

УДК 621.369.9

АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПОВ РЛС В ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ

А. С. Подстригаев, А. В. Смоляков, М. Г. Слободян
Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, бул. 50-лет Октября, 7

Статья поступила в редакцию 7 июля 2017 г.

Аннотация. На основе анализа зарубежной и отечественной литературы представлены гистограммы распределения в радиочастотном диапазоне 240 типов гражданских и 423 типов военных РЛС. Получена обобщенная гистограмма, иллюстрирующая распределение всех типов РЛС. Выполнен анализ перспективной загруженности радиодиапазона. Даны рекомендации по использованию результатов работы.

Ключевые слова: радиолокация, РЛС, радар, распределение типов РЛС, загруженность частотного диапазона, радиодиапазон, радиотехническая разведка.

Abstract. A distribution histogram of 240 types of civilian radars and 423 types of military radars in the radio spectrum based on the analysis of open sources is presented. The summarized histogram illustrating the distribution of all radar types is obtained.

Types of radars forming high-density areas on the histograms are described. For now, the most loaded band is the X-band. This can be explained by the fact that the radars of this range have high resolution for small atmospheric attenuations. For now, the most unloaded band is the millimeter wavelength band (frequencies from 25 GHz and higher). The reason for this is the high atmospheric attenuations. An analysis of the perspective radio spectrum load is performed.

Considering the high resolution and the small size of the microwave path, the millimeter range radars are promising in various branches of both military and civil technics. Examples of such branches include UAVs and personal vehicles.

The obtained histograms can be used in the designing process of electronic intelligence facilities, for operation planning of radio monitoring equipment, for choosing the operating frequencies of developing radars, in the field of communication, radio control, electronic warfare and in other directions of radio engineering.

Key words: radiolocation, radar, radars types distribution, radio spectrum load, radio spectrum, radio intelligence.

1. Введение

Анализ радиоизлучений в широком мгновенном частотном диапазоне является актуальной технической задачей. Такой анализ выполняется, например, в средствах радиотехнической разведки (РТР).

Характерной особенностью функционирования средств РТР является априорная неопределенность частотно-временных параметров сигнала. В связи с этим в общем случае необходимо обеспечить возможность приема сигналов во всех потенциально возможных диапазонах параметров (амплитуды, несущей частоты, модуляции, длительности импульсов, ширины спектра и др.) Попытки создания универсальной схемы на протяжении последних десятилетий неоднократно предпринимались различными научными коллективами, а также отдельными учеными и инженерами. Однако с учетом значительного усложнения современной сигнальной обстановки, применением широкополосных сигналов, сигналов с перестройкой рабочей частоты и сверхкоротких импульсов в настоящее время прием и обработка всех видов сигналов с широкими диапазонами всех параметров принципиально невозможны. Ценой за максимальную «универсальность» по каким-либо параметрам обрабатываемых сигналов является неизбежное ухудшение каких-либо других параметров.

2. Постановка задачи исследования

Одним из основных требований к устройствам приема и обработки сигналов в средствах РТР является точность определения частотно-временных параметров сигналов. Для этого должны быть обеспечены: во-первых, минимальное искажение сигналов до обработки, а во-вторых, исключение грубых ошибок и неоднозначности измерений [1].

Приоритетными объектами РТР являются радиолокационные системы (РЛС) различного назначения и базирования. Учитывая значительный разброс рабочих частот современных РЛС, широкий мгновенный диапазон рабочих частот также является одним из основных требований к средствам РТР.

Одновременно с этим время обработки сигналов должно быть минимальным. Причем в средствах исполнительной (непосредственной) РТР, используемых для непосредственного информационного обеспечения систем и комплексов радиоэлектронной борьбы (РЭБ), требуется оперативность измерения параметров принятых радиосигналов, их анализа, определения принадлежности к той или иной РЛС и принятия решения о необходимости радиоэлектронного подавления. В средствах общей (предварительной) РТР требование к оперативности не является таким же жестким, однако очевидно, что время обработки информации в любом случае должно быть минимальным.

