

**РЕГЛАМЕНТАЦИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА И ДИАПАЗОНЫ ВОЛН,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

С.Ш. Хусанова

Ферганский филиал ТУИТ имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан

Д. Р. Комилов

Ферганский филиал ТУИТ имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан

**Аннотация**

В статье рассматривается важность радиоканала в системах беспроводной связи, освещая зависимость его характеристик от частотного диапазона. Обсуждаются факторы, влияющие на выбор частотного диапазона, включая технические, экономические и организационные аспекты. Представлена история развития систем мобильной радиосвязи, начиная с первых шагов в 1921 году и постепенного перехода к более высокочастотным диапазонам. Текст подчеркивает важность организационных трудностей, связанных с ограниченностью частотных ресурсов, и влияние регулирования со стороны организаций, таких как FCC и CEPT. Рассматривается проблема электромагнитной совместимости и совместимости различных систем связи при выборе частотного диапазона. Текст также выделяет значение низких частот для обеспечения покрытия малонаселенных районов. Завершается обсуждением компромиссов в разработке стандартов GSM в Европе и D-AMPS в США, обеспечивающих совместное использование частот в эффективном сочетании цифровых и аналоговых систем связи.

**Ключевые слова:** Радиоканал, Частотный диапазон, Помехи, Стандарт GSM, Сотовая радиосвязь, Электромагнитная совместимость, Организационные трудности.

**Введение**

Радиоканал является неотъемлемым и критически важным компонентом любой системы беспроводной связи. В свою очередь, характеристики радиоканала как среды распространения радиоволн зависят от длины последних, т.е. от занимаемого системой диапазона частот [1-4]. Выбор частотного диапазона является одним из наиболее ответственных этапов системного проектирования и должен учитывать целый ряд факторов технического, экономического и организационного плана [5-9]:

- возможность выделения необходимого числа частотных каналов;
- условия распространения радиоволн на трассе;
- проницаемость зданий и сооружений;
- интенсивность помех естественного и искусственного происхождения в данном участке спектра;
- электромагнитная совместимость с другими системами, работающими на близких частотах;

- возможность построения абонентской аппаратуры с требуемыми экономическими, эргономическими и эксплуатационными характеристиками и т.д.

В табл. 1 приведены полосы частот, используемые в основных существующих системах сотовой радиосвязи [10-14].

Табл. 1. Полосы частот, используемые в основных существующих системах сотовой радиосвязи.

Таблица 3.1. Полосы частот, используемые в ССМС

Стандарт (тип)	Полоса частот, МГц
NMT-450	453...457,5; 463...467,5
NMT-900	890...915; 935...960
AMPS/D-AMPS (IS-54)	824...849; 869...894
TACS / ETACS	890...905; 935...950
PDS	810...826; 940...956
	1429...1465; 1477...1513
GSM 900	890...915; 935...960
GSM 1800	1710...1785; 1805...1880
IS-136	1750...1810; 1830...1890
GSM 1900 (IS-661)	1850...1910; 1930...1990
IS-95 (CDMA-800)	824...849; 869...894
CDMA-1900	1850...1910; 1930...1990

Первая СМР была реализована в 1921 г. в США для передачи информации от диспетчера на полицейские автомобили. Система работала в диапазоне частот 2 МГц и использовала амплитудную модуляцию [15-24]. В дальнейшем развитии СМР просматривается общая тенденция постепенного перехода к более высокочастотным диапазонам:

- 1938 г. — Федеральная комиссия связи (ФКС) США приняла решение об использовании диапазона 30...40 МГц;
- 1946 г. — начало использования диапазона 150 МГц (первая общественная система мобильной радиотелефонной связи);
- 1956 г. — ФКС выделила 12 новых каналов в диапазоне 450 МГц;
- 1974 г. — выделена полоса шириной 40 МГц в диапазоне 850 МГц для новой сотовой системы радиосвязи, развитие которой привело к созданию в 1983 г. стандарта AMPS.

Аналогичным путем развивались системы мобильной радиосвязи и в Европе (с естественным запаздыванием по времени, связанным, в немалой степени, со Второй мировой войной) [25-37].

Переход к более высокочастотным диапазонам, который обеспечивался постепенным развитием технологии и схемотехники, связан, в первую очередь, с необходимостью увеличения абонентской емкости СМР в условиях постоянно растущего спроса и повышения требований к качеству предлагаемых услуг. Очевидно, что при таком переходе облегчается выделение необходимого числа частотных каналов [38-44].

