственного леса МПУ для сектора 1 прогнозирует хороший уровень сигнала до 6 км с возможным пропаданием до 15 км; для хвойного леса сигнал будет распространяться до 13,6 км, а для смешанного леса – до 14 км.

Рассмотренные модели подходят для анализа распространения сигнала GSM в диапазонах частот 900 и 1800 МГц с учетом леса. Однако выбор подходящей модели для расчетов необходимого участка местности зависит от достоверности предоставляемых данных и сложности реализации. Эти критерии влияют на скорость проводимых расчетов, а также актуальность полученной информации. Основываясь на практических показаниях покрытия, полученных в результате экспериментальных исследований на реальном участке автодороги Лидога – Ванино в Хабаровском крае, а также сложности реализации, для расчета дальности распространения радиосигнала GSM-1800 используется эмпирическая модель и метод параболического уравнения.

Прогнозирование покрытия для GSM-1800

Для проведения расчета дальности распространения радиосигнала GSM-1800 и сравнения полученных результатов используются те же ключевые параметры, что и для GSM-900. Результаты затухания радиосигнала на частотах 900 и 1800 МГц, рассчитанные при помощи универсальной модели и МПУ для сектора 1, показаны на Рисунке 7.

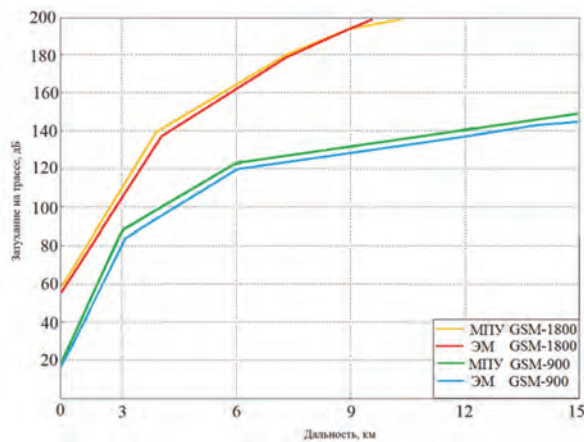


Рисунок 7. Результаты затухания радиосигнала на частотах 900 и 1800 МГц, рассчитанные при помощи эмпирической модели и МПУ для сектора 1 с учетом лиственного леса

Результаты прогнозирования уровня радиосигнала на частотах 900 и 1800 МГц, рассчитанные при помощи эмпирической модели и МПУ для сектора 1, показаны на Рисунке 8.

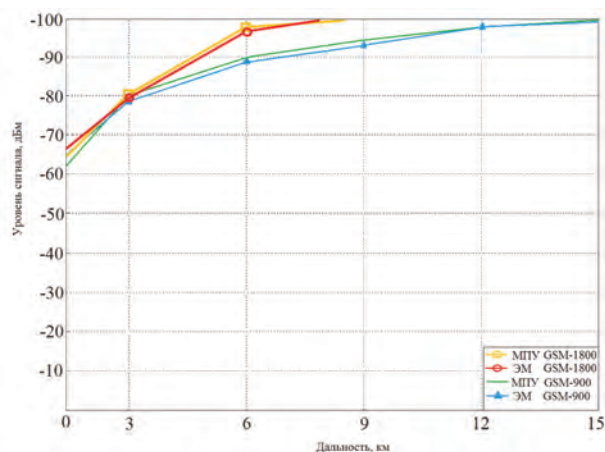


Рисунок 8. Результаты расчетов уровня радиосигнала на частотах 900 и 1800 МГц, рассчитанные при помощи универсальной и многолучевой моделей для сектора 1 с учетом лиственного леса

Результаты распространения сигнала GSM для сектора 1 в зависимости от диапазона и модели для лиственного леса показаны в Таблице 4.

Таблица 4

Результаты распространения сигнала GSM для сектора 1 в зависимости от диапазона и модели для лиственного леса

Модель	Дальность распространения сигнала GSM	
	GSM-1800, км	GSM-900, км
Метод параболического уравнения	8,7	15
Эмпирический метод	8	15

Результаты показывают, что метод параболического уравнения и эмпирический метод прогнозируют дальность связи GSM-1800 до 8,7 км, что значительно меньше покрытия GSM-900. Таким образом, хотя в настоящее время подвижная радиотелефонная связь входит в стадию постепенного отказа от устаревающих сетей GSM в пользу стандартов UMTS и LTE, на данной местности будет лучше использовать технологию GSM-900 для большего покрытия и обеспечения качественной связи.

Заключение

В работе проведен анализ распространения радиоволн на сложной по рельефу автомобильной трассе Лидога – Ванино Хабаровского края с учетом лесных массивов разного типа. Показаны результаты расчета дальности связи в зависимости от типа леса. Полученные результаты подтверждаются экспериментально. Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на распространение сигнала оказывает хвойный лес, а наименьшее – лиственный. Это связано с разной структурой и высотой лесных массивов, а также количеством рассеивающих элементов. Основываясь на практических показаниях покрытия GSM-900, полученных в результате экспериментальных исследований для лиственного леса, а также от сложности реализации, для дальнейшего выбора места расположения БС можно рекомендовать к использованию эмпирическую модель и метод параболического уравнения.

После успешной установки и запуска базовых станций, тестирования системы электропитания, анализа распространения сигнала и влияния леса на затухание сигнала, ведется проработка следующих точек размещения БС. Благодаря анализу результатов распространения радиосигналов GSM принято решение, что на сложных по рельефу загородных трассах для обеспечения максимально устойчивого покрытия необходимо использовать стандарт GSM-900.