При этом на длительность анализа и обработки принятого сигнала наибольшее влияние оказывают следующие проблемы при построении приемной аппаратуры средств РТР [2 – 7]:

- возникновение ложных отметок цели, возникающих из-за гармонических преобразований как одного, так и нескольких сигналов в нелинейных элементах приемника РТР;
- неоднозначность определения частоты (НОЧ) сигнала при попадании сигнала на стыки соседних частотных каналов приемника;
- значительная неоднозначность измерения всех параметров сигналов в условиях сложной сигнальной обстановки (например, при массивном

применении РЛС).

Снижение времени анализа и обработки сигнала вступает в противоречие с удовлетворением требований к точности определения параметров сигнала и широкому мгновенному диапазону рабочих частот.

Принимая во внимание указанные проблемы, очевидно, что для анализа схем построения приемной и анализирующей аппаратуры на этапе проектирования средств РТР необходима априорная информация о потенциальной загруженности радиодиапазона, прежде всего радиолокационными средствами. Предпочтительным является также наличие информации о возможных внеполосных источниках излучения, которые могут являться источником помех по комбинационным и интермодуляционным каналам приема, перегружать чувствительные элементы приемной аппаратуры, а также при автоматической регулировке усиления приводить к потере слабых сигналов.

Косвенно загруженность радиодиапазона можно оценить по данным об общей плотности распределения типов РЛС в частотном диапазоне. Построение такого распределения является целью исследования.

В данной работе проанализированы характеристики РЛС, выпущенных после 1970 года, сведения о которых содержатся в открытых источниках. В связи с большим количеством открытой информации в выборке преобладают РЛС зарубежного производства. РЛС, находящиеся на стадии проектирования или разработанные только в качестве опытных образцов, в выборку не включены.

Одной из задач РТР является определение назначения РЛС. Поэтому далее все РЛС условно разделены на две группы: гражданского и военного (специального) назначения.

3. РЛС гражданского назначения

В гражданских целях РЛС применяются в метеорологии, океанографии, картографии, для управления воздушным движением, обеспечения морской

навигации и дистанционного зондирования Земли.

Основываясь на данных источников [9 – 23] получен график, иллюстрирующий плотность распределения РЛС гражданского назначения в диапазоне частот до 200 ГГц (рис. 1).