Существует практическое ограничение на использование высоких частот, связанное с сильным затуханием радиосигналов в атмосфере при длине волны менее 10...12 см. Тем самым верхняя граница частот, которые могут быть использованы в мобильной связи, лежит в районе 2500...3000 МГц.

Не следует, однако, думать, что повышение несущей частоты однозначно улучшает все характеристики системы мобильной связи. В частности, определенные преимущества имеет спектральная полоса 400...500 МГц. В этом диапазоне хорошее прохождение сигнала позволяет увеличить зону покрытия в малонаселенных районах [45-49].

Несмотря на важность технических аспектов выбора частотного диапазона, все большее значение приобретают организационные трудности, связанные с ограниченностью частотных ресурсов. Эта проблема, возникнув впервые в США в середине 30-х годов XX века, стала весьма острой вскоре после 1945 г [50-54].

Бурное развитие отраслей техники, связанных с радиоизлучением (радиовещание, телевидение, связь, радиолокация, радионавигация и т.д.), потребовало создания специального механизма регламентации использования частотного спектра и соответствующих организационных структур. Такими структурами являются, в частности, упомянутая выше Федеральная комиссия связи США (созданная в конце 1920-х годов), Европейская Конференция Администраций Почт и Электросвязи (СЕРТ — *Conference of European Posts and Telegraphs*), а также Российская Государственная Комиссия по радиочастотам (ГКРЧ) [55-60].

Наряду с проблемой электромагнитной совместимости различных радиосредств, работающих в одном частотном диапазоне, имеется и проблема совместимости различных систем мобильной радиосвязи. Развитие этих систем шло в различных странах схожими путями, но на первых этапах без взаимного согласования. В результате в европейских странах образовалось так называемое "лоскутное одеяло": одновременно функционировали аналоговые сотовые системы связи, очень схожие по принципам построения, использующие один и тот же диапазон частот (например, 450 МГц), но не совместимые между собой.

В Европе при переходе к цифровым системам выход был найден в виде разработки общеевропейского стандарта GSM, для которого, как упоминалось в 2.6, были выделены полосы частот в диапазоне 900 МГц. В дальнейшем совершенствование этого стандарта привело к освоению нового диапазона — 1800 МГц.

В США основной аналоговый стандарт AMPS, работающий также в диапазоне 900 МГц, получил столь широкое распространение, что прямая замена его цифровым стандартом оказалась невозможной из экономических соображений. По этой причине был разработан двухрежимный аналого-цифровой стандарт D-AMPS (IS-54), позволяющий совместить работу аналогово и цифровой систем в одном и том же диапазоне. При усовершенствовании этой системы, как и в случае GSM, но несколько раньше по времени, был освоен диапазон 1800 МГц (IS-136).

В США (см. также Я 2.6), нашел применение и стандарт GSM. Однако из-за того что диапазон 1800 МГц занят системой D-AMPS в версии IS-136, ему была выделена полоса частот в диапазоне 1900 МГц ("американский" GSM, или IS-661).

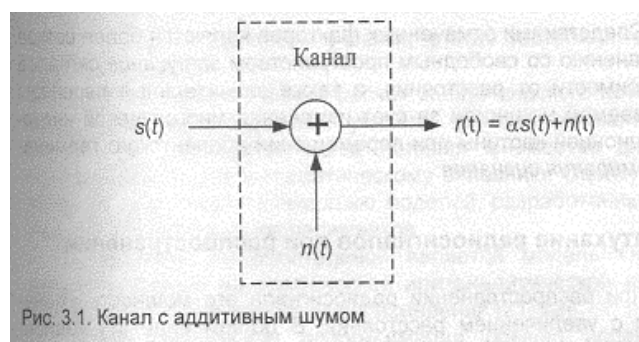
Россия, являясь родоначальницей радио, долгое время развивала практически только профессиональные системы мобильной связи. Начало развития сотовой связи в России относится к 1990 г., когда в Европе уже работали устоявшиеся сотовые сети, использующие аналоговые стандарты, были сформулированы требования к общеевропейскому стандарту GSM, а в США полным ходом разрабатывался реализованный вскоре стандарт кодового разделения IS-95. Это, с одной стороны, ограничило возможности выбора стандартов сотовой связи и, соответственно, диапазонов частот, но, с другой стороны, позволило, используя мировой опыт, развивать российские сети сотовой связи весьма быстрыми темпами.

В настоящее время в России для сотовой связи выделены частотные каналы в диапазонах частот 450 МГц (стандарт NMT), 900 МГц и 1800 МГц (стандарт GSM), а также 800 МГц (O-AMPS).

На работу СМР в дециметровом диапазоне длин волн, который используют практически все существующие системы сотовой связи, оказывают влияние различные помехи естественного и искусственного происхождения.

