

РАЗДЕЛ 4

АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.396

С.Н. Иконников, В.А. Лапин, Д.А. Маковеев
ГП Украинский НИИ Радио и телевидения

ПРОБЛЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА НА ГЛОБАЛЬНОМ УРОВНЕ

В статье представлен анализ распределения РЧС различным радиослужбам и научно-технические задачи, связанные с перспективным распределением спектра на глобальном уровне.

Ключевые слова: МСЭ – РЧР – Радиослужба – Диапазон частот

The analysis of the distribution of radio frequency resource to various radiocommunication services as well as scientific and technical challenges associated with the prospective spectrum management at the global level are given in the article.

Keywords: ITU – RFR – Radiocommunication Service – Frequency band

I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы регулирования международного использования частот содержатся в основном документе Международного союза электросвязи МСЭ – Регламенте радиосвязи, в котором в соответствии с Уставом Международного союза электросвязи [1] определяются, среди прочих, следующие основные задачи:

– содействовать справедливому доступу к радиочастотному ресурсу и его рациональному использованию;

– обеспечить наличие и защиту от вредных помех частот, предназначенных для случаев бедствия и обеспечения безопасности;

– способствовать внедрению новых технологий радиосвязи и, при необходимости, регулировать их применение.

Регламент радиосвязи периодически пересматривается по результатам Всемирных конференций по радиосвязи (ВКР), которым предшествует работа Исследовательских комиссий МСЭ. Предметом исследований является определение возможности дополнительного распределения спектра различным радиослужбам с учетом требований к спектру, вызванных прогрессом в области радиотехнологий, разработка критериев и условий электромагнитной совместимости различных радиослужб и разработка различных регулирующих процедур и правил использования радиочастотного спектра (РЧС).

В статье представлен анализ распределения РЧС различным радиослужбам и научно-технических задач, связанных с перспективным распределением спектра на глобальном уровне.

II. АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА ДЛЯ СЛУЖБ РАДИОСВЯЗИ

К настоящему времени в соответствии с Регламентом радиосвязи [2] радиочастотный спектр распределен в пределах 8,3 кГц – 300 ГГц. Кроме того, решением ВКР-12 [3] полосы частот в диапазоне 275–1000 ГГц определены для использования администрациями связи для применений пассивных служб:

– радиоастрономическая служба: части полос частот между 275 и 945 ГГц;

– спутниковая служба исследования Земли (пассивная) и служба космических исследований (пассивная): части полос частот между 275 и 990 ГГц.

Весь радиочастотный спектр согласно Регламенту радиосвязи (РР) распределен 41 радиослужбе [2].

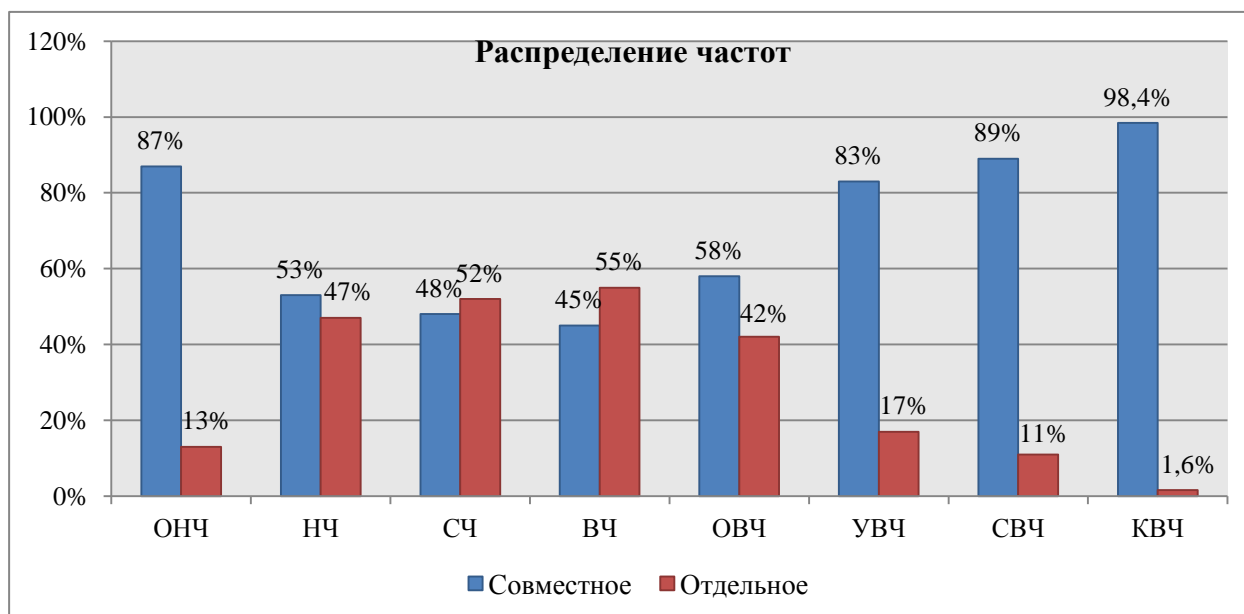
Для удобства анализа распределения радиочастотного спектра по радиослужбам используем его градацию по диапазонам частот (Таблица 1), принятую МСЭ [2].