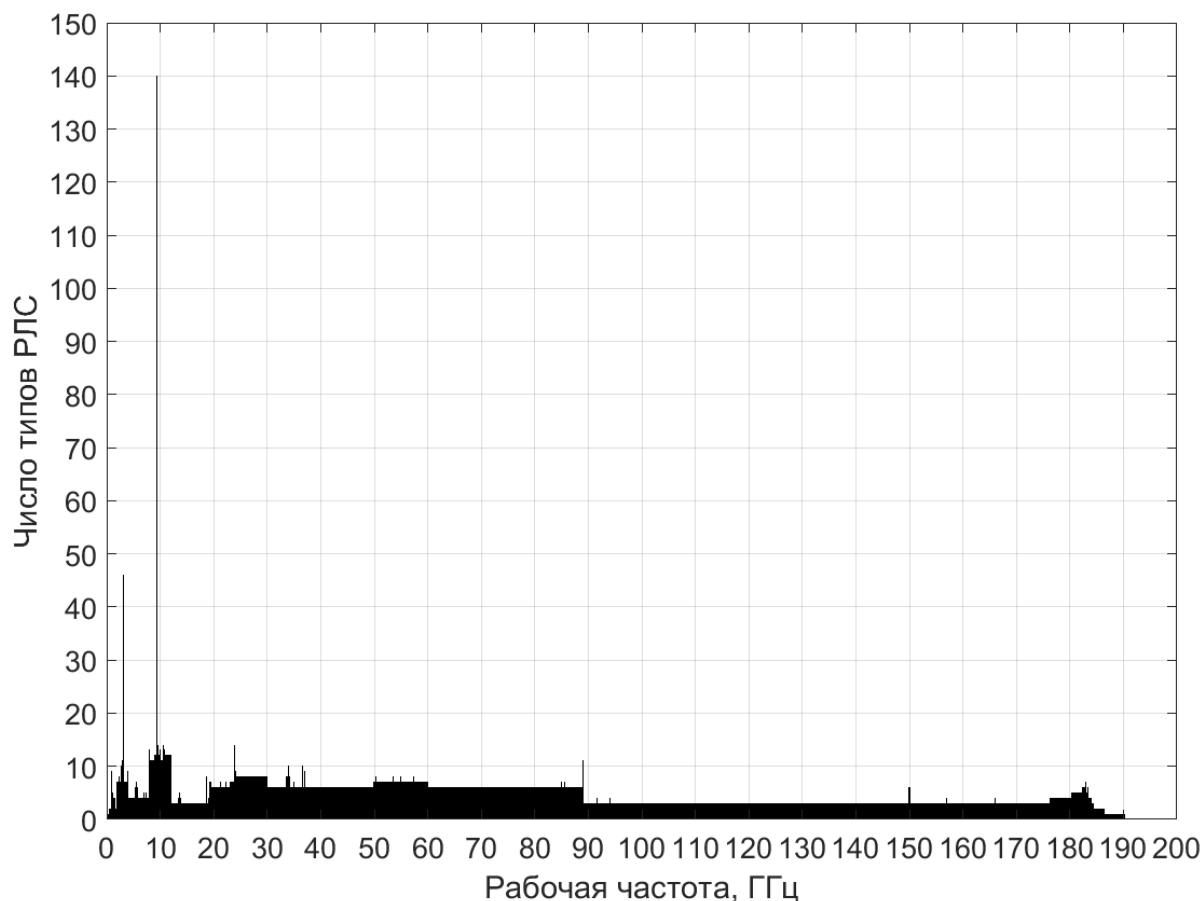


Рис. 1. Плотность распределения различных типов гражданских РЛС по частотам

Из данного графика видно, что РЛС распределены в частотном диапазоне неравномерно. Сопоставление исходных данных с конечной гистограммой показывает, что первый и второй пики обусловлены работой в узких частотных диапазонах 3050 ± 10 и 9410 ± 30 МГц большого количества речных и морских РЛС [14]. Выпуск таких РЛС под различными марками осуществляют как зарубежные, так и отечественные предприятия.

Ввиду низкого затухания сигнала в гидрометеорах (рис. 2) диапазон 2 – 4 ГГц используется метеорологическими РЛС, а также РЛС управления

полётами в аэропортах [15].

В диапазоне 5000 – 5650 МГц работают метеорологические РЛС Управления гражданской авиации США [23].

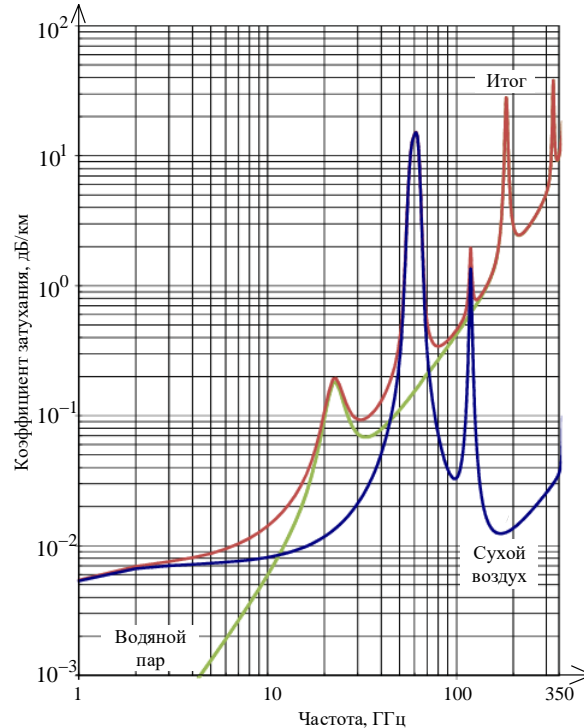


Рис. 2. Частотная зависимость удельного ослабления волн в атмосфере, обусловленного атмосферными газами и водяным паром, для температуры воздуха 20°C, влажности 7,5 г/м³ и нормального атмосферного давления [8]

В более высоком диапазоне частот преимущественно работают РЛС исследовательского назначения космического базирования, решающие задачи изучения магнитного и гравитационного поля Земли, её атмосферы, а также океанографии.