Основными помехами естественного происхождения являются шумы приемника, атмосферные шумы, образующиеся электрическими разрядами во время гроз. Кроме того, мешающее воздействие могут создавать статическое электричество, космические и солнечные шумы.

Обычно при анализе и синтезе систем связи эти помехи рассматриваются как аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ). Модель канала с аддитивным шумом показана на рис.2 (параметр  $a$  здесь характеризует затухание сигнала в канале).



Для густонаселенных регионов весьма характерна значительная интенсивность помех искусственной природы, источниками которых служат:

- электротранспорт и системы зажигания автомобилей;
- промышленные электроустановки;
- радиоэлектронные средства различного назначения (в частности, можно упомянуть радиосистему ближней навигации, полоса частот которой частично перекрывает диапазон сотовой системы стандарта GSM).

Особо следует отметить внутрисистемные (соканальные) помехи, обусловленные одновременной работой в одной полосе частот нескольких станций (например, абоненты,

работающие на одной частоте в соседних кластерах, или базовые станции соседних сот сети IS-95).

Серьезные проблемы, возникающие при построении систем мобильной радиосвязи, связаны не только с воздействием отмеченных помех, но и со специфическими условиями функционирования СМР:

- зоной действия СМР являются, в основном, города и пригороды с различными плотностью и характером застройки, интенсивностью движения транспорта, типом подстилающей поверхности;
- мобильная станция, как правило, находится вне прямой радиовидимости базовой станции;
- сигнал в точку приема поступает в результате многолучевого распространения, т.е. переотражения от многочисленных препятствий (здания, деревья, подстилающая поверхность);
- движение мобильной станции приводит к появлению доплеровского сдвига частоты.

Следствиями отмеченных факторов являются более резко по сравнению со свободным пространством *затухание* сигналу в зависимости от расстояния, а также значительные перепады принимаемой мощности за счет изменения многолучевой интерференционной картины при перемещении абонентского терминала — *замирания сигналов*.

#### Литературы:

1. Комилов, А. О., & Эргашев, С. С. (2022). Мировые тенденции в развитии геотермальной энергетики. *Scientific progress*, 3(2), 740-745.
2. Sodiqovna, R. O., & Umarovich, I. U. (2023). Research of a multi-stage receiver of a laser microphone. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 14, 240-244.
3. Искандаров, У. У., & Жураева, Г. Ф. (2022). Разработка устройства охраны и безопасности в импульсном режиме с невидимым лазерным лучом. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 10, 252-256.
4. Хосилов, Д. Д., Мадаминов, М. Р., & Йулдашев, Х. Т. (2021). Исследование вольт–амперная характеристика в системе полупроводник– газоразрядный промежутки. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(10), 625-634.
5. Исмоилов, М. М. (2022). Повышение эффективности систем солнечного теплоснабжения с плоскими солнечными коллекторами: основные резервы и возможные пути их реализации. *Central asian journal of mathematical theory and computer sciences*, 3(12), 79-84.
6. Turgunov, B., Juraev, N., Toshpulatov, S., Abdullajon, K., & Iskandarov, U. (2021, November). Researching Of The Degradation Process Of Laser Diodes Used In Optical Transport Networks. In *2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1-4). IEEE.