Количественные результаты анализа распределения радиочастотного спектра по радиослужбам по соотношению совместного распределения и распределения только одной службе представлены на Рисунке 1. Такому же распределению спектра в Регламенте радиосвязи в основном соответствует распределение спектра в Национальной таблице распределения полос частот в Украине.

Проведенный анализ первичных распределений РЧС для радиослужб по представленным диапазонам частот показал следующее.

Таблиця 1 – Распределение радиочастотного спектра по диапазонам

Номер диапазона	Условное обозначение	Диапазон частот (исключая нижний предел, включая верхний предел)	Соответствующее метрическое подразделение
4	ОНЧ (VLF)	3–30 кГц	Мириаметровые волны
5	НЧ (LF)	30–300 кГц	Километровые волны
6	СЧ (MF)	300–3 000 кГц	Гектометровые волны
7	ВЧ (HF)	3–30 МГц	Декаметровые волны
8	ОВЧ (VHF)	30–300 МГц	Метровые волны
9	УВЧ (UHF)	300–3 000 МГц	Дециметровые волны
10	СВЧ (SHF)	3–30 ГГц	Сантиметровые волны
11	КВЧ (EHF)	30–300 ГГц	Миллиметровые волны
12		300–3 000 ГГц	Децимиллиметровые волны

**Рисунок 1** – Распределение частот между радиослужбами

III. ДИАПАЗОН ОНЧ

Диапазон очень низких частот составляет примерно 10^{-7} часть от общей ширины полосы распределенного спектра. Этому диапазону частот присущи уникальные свойства распространения радиоволн. Сверхдлинные волны данного частотного диапазона характеризуются постоянством условий распространения, так как отражаются от устойчивых образований в ионосфере от слоев D и E. Постоянство условий распространения радиоволн анализируемого частотного диапазона волн заключается в том, что прохождение сверхдлинных волн не сопровождается резкими изменениями уровня сигнала и, следовательно, внезапными нарушениями уровня сигнала [4]. Именно это условие, а также сверхдальность распространения радиоволн предопределили использование этого диапазона в фазовой радионавигации и сверхдальней радиосвязи [4].

Диапазон ОНЧ с учетом свойств распространения радиоволн и ограниченности полосы частот согласно РР [2] распределен

раздельно только для службы стандартных частот и сигналов времени, вспомогательной службы метеорологии и радионавигационной службы. Совместное распределение получили фиксированная и морская подвижная службы, как близкие по функциональному назначению дальней радиосвязи. Такое распределение спектра в этом частотном диапазоне вышеназванным радиослужбам обеспечивает необходимые условия электромагнитной совместимости (ЭМС). Суммарные полосы частот для отдельного и совместного распределений радиослужб составляют 13% и 87% от общей полосы соответственно. Такое распределение РЧС ОНЧ диапазона обусловлено важностью распределенных в этой полосе частот радиослужб.