Как видно из рис. 2, на частотах около 30 – 40 ГГц имеется окно радиопрозрачности атмосферы, что обуславливает работу в этом диапазоне радиовысотометров космического базирования и объясняет соответствующие пики на графике рис. 1. Пик на частоте в окрестности 89 ГГц обусловлен работой на частотах 86 – 92 ГГц метеорологических РЛС космического базирования, предназначенных для наблюдения за облаками, ледниками,

осадками различных типов, а также для отслеживания нефтяных пятен в океанах. Диапазон свыше 90 ГГц является основным для многих метеорологических спутников, измеряющих температуру поверхности Земли и высоких слоёв атмосферы, исследующих движение осадков в атмосфере, а также изучающих поверхность океана и водяной пар вблизи неё. Диапазон от 174,8 до 191,8 используют космические РЛС, исследующие распределение водяного пара в атмосфере, а также измеряющие содержание озона и оксида азота в стратосфере [9 – 14,23].

4. РЛС военного и специального назначения

С целью сохранения военного преимущества информация о характеристиках РЛС военного и специального назначения до появления более современных образцов является закрытой. В большинстве открытых источников для РЛС этого типа указывается широкий рабочий диапазон частот (например, X-диапазон), который в действительности используется лишь частично. Это создаёт дополнительные трудности при анализе.

В то же время значительный объем информации из открытых источников [15, 24 – 79] позволяет говорить о достоверности полученной оценки потенциальной загруженности радиочастотного диапазона военными и специальными РЛС.

По данным источников [24 – 79] построена гистограмма распределения РЛС военного и специального назначения в радиочастотном диапазоне до 40 ГГц (рис. 3).

подавляющее большинство РЛС военного и специального назначения используется только в военное время и при проведении специальных операций, поэтому полученное распределение следует считать потенциально возможным лишь при соответствующих условиях.

Из гистограммы можно сделать вывод о неравномерности распределения РЛС. Первый значительный пик на частоте 1,3 ГГц образуют системы радиолокационного опознавания и РЛС обнаружения целей. В этом же

диапазоне работают портативные РЛС, используемые военными для обнаружения и отслеживания ракетного, артиллерийского огня [15, 23]. Частоты 1,3 – 1,35 ГГц используются военными для наблюдения за воздушным транспортом.