Предложенные методы, модели и технические решения позволяют учесть распространение радиоволн еще на этапе проектирования радиосистем и устройств связи для практической реализации современной инфраструктуры передачи голоса и данных на сложных по рельефу загородных трассах. Полученные результаты могут быть полезны инженерам и планировщикам телекоммуникационных систем для принятия решений о размещении новых базовых станций в условиях лесных массивов для технологии GSM.

Литература

1. Вегера Д.В., Власов В.Н., Писаренко В.П., Терещенко В.Д. Использование альтернативной энергетики в системах энергоснабжения телекоммуникационного оборудования // Наука и технологии. 2018. № 1 (34). С. 77–81.
2. Вегера Д.В., Жиба Г.В., Писаренко В.П. Оценка распространения GSM-сигнала на трассе со сложным рельефом и хвойным лесом // *International Journal of Open Information Technologies*. 2021. Т. 9, № 10. С. 52–61.
3. Методы расчета покрытия. URL: http://studbooks.net/2364837/tehnika/metody_rascheta_rokrytiya (дата обращения: 15.07.2021).
4. Михайлов М.С., Пермьяков В.А., Малевич Е.С. Расчет поля методом параболического уравнения в трехмерном пространстве с препятствиями // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59, № 12-3. С. 144–148.
5. Попов В.И. Математические модели распространения радиоволн в лесных массивах // Евразийский союз ученых. 2015. № 11-3 (20). С. 107–117.
6. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. М.: Эко Трендз, 2005. 296 с.
7. Попов В.И. Распространение радиоволн в лесах. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 392 с.
8. Рекомендация МСЭ-R.P.833-5. Ослабление сигналов растительностью. Женева, 2005. 13 с.
9. Akhilarov V.V. (2010) The parabolic equation method in the theory of diffraction // *Advances in modern radioelectronics*, No. 9, pp. 72–80.
10. Balkhanov V.K., Advocate V.R., Bashkuev Yu.B. (2014). *Journal of Technical Physics*, No. 84 (8), pp. 132–136.
11. Barclay L.W. (2008) *Propagation of Radio Waves*. London, Institution of Engineering and Technology, 460 p.
12. Meng Y.S, Lee Y.H. and Ng B.C. (2009) *Progress in Electromagn. Res. B* 17, pp. 117–133.
13. Ozgun O. (2009) Recursive two-way parabolic equation approach for modeling terrain effects in tropospheric propagation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, No. 9, p. 2706.
14. Permyakov V.A., Mikhailov M.S., Malevich E.S. (2017) Calculation of the radar station field in 3D space in the presence of forest and other obstacles by the method of parabolic equation. 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium. St. Peterburg, Spring (PIERS), pp. 3754–3757.
15. Sazonov D.M. (2013) *The Matrix Theory of Antenna Arrays*. Taganrog, YuFU, 98 p.
16. Yeow Chong Daniel (2014) Modeling of radiowave propagation in a forested environment, 15 p.

References

1. Vegeera D.V., Vlasov V.N., Pisarenko V.P., Tereshchenko V.D. (2018) [Use of alternative energy in power supply systems for telecommunication equipment]. *Science and technology*, No. 1 (34), pp. 77–81 (in Russian).
2. Vegeera D.V., Zhibba G.V., Pisarenko V.P. (2021) [Estimation of GSM signal propagation on a route with difficult terrain and coniferous forest]. *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 9, No. 10, pp. 52–61 (in Russian).
3. [Coverage calculation methods]. Available at: http://studbooks.net/2364837/tehnika/metody_rascheta_pokrytiya (date of the application: 15.07.2021) (in Russian).
4. Mikhailov M.S., Permyakov V.A., Malevich E.S. (2016) [Calculation of the field by the method of a parabolic equation in a three-dimensional space with obstacles]. *News of higher educational institutions, Physics*, vol. 59, No. 12-3, pp. 144–148 (in Russian).
5. Popov V.I. (2015) [Mathematical Models of Radio Wave Propagation in Forest]. *Eurasian Union of Scientists*, No. 11-3 (20), pp. 107–117 (in Russian).
6. Popov V.I. (2005) *Osnovy sotovoi svyazi standart GSM* [Fundamentals of GSM cellular communication]. Moscow, Eco Trends Publishing, 296 p. (in Russian).
7. Popov V.I. (2015) *Rasprostranenie radiovoln v lesakh* [Propagation of radio waves in forests]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publishing, 392 p. (in Russian).
8. [Recommendation ITU-R P.833-5]. *Oslablenie signalov rastitel'nost'yu* [Weakening of signals by vegetation]. Geneva, 2005, 13 p. (in Russian).
9. Akhiyarov V.V. (2010) The parabolic equation method in the theory of diffraction. *Advances in modern radioelectronics*, No. 9, pp. 72–80.
10. Balkhanov V.K., Advocate V.R., Bashkuev Yu.B. (2014) *Journal of Technical Physics*, No. 84 (8), pp. 132–136.
11. Barclay L.W. (2008) *Propagation of Radio Waves*. London, Institution of Engineering and Technology, 460 p.
12. Meng Y.S., Lee Y.H. and Ng B.C. (2009) Progress in Electromagn. Res. B 17, pp. 117–133
13. Ozgun O. (2009) Recursive two-way parabolic equation approach for modeling terrain effects in tropospheric propagation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, No. 9, p. 2706.
14. Permyakov V.A., Mikhailov M.S., Malevich E.S. (2017) Calculation of the radar station field in 3D space in the presence of forest and other obstacles by the method of parabolic equation. Progress in Electromagnetics Research Symposium. St. Petersburg, RussiaSpring (PIERS), pp. 3754–3757.
15. Sazonov D.M. (2013) *The Matrix Theory of Antenna Arrays*. Taganrog, YuFU, 98 p.
16. Yeow Chong Daniel (2014) Modeling of radiowave propagation in a forested environment, 15 p.