IV. ДИАПАЗОН НЧ

По отношению ко всей полосе всего распределенного РЧС длинноволновая часть спектра занимает всего лишь 10^{-6} часть.

Частотный диапазон под № 5 (Рисунок 1) относится к длинноволновой части

распределенного радиослужбам спектра и обладает такими же уникальными свойствами распространения радиоволн, как и предыдущий диапазон. Длинные волны, также как и сверхдлинные распространяются как земные волны на расстояния до 500 км. На расстояниях, превышающих примерно 500 км, уже явно доминируют ионосферные волны [4]. Распределение частей спектра в этом диапазоне только одной службе составляет 47 % от общей полосы частот диапазона НЧ (радионавигационная и радиовещательная службы соответственно) и обусловлено:

– во-первых, созданием глобальной сети морской и воздушной радионавигации (LORAN- и LORAN-D);

– во-вторых, ненаправленными передающими антеннами в радиовещательной службе, создающими помехи за счет непрерывного излучения другим радиослужбам.

В других полосах спектра диапазона НЧ распределены фиксированная, морская подвижная и радионавигационная службы при условии эксплуатации импульсных радионавигационных станций без причинения вредных помех средствам других служб [2].

V. ДИАПАЗОНЫ СЧ И ВЧ

Полоса частот диапазона СЧ относительно всего диапазона составляет 10^{-5} от всей распределенной полосы спектра часть. Распределение спектра только одной службе составляет 52% от общей полосы диапазона СЧ, что связано с особенностями распространения радиоволн в атмосфере, а также функциональными задачами распределенных соответствующих радиослужб в этих полосах частот.

Так, для диапазона СЧ характерным является то, что средние волны описывают в ионосфере криволинейную траекторию, т. е. постепенное преломление, а в вершине ее претерпевают полное отражение [4]. Проникая в толщу ионосферы, средние волны заметно поглощаются сильнее в дневные, чем в ночные часы особенно с уменьшением длины волны в пределах диапазона СЧ. Таким образом, важнейшей особенностью распространения средних волн является то, что в дневные часы они распространяются как земные, а с наступлением темноты – как земные, так и ионосферные волны, обуславливая тем самым различную дальность радиосвязи [4].

Распределения спектра только для одной какой-либо радиослужбы в диапазоне СЧ включают части полос для воздушной радионавигационной, морской подвижной, воздушной подвижной и радиолокационной радиослужб для обеспечения передачи навигационной, метеорологической информации, сигналов бедствия, вызова и точного отсчета времени.

Распределение большей части полосы частот диапазона СЧ (в процентном отношении) только для одних радиослужб по сравнению с совместными распределениями связано с увеличением объема информации, требуемой для обеспечения безопасности судоходства и воздухоплавания.

Диапазон ВЧ составляет примерно 10^{-4} часть от всей распределенной полосы частот и обладает своими особенностями распространения радиоволн. В этом диапазоне, также как и в предыдущих диапазонах, распространяются, как земные, так и ионосферные волны. Однако земные волны в диапазоне ВЧ вследствие значительного поглощения в полупроводящей поверхности земли [4] распространяются, как правило, на расстояния до 200-300 км. В тоже время ионосферные волны посредством многократного отражения от ионосферы могут распространяться на расстояния до нескольких тысяч километров, поскольку при отражении от ионосферы радиоволны ВЧ диапазона подвергаются ослаблению в меньшей степени по мере роста частоты.

В частотном диапазоне ВЧ распределение участков спектра только одной какой-либо радиослужбе занимает более 55 % от всей полосы частот. Эти участки спектра отведены для решения задач обеспечения безопасности судоходства и воздухоплавания, радиовещания и научных целей для следующих радиослужб: воздушная подвижная, морская подвижная, фиксированная, служба стандартных частот и сигналов времени, радиовещательная и радиоастрономическая.