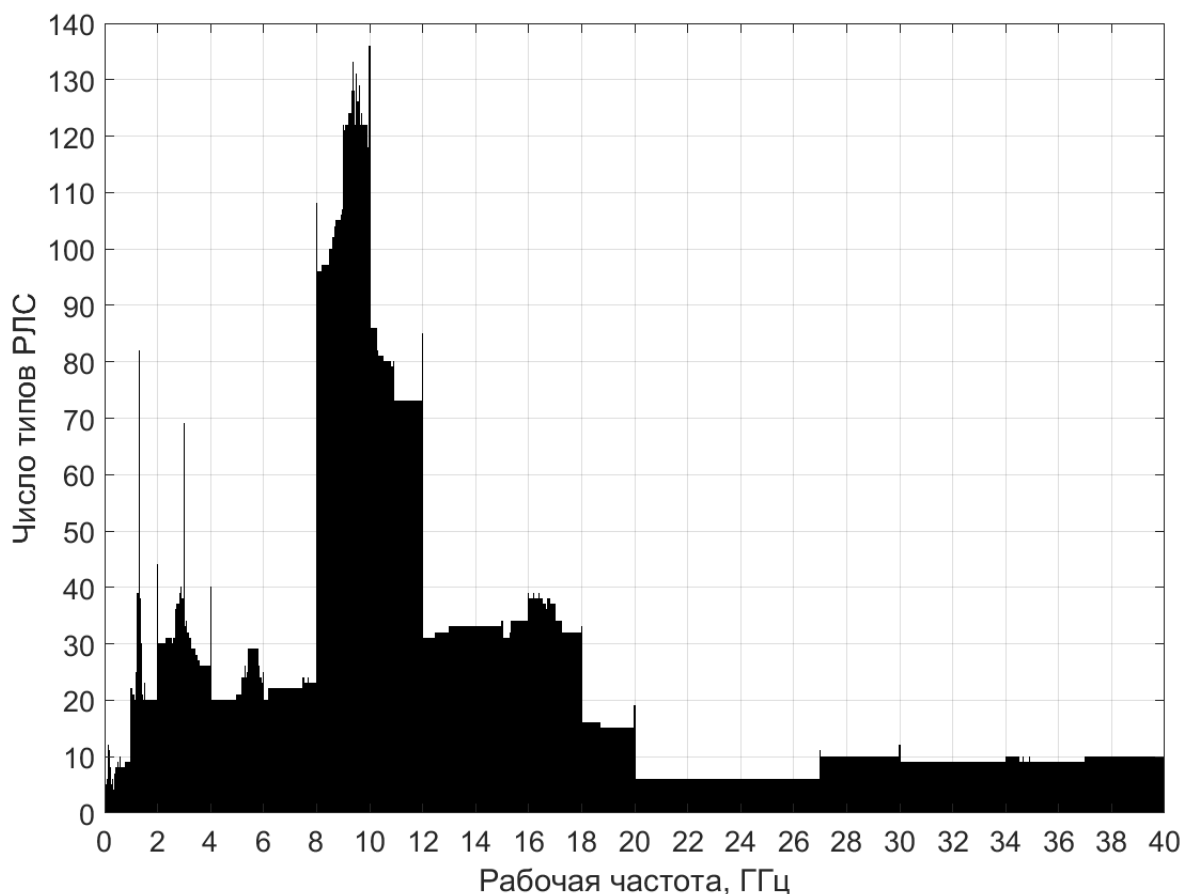


Рис. 3. Плотность распределения различных типов военных РЛС по частотам

Диапазон 1 – 2 ГГц также часто используется РЛС дальнего (до 200 морских миль) обзора воздушного пространства, а также РЛС управления воздушным движением большого радиуса действия.

Частотный диапазон 2,9 – 3,5 ГГц является чрезвычайно важным для военных целей ввиду малого атмосферного затухания. В нём, в основном на частотах 2900 – 3100 МГц, работает большое количество РЛС наблюдения за воздушным пространством, поиска и сопровождения целей [23, 33 – 35], в том числе подвижных, РЛС воздушной обороны, навигационных РЛС морского

базирования, что объясняет пик на гистограмме на частоте 3 ГГц [23]. В диапазоне 3,1 – 3,3 ГГц работают РЛС различных типов базирования, предназначенные для обеспечения функционирования систем управления оружием, а также для обнаружения воздушных и наземных целей. В диапазоне 3,3 – 3,5 ГГц работают многофункциональные РЛС, в том числе морского базирования, используемые в системах управления оружием, обнаружения и слежения за наземными и воздушными целями [23].

Далее рост плотности типов РЛС наблюдается в полосе 5 – 6 ГГц. Полоса частот 5030 – 5091 МГц данного диапазона используется в посадочных системах. В полосе 5255 – 5925 МГц работают РЛС систем противоракетной обороны.

В диапазоне 8 – 12 ГГц при невысоком затухании в атмосфере обеспечивается высокая разрешающая способность. Это объясняет наличие в этом диапазоне большого количества РЛС различного типа и назначения, среди которых метеорологические, навигационные, передвижные РЛС обнаружения артиллерийского огня, РЛС управления оружием, РЛС систем ПРО, бортовые РЛС самолётов – перехватчиков, истребителей и штурмовиков, картографические РЛС [15, 23]. Благодаря невысокому удельному затуханию сигнала в атмосфере дальность действия РЛС в этом диапазоне может достигать более 600 км. На современном этапе развития радиотехники такая дальность не может быть обеспечена при работе, например, в миллиметровом диапазоне, поэтому уже в диапазоне 12 – 18 ГГц работает существенно меньшее число РЛС, что видно из графика.

На частотах свыше 20 ГГц ввиду высоких атмосферных затуханий работают РЛС малой дальности действия. Также этот диапазон является рабочим для некоторых военных коммуникационных систем, РЛС картографирования и сопровождения целей на малых расстояниях и под малым углом [29, 36, 37].

5. Обобщенные данные

В результате объединения гистограмм, представленных на рис. 1 и 3, получена общая гистограмма плотности распределения РЛС различного назначения в радиочастотном диапазоне (рис. 4).