7. Искандаров, У. У., & Эгамбердиев, М. М. (2018). АСПЕКТЫ И ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И СОДЕРЖАНИИ «УМНОГО ДОМА».
8. Juraev, N. M., & Iskandarov, U. U. (2020). Research of real efficiency of the indicator 10\_mt\_20gy dui. Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology, 2(1), 132-137.
9. Raimimonova, O. S., & Iskandarov, U. U. (2020). Overview of the experimental reasarche of open optical system for monitoring of deviations of the buildings with concrete products. Scientific and Technical Journal of Namangan Institute of Engineering and Technology, 2(6), 374-378.
10. Iskandarov, U. U. (2023). Masofaviy lazerli akkustik mikrofonlarining potentsial sezgirligi va qabul qilish masofalari tahlili. Educational Research in Universal Sciences, 2(10), 344-347.
11. Juraev, N., Iskandarov, U., & Juraeva, G. Теория и практика современной науки. Теория и практика современной науки Учредители: ООО" Институт управления и социально-экономического развития", (3), 18-24.
12. Raimimonova, O. S., & Nurdinova, R. A. R. Dalibekov, Sh. M. Ergashev (2021). Increasing the possibility of using thermoanemometric type heat exchangers in the control of man-madt objects. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 8(3), 16783-89.
13. Rayimjonova, O. S., Yuldashev, K. T., Ergashev, U. S., & Jurayeva, G. F. (2020). LR Dalibekov Photo Converter for Research of Characteristics Laser IR Radiation. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 7(2), 12788-12791.
14. Khusanova, S. S. (2023). NETWORK ASPECTS OF IP TELEPHONY. International Journal of Advance Scientific Research, 3(10), 221-232.
15. Khusanova, S. S. (2023). PHASE SHIFT KEYING DETECTION USING DIRECT TRANSFORM METHOD. International Journal of Advance Scientific Research, 3(10), 212-220.
16. Махмудов, И., & Хусанова, С. Ш. (2023). Оборудование и технологии, используемые для реализации задач прикладного тв на современном этапе развития. European Journal of Interdisciplinary Research and Development, 20, 77-82.
17. Komilov, D. R., & Tajibayev, I. B. (2023). Improving the use of virtual lan (vlan) technology. Web of Discoveries: Journal of Analysis and Inventions, 1(7), 6-11.
18. Djalilov, B. O., & Tursunaliyev, M. A. (2023). Information integrations and information security issues in industrial automation systems in industry 4.0. Web of Discoveries: Journal of Analysis and Inventions, 1(7), 1-5.
19. Исмоилов, М. М. (2023). On the issue of increasing the efficiency of flat solar collectors in heat supply systems by optimizing their operating parameters. European Journal of Emerging Technology and Discoveries, 1(7), 4-7.
20. Отажонов, С. М., & Халилов, М. М. (2023). Изменение фоточувствительности поликристаллических пленок pbte и pbs в кислородо содержащей атмосфере. European Journal of Interdisciplinary Research and Development, 20, 83-89.

21. Rayimjonova, O. S. (2023). Mathematical models of half-ring photoresistive converters of vane turning angles. *European Journal of Emerging Technology and Discoveries*, 1(7), 1-3.
22. Komilov, D. R. (2023). Application of zigbee technology in IOT. *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(09), 343-349.
23. Juraeva, G., Ergashev, S., & Sobirova, K. (2022). Optoelectronic converters based on afn elements. *Oriental Journal of Technology and Engineering*, 2(02), 7-13.
24. Rayimdjanova, O. S., Akbarova, M., & Ibrokhimova, B. (2022). Thermal converter for horizontal wind speed and temperature control. *Oriental Journal of Technology and Engineering*, 2(02), 14-20.
25. Жураева, Г., Эргашев, Ш., & Собирова, К. (2022). Оптоэлектронные преобразователи на основе афн-элементов. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 1(5), 246-250.
26. Райимжанова, О. С., Акбарова, М., & Иброхимова, Б. (2022). Тепловой преобразователь для контроля скорости и температуры горизонтального ветра. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 1(5), 251-256.
27. Madaminov, M. R., & Yuldashev, X. T. (2022). Inverter modeling in improving the energy efficiency of a mobile uninterrupted supply source. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(11), 77-82.
28. Rayimjonova, O., & Ismoilov, A. (2022). The working principle of optical amplifiers and their types. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(12), 140-144.
29. Rayimjonova, O. S., Makhmudov, I. A., & Tillaboyev, M. G. (2022). Model and Method of Intellectualization of the Processes of Providing Resources and Services of the Multiservice Network. *Eurasian Research Bulletin*, 15, 196-200.
30. Rayimjonova, O. S., Tillaboyev, M. G., & Xusanova, S. S. (2022). Underground water desalination device. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(12), 59-63.
31. Rayimjonova, O. S. (2022). Investigation of cluster-type inhomogeneity in semiconductors. *American Journal of Applied Science and Technology*, 2(06), 94-97.
32. Makhmudov, I., Komilov, D., & Qodirov, M. (2023). Taqsimlangan bulutli malumotlarning markazi arxitekturasi va usullarning taxlili. *Research and implementation*.
33. Комилов, Д. Р., Курбанова, Т. М., & Юлдашева, Х. (2019). Сетевые операционные системы. *Мировая наука*, (9 (30)), 121-123.
34. Komilov, D. R., Makhmudov, I. A., & Tillaboyev, M. G. (2023). Use of radio relay devices in telecommunication systems. *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(04), 72-77.
35. Комилов, Д. Р., Рахимова, А. К., & Махмудов, И. А. (2023). Беспроводная технология zigbee: применение, топологии и стандарты классификации. *Educational Research in Universal Sciences*, 2(12), 286-293.
36. Khusanova, S. S., Makhmudov, I. A., & Komilov, D. R. (2023). Advantages and disadvantages of building the network on the base of gpon technology. *Educational Research in Universal Sciences*, 2(12), 282-285.