Как следует из анализа распределения низкочастотных диапазонов (диапазоны №№ 4-7), возрастание относительной части ширины полосы, распределяемой только для одних радиослужб каждого из рассмотренных частотных диапазонов, с учетом специфических особенностей распространения радиоволн, обусловлено потребностью спектра для решения задач обеспечения безопасности при выполнении необходимых условий совместности радиослужб с одной стороны. С другой стороны, низкочастотные диапазоны обладают недостаточной информационной емкостью сообщений, которые требуются для радиослужб, отвечающих за безопасность при передаче необходимой навигационной, метеорологической информации и информации контроля и управления. Применение новых радиотехнологий сжатия спектра и обработки информации в приемных устройствах РЭС в этих частотных диапазонах пока не в состоянии удовлетворить потребности в спектре выше перечисленных радиослужб.

VI. ДИАПАЗОН ОВЧ

Частотный диапазон ОВЧ составляет 10^{-3} часть от всего распределенного спектра. В этом

диапазоне радиоволны не претерпевают регулярных отражений в ионосфере и слабо дифрагируют [4] относительно поверхности земли, поэтому дальность их распространения в качестве земных волн незначительно превышает дальность прямой видимости. Однако за счет эффекта волноводного распространения в тропосфере распространение радиоволн ОВЧ диапазона может осуществляться на значительные расстояния, что может создавать проблемы для обеспечения ЭМС РЭС в этом диапазоне частот.

Диапазон частот ОВЧ обладает большей информационной емкостью, нежели предыдущие, тем не менее, распределения спектра только одной из радиослужб (радиовещательная, воздушная радионавигация, воздушная подвижная, морская подвижная) в этом диапазоне составляют значительную часть (42 %) от общей полосы ОВЧ диапазона, причем большая часть этой полосы распределена радиовещательной службе (телевидение и звуковое радиовещание).

В полосе совместного распределения спектра в диапазоне ОВЧ предпочтение отдано в основном фиксированной и подвижной радиослужбам для обеспечения оперативной связи во всех сферах деятельности человека.

VII. ДИАПАЗОНЫ УВЧ И СВЧ

Диапазоны УВЧ и СВЧ являются наиболее информативными из всех освоенных диапазонов частот и занимают соответственно около 0,01 и 0,1 части относительно всей полосы распределенного спектра.

Особенностью распространения радиоволн диапазонов УВЧ и СВЧ является то, что они не отражаются от ионизированной области атмосферы и не преломляются, а также имеют очень малую степень ослабления в ионосфере за счет рассеяния. С другой стороны радиоволны указанных частотных диапазонов распространяются вдоль земли только на дальности прямой видимости и не обладают дифракционными свойствами. В диапазоне УВЧ практически отсутствует поглощение в гидрометеообразованиях, однако в диапазоне СВЧ поглощение радиоволн в указанной среде становится заметным и увеличивается с ростом частоты.

Основная часть спектра в диапазонах УВЧ и СВЧ распределена совместным радиослужбам (83 % и 89 % соответственно).

Так, в нижней части диапазона УВЧ в полосе 300-470 МГц и 790-960 МГц преимущественно совместное распределение получили фиксированная и подвижная службы. Это обусловлено тем, что в нижней части спектра УВЧ диапазона за счет более благоприятных условий распространения радиоволн обеспечивается требуемая зона покрытия.

В средней части диапазона УВЧ полосы частот совместно распределены радиослужбам,

обеспечивающим безопасность и глобальную подвижную связь (воздушная радионавигационная, воздушная подвижная, радионавигационная спутниковая, радиолокационная, подвижная спутниковая службы (ПСС) и спутниковая служба исследования Земли (ССИЗ) (активная).

В полосе частот примерно 2-3 ГГц совмещение получили, в основном, подвижная и фиксированная службы.

Распределение полос спектра только одной какой-либо радиослужбе в диапазоне УВЧ принадлежит радиовещательной службе (470-790 МГц), воздушной радионавигационной, радиолокации и ССИЗ.