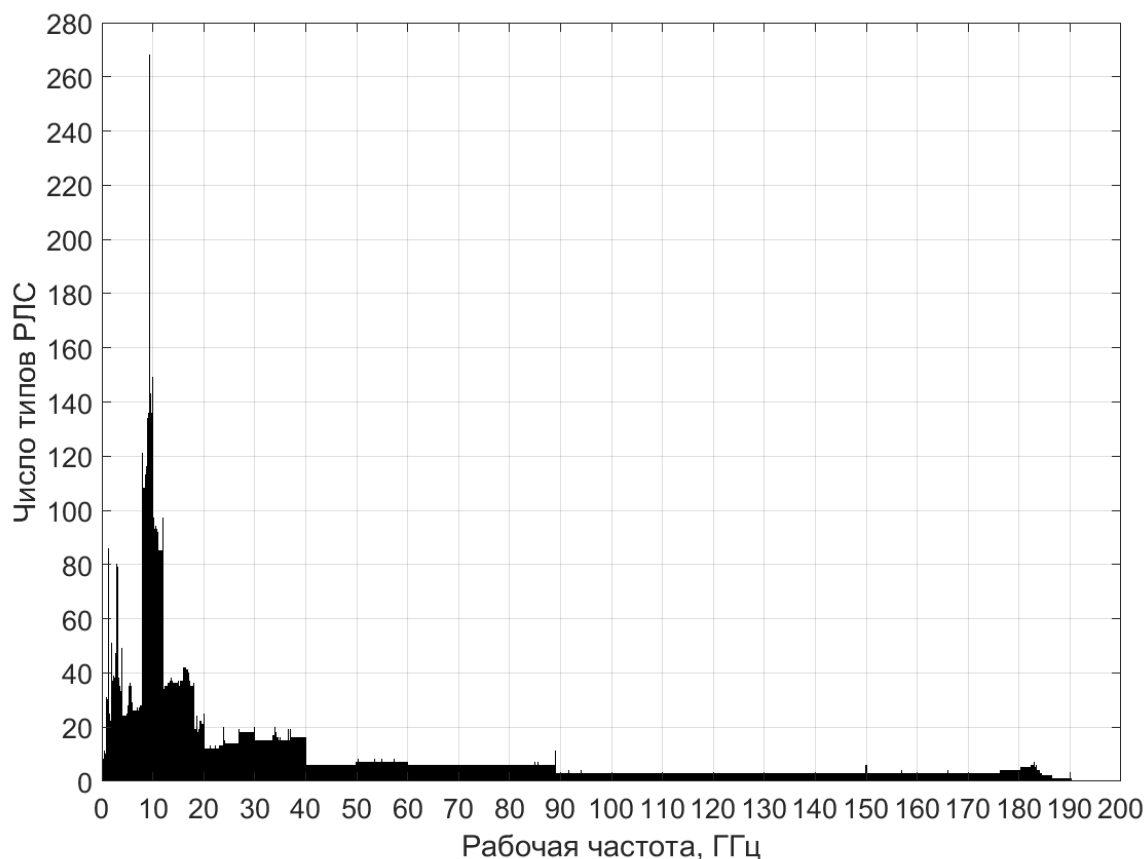


Рис. 4. Плотность распределения типов РЛС различного назначения по частотам

Из гистограммы видно, что большая часть РЛС сосредоточена в X-диапазоне. Максимальная плотность распределения наблюдается в узкой полосе частот 9,3 – 9,5 ГГц (основной пик на гистограмме). Диапазон частот до 20 ГГц в целом можно назвать загруженным. В нём работает подавляющее большинство рассмотренных выше РЛС военного назначения.

Вместе с тем из гистограммы видно, что на частотах выше 40 ГГц, и в особенности выше 90 ГГц, РЛС практически отсутствуют. Работающие в этом

диапазоне РЛС гражданского назначения преимущественно решают научно-исследовательские задачи. РЛС военного назначения, работающие в диапазоне выше 40 ГГц (применяемые, например, в головках самонаведения ракет и для наведения оружия [87]), в данную работу включены не были из-за отсутствия их характеристик в открытых источниках.

Преимуществом миллиметрового диапазона длин волн является снижение массогабаритных характеристик элементов СВЧ-тракта [80] и повышение разрешающей способности по дальности и направлению. Поэтому он рассматривается как перспективный для ряда образцов военной и гражданской техники. В качестве примера можно привести беспилотные летательные аппараты (БЛА). В настоящее время коммерческие образцы БЛА преимущественно оснащаются РЛС, работающими в диапазоне до 10 ГГц [81 – 83], однако ведется разработка РЛС, работающих на частотах выше 30 ГГц. Так РЛС в мм-диапазоне, разработанная для БЛА группой испанских учёных, имеет массу 2,5 кг и размеры 24×16×9 см [84, 85]. Несколько экспериментальных БЛА, работающих в этом диапазоне, описаны в работе [86].