37. Rustambekovich, D. L., & Umarali o'g'li, E. S. (2020). Application of IOT Technology in Providing Population Health During the Sars-Cov-2 Pandemic. *International Journal of Human Computing Studies*, 2(5), 1-4.
38. Raimimonova, O. S., & Nurdinova, R. A. R. Dalibekov, Sh. M. Ergashev (2021). Increasing the possibility of using thermoanemometric type heat exchangers in the control of man-madt objects. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 8(3), 16783-89.
39. Dalibekov, L. R. (2023). Innovative applications of apv elements in optoelectronics. *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(10), 286-292.
40. Umarovich, I. U., Mukhammadyunusovich, K. M., Rustambekovich, D. L., & O'G'Li, N. R. M. (2020). Methods of reducing the probability of signal loss on optical fiber communication lines. *Наука, техника и образование*, (6 (70)), 27-31.
41. Rayimjonova, O. S., Yuldashev, K. T., Ergashev, U. S., & Jurayeva, G. F. (2020). LR Dalibekov Photo Converter for Research of Characteristics Laser IR Radiation. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(2), 12788-12791.
42. Yu, M., BA, T., Dalibekov, L., & Ergashev, S. H. Researching of the methods of illegal access and offering the method of protection of the information signal against illegal access in the fiber-optic communication line.
43. Abdusamatov, A. X. (2023). Обнаружение Повреждений В Электрически Обесточенных Линиях Электропередачи. *Diversity Research: Journal of Analysis and Trends*, 1(6), 62-69.
44. Abdusamatov, A. X. (2023). Mathematical model of the throughput of an ip network switching node with a non-constant amount of space in the router RAM. *International Multidisciplinary Journal for Research & Development*, 10(10), 186-193.
45. Abdusamatov, A. X., & Tajibaev, B. I. (2023). TEST RESULTS OF COMBINED SOLAR PANEL INSTALLATION. *International Multidisciplinary Journal for Research & Development*, 10(10), 94-98.
46. Abdusamatov, X. (2023, October). Control of manifestation of dislocations under the influence of external factors. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.
47. Ravshanbek, Y. (2023). Foreign investment serves development. *International Multidisciplinary Journal for Research & Development*, 10(10).
48. Ilhom, T. (2023, October). Размещение распределенных волоконно-оптических датчиков для инфраструктуры как датчика. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.
49. Тажибаев, И. Б. (2021). Принципы построения радиоприемников с цифровой обработкой сигнала. *Scientific progress*, 2(6), 755-760.
50. Ergashev, S. (2023). Optoelectronic converters based on apv elements. *European Journal of Emerging Technology and Discoveries*, 1(6), 1-4.
51. Эргашев, Ш. У. (2023). Оптроны с тонкой пленкой на базе поликристаллических однополых полупроводниках. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 19, 69-73.



52. Ergashev, S. (2023). Anomalously high diotovoltaic effect in thin films of gallium arsenide. *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(09), 143-149.
53. Kuldashov, O. H., Dadajonov, T., & Tillaboyev, M. G. (2023). Simulink Model in the Matlab System for Determining the Causes of Possible Damages of Cable Lines. *Eurasian Journal of Engineering and Technology*, 14, 92-98.
54. Muxiddin, T. (2023, October). infira qizil datchik orqali xarortni nazoat qilish. In Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions".
55. Khusanova, S. S., Tajibayev, I. B., & Tillaboyev, M. G. (2023). How to connect two or more tvs to a digital set-top BOX. *International Journal of Advance Scientific Research*, 3(10), 109-116.
56. Кулдашов, О. Х., & Азамова, М. А. (2023, November). Оптоэлектронное устройства влажности на полупроводниковых излучателях. In Fergana state university conference (pp. 67-67).
57. Komilov, A. O. (2018). Power of network photoelectric power stations.
58. Камилов, А. А., Рустамова, Х. Е., & Турахонова, Ф. М. (2022). О роли здорового образа жизни в формировании здоровья учащихся спортивно-оздоровительных учреждений. *sustainability of education, socio-economic science theory*, 1(4), 52-55.
59. Kuldashov, O. K., Kuldashov, G. O., & Mamasodikova, Z. Y. (2019). Infrared sensor for remote monitoring of moisture content in raw cotton. *Journal of Optical Technology*, 86(6), 390-393.
60. Ergashev, S. F., Kuldashov, O. K., & Mamasodikova, U. Y. (2007). Optoelectronic device for remote temperature monitoring of the components of solar engineering facilities. *Applied Solar Energy*, 43(2), 68.