Анализ совместного распределения спектра радиослужбам в диапазоне УВЧ показывает то, что подвижная и фиксированная службы занимают более 70 % совместно распределенных полос частот. Среди всех других радиослужб в совмещенных полосах частот выделяются родственные службы (радиолокационная, спутниковая служба исследования Земли (активная) и спутниковая служба радиоопределения). Это стало возможным потому, что радиолокация в последние десятилетия занимает очень важное место, как в обеспечении безопасности, так и в обороноспособности стран. Радиолокационные службы (ССИЗ, спутниковая служба радиоопределения и радиолокация) в диапазоне УВЧ занимают более 800 МГц спектра (27 % от всего диапазона УВЧ).

В диапазоне СВЧ с учетом условий распространения радиоволн и важности космического сегмента для реализации глобальных коммуникаций преимущественное распределение спектра получили космические службы (фиксированная спутниковая служба - ФСС, ПСС, ССИЗ, как активная, так и пассивная, радиовещательная спутниковая служба, служба космических исследований, метеорологическая спутниковая и др.).

В диапазонах СВЧ, как следует из Рисунка 1, около 11 % полос спектра распределены только одной из радиослужб (радиолокационной и воздушной радионавигации).

VIII. ДИАПАЗОН КВЧ

В диапазоне КВЧ (миллиметровые волны) к настоящему времени освоена только первая треть этого диапазона, но недостаточно освоена полоса 80-300 ГГц в силу следующих причин.

Во-первых, на условия распространения миллиметровых волн значительное влияние оказывают гидрометеообразования в виде дождя, тумана, снега и т. п.

Во-вторых, радиоволны этого диапазона испытывают сильное молекулярное ослабление в газах тропосферы, водяных парах и кислороде воздуха [4]. Однако в диапазоне волн (

$\lambda = 10 - 1,0 \text{ мм}$) имеются 4 окна относительно слабого поглощения:

- ($\lambda = 8,6 \text{ мм}$ где ослабление $\delta = 0,007 \text{ дБ / км}$);
- ($\lambda = 3,0 \text{ мм}$ где ослабление $\delta = 0,22 \text{ дБ / км}$);
- ($\lambda = 2,0 \text{ мм}$ где ослабление $\delta = 0,3 \text{ дБ / км}$);
- ($\lambda = 1,2 \text{ мм}$ где ослабление $\delta = 0,7 \text{ дБ / км}$).

Распределение спектра только одной радиослужбе (радиолокационной) в диапазоне КВЧ составляет 1,6 % от всей полосы частот. Однако в совместно распределенных полосах радиолокационная служба вместе со ССИЗ (активная) спутниковая служба радиоопределения (ССРО) занимают около 10 % полосы спектра этого диапазона. В то же время ССИЗ (пассивная) в совместных полосах распределения составляет 27 % спектра относительно всего диапазона КВЧ, из них 24 % в полосе 100-300 ГГц.

Основу совместного распределения в диапазоне КВЧ составляют ФСС, ФС, ПСС, ПС, радионавигация, в том числе и спутниковая, а также другие наземные и космические службы.

Распределение спектра, в том числе дополнительное, какой либо службе, так же как и формирование повестки дня на будущий форум осуществляется на Всемирных конференциях по радиосвязи (ВКР) или Всемирных административных (полномочных) конференциях по радиосвязи (ВАКР).

Анализ содержания вопросов, предложенных для рассмотрения на Всемирных конференциях 2000-2015 годов показывает устойчивую тенденцию, что значительная часть пунктов повестки дня предполагает дополнительное распределение спектра тем или иным службам в трех диапазонах (УВЧ, СВЧ, КВЧ) по трем основным направлениям радиосвязи в глобальном масштабе:

- система глобальной подвижной связи ИМТ, включающая наземный и космический сегменты;
- система связи и радионавигация для решения задач контроля, телеметрии и управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), содержащая в себе наземный, воздушный и спутниковый сегменты;
- система глобального радиоопределения параметров объектов, находящихся на Земле, на воде, в воздухе и в космосе, которая также включает в себя радиолокационные средства наземного, морского, воздушного и космического базирования.