Диапазон частот выше 25 ГГц используется для радиоастрономических исследований. Так уже сейчас ряд радиоастрономических проектов ведётся на частотах 25 – 35 ГГц [23]. Важным для радиоастрономии является диапазон 111,8 – 116 ГГц, так как включает в себя линии спектра монооксида углерода, необходимые для изучения холодных облаков пыли, областей звездообразования, а также строения галактик, включая нашу [91].

Ещё одним направлением техники, где применяются РЛС мм-диапазона, является личный транспорт. Такие РЛС уже сейчас применяются в системах круиз-контроля и предотвращения столкновений [88]. Однако так как в открытом пространстве указанные РЛС имеют дальность действия не более нескольких сотен метров, а излучение сосредоточено вдоль поверхности земли, они не были учтены при построении гистограмм. Тем не менее, на данный момент известны работы, описывающие применение таких РЛС в

самоуправляемых автомобилях для анализа дорожной обстановки (используется сочетание радиотехнического и компьютерного зрения [89]), состояния дорожного покрытия [90], предотвращения столкновений и ряда других задач. Поэтому, учитывая темпы развития отрасли самоуправляемых автомобилей, число таких РЛС в ближайшем будущем может существенно возрасти, что повлияет на радиоэлектронную обстановку, особенно в крупных городах.

Учитывая отмеченные выше преимущества и низкую загруженность, миллиметровый диапазон является перспективным как для военной, так и гражданской радиолокации. С развитием технологий в ближайшем будущем следует ожидать значительного повышения загруженности данного диапазона сигналами радиолокаторов малой дальности.

6. Заключение

Полученные в работе гистограммы, иллюстрирующие распределение 663 типов РЛС (240 гражданских и 423 военных), позволяют приблизительно оценить загруженность радиодиапазона. Безусловно, более полезной была бы информация о типах РЛС в совокупности с их количеством, районами размещения, видами базирования и т.п. Однако сбор и систематизация такой информации из открытых источников в количестве, достаточном для получения достоверной оценки, не представляется возможным.

Тем не менее, систематизированная и представленная в данной работе в удобном для восприятия графическом виде информация на этапе проектирования средств РТР позволяет: повысить точность предварительной оценки вероятности ложной тревоги; спрогнозировать загруженность отдельных участков радиодиапазона и, соответственно, принять необходимые меры по повышению пропускной способности в этих участках; оценить потенциальную плотность использования внеполосных источников излучения и принять меры по уменьшению помех по комбинационным и интермодуляционным каналам приема, исключить перегрузку приемной

аппаратуры; скорректировать диапазон рабочих частот. Перечисленные преимущества от владения априорной информацией приобретают особое значение в военное время.

Следует отметить, что гистограммы распределения типов РЛС могут быть использованы не только при проектировании средств РТР, но и для планирования работы средств радиотехнического мониторинга, при выборе рабочих частот перспективных РЛС, средств связи, радиоуправления, радиоэлектронной борьбы и других радиотехнических средств.

Литература

1. Подстригаев А.С., Лихачев В.П. Неоднозначность определения частоты в матричном приемнике // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2015. № 2. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/feb15/13/text>
2. Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / В.Д. Добыкин [и др.]; под общ. ред. А. И. Куприянова. М.: Вуз. книга, 2009. 360 с.
3. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления / А.В. Леньшин. Воронеж: Науч. книга, 2014. 590 с.
4. Подстригаев А.С. Широкополосный матрично-параллельный приемник средств радиотехнической разведки с пониженной неоднозначностью определения частоты радиолокационных сигналов: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.14 / С.-Петербург. гос. электротехнический ун-т. СПб., 2016. 168 с.
5. Подстригаев А.С. Влияние нелинейности элементов СВЧ тракта на возникновение неоднозначности определения частоты в широкополосном матричном приемнике // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем. 2016. № 1 (10) – С. 147–150.
6. Подстригаев, А. С. Анализ ведения радиотехнической разведки в условиях сложной сигнальной обстановки / А. С. Подстригаев // Современные

проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем. 2016. – № 1 (10) – С. 49–52.