Анализ решений (Резолюций) только четырех последних конференций показывает, что для вышеуказанных систем дополнительно распределены полосы спектра, составляющие многие сотни МГц. Расширение спектра для радиослужб вызвано появлением новых радиотехнологий, особенно в области сжатия спектра, позволяющих обеспечивать потоки информации десятки Мбит/с при передаче информации и разрешение объектов в

радиоопределении, соизмеримое с оптическим диапазоном.

Основными научно-техническими задачами при распределении спектра какой-либо службе в совмещенной полосе частот является определение условий и технических критериев электромагнитной совместимости радиослужб.

IX. ВЫВОДЫ

Анализ распределений радиочастотного спектра по радиослужбам, классифицированным Международным союзом электросвязи показал следующее.

1. В малоинформативной длинноволновой части спектра (частотные диапазоны №№ 5-8) почти половина полос частот каждого диапазона распределена радиослужбам без совмещения полос (Рисунок 1). Радиослужбы, распределенные без совмещения, обеспечивают радиовещание, а также безопасность морского и воздушного транспорта на глобальном уровне, основываясь на особенностях распространения радиоволн.

2. В высокочастотной части спектра (частотные диапазоны №№ 9-10) акцент смещается на совмещение радиослужб. Радиослужбам без совмещения полос частот отводится незначительная часть спектра (Рисунок 1). Развитие радиотехнологий сжатия спектра позволило обеспечить существенное увеличение количества передаваемой информации за счет широкополосных и сверхширокополосных сигналов с одной стороны, а с другой стороны улучшить условия совместимости радиослужб.

3. За последние 10-15 лет в МСЭ наметилась явная тенденция обеспечения требуемым спектром на глобальной основе следующие системы:

- система глобальной подвижной связи ИМТ, включающая наземный и космический сегменты;
- система связи и радионавигация для решения задач контроля, телеметрии и управления БПЛА, содержащая в себе наземный, воздушный и спутниковый сегменты;
- система глобального радиоопределения параметров объектов, находящихся на Земле, на воде, в воздухе и в космосе, которая включает в себя радиолокационные средства наземного, морского, воздушного и космического базирования.

4. Анализ распределения частот между радиослужбами и мировые тенденции в глобализации радиосистем позволяют сделать вывод о необходимости существования четких критериев и средств обеспечения электромагнитной совместимости между системами различных радиослужб, особенно радиослужб, участвующих в обеспечении безопасности жизнедеятельности человека, и радиослужб, направленных на различного рода исследования с высокими рисками потери данных при наличии помех. Системы безопасности и

исследований с увеличением количества передаваемой информации вследствие стремительного технического развития человечества (рост количества различных датчиков, сканеров, количества исследуемых параметров, увеличение точности, детализации) требуют выделения большего частотного спектра, а значит должны занимать более высокий диапазон частот (если это физически возможно), и отдельное распределения спектра службам становится невозможным. Обостряется задача обеспечения электромагнитной совместимости между системами совмещенных служб. Приоритетным в данной ситуации является гарантированное функционирование систем обеспечения безопасности человека, к которым в свою очередь относятся радиолокационные и навигационные системы, и которые (в свою очередь) не обеспечены полным перечнем критериев защиты от помех от вводимых и разрабатываемых новых радиосистем и

технологий. С другой стороны, также наблюдаются тенденции создания глобальных радиосистем, что в конечном итоге подразумевает планомерное перераспределение частот между службами на глобальной основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устав Международного союза электросвязи. Женева, МСЭ. 1996.
2. Регламент радиосвязи. МСЭ, Женева-2012 г.
3. Предварительные Заключительные Акты. Всемирная конференция радиосвязи (ВКР-12). Женева 23 января-17 февраля 2012 г.
4. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. М., "Связь", 1972. 336 с.

Получена в редакции 06.03.2013, принята к печати 0.03.2013