7. Подстригаев А.С., Лихачев В.П., Ляпин М.В., Липаков Н.Е. Анализ вероятностных характеристик матричного приемника с учетом неоднозначности определения частоты на стыках каналов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2015. № 4(38) – С. 17–25.
8. Attenuation by atmospheric gases // International Telecommunication Union. Geneva, 2016. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-11-201609-I!!PDF-E.pdf (дата обращения: 28.05.2017).
9. Бочарников Н.В. [и др.] Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы "Метеоячейка". СПб.: Гидрометеиздат, 2007. 238 с.
10. Локатор SAR // SD Solutions. URL: <http://sdsolutions.ru/lokator-sar> (дата обращения: 29.05.2017).
11. Технологии радиолокации (к 50-летию ОАО "Радиофизика") / Под ред. Толкачева А.А. М.: Вече, 2010. 423 с.
12. Catalogue of Satellite Instruments // The CEOS Database. URL: <http://database.eohandbook.com/database/instrumenttable.aspx> (дата обращения: 29.05.2017).
13. Ерошенков М.Г. Радиолокационный мониторинг. М.: МАКС Пресс, 2004. 452 с.
14. Маринич А.Н. [и др.] Современные судовые и береговые радиолокационные станции (радары) отечественных и зарубежных фирм: монография. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. 166 с.
15. Справочник по радиолокации. Книга 2 / под ред. М.И. Сколника: пер. с англ. М.: Техносфера, 2014, 680 с.
16. Algorithm Theoretical Basis Document L2 & L3 Radar/Radiometer Soil Moisture (Active/Passive) Data Products // Jet Propulsion Laboratory. URL:

- http://smap.jpl.nasa.gov/files/smap2/L2&3_SM_AP_InitRel_v11.pdf(дата обращения: 16.06.2017).
- 17.Primary surveillance 2D S-band radar // Indra Company. URL: http://www.indracompany.com/watmc2016/downloads/SURVEILLANCE/150216-12_PSR_2D_S_BAND_v7-1.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
- 18.INVAP in Space // ITU Symposium on Small Satellites. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-R/space/workshops/2016-small-sat/Documents/INVAP%20in%20Space%20-%20ITU%202016.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
- 19.Основная продукция гражданского назначения // Акционерное общество «Концерн ВКО «Алмаз – Антей». URL: http://www.almaz-antey.ru/catalogue/civil_catalogue/ (дата обращения: 16.06.2017).
- 20.Продукты и услуги // Научно-производственное объединение «Лианозовский электромеханический завод». URL: <http://www.lemz.ru/views/solutions/orvd/orvd> (дата обращения: 16.06.2017).
- 21.Радар Некогерентного Рассеяния // Восточно-Сибирский центр исследования ионосферы Земли (ЦКП ВСЦИИЗ). URL: <http://rp.iszf.irk.ru/esceir/nr/isradar.htm> (дата обращения: 16.06.2017).
- 22.Maritime systems // Kelvin Hughes Limited. URL: <https://www.kelvinhughes.com/maritime/> (дата обращения: 16.06.2017).
- 23.Federal Spectrum Use Summary // National Telecommunications and Information Administration. URL: https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/spectrum_use_summary_master-07142014.pdf (дата обращения: 29.05.2017).
- 24.Кларк Дж. Радиолокационные системы авиационных комплексов дальнего радиолокационного обнаружения (перев. с англ.) // ТИИЭР. 1985. Т. 73. №2. С. 164 – 181.
- 25.Комаров А.А. [и др.] Радиолокационные станции воздушной разведки. М.: Воениздат, 1983. 152 с.

- 26.Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
- 27.Hoogeboom P. Key Principles and Applications Synthetic Aperture Radar // IQPC Conference. London: 2006. pp. 1 – 127.
- 28.Lynx Multi-mode Radar // General Atomics Aeronautical. URL: <http://www.gasi.com/lynx-multi-mode-radar> (дата обращения: 29.05.2017).
- 29.Зарубежные радиоэлектронные средства / Под ред. Ю.М. Перунова. В 4 кн. Кн. 1: Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2010. 336 с.
- 30.Верба В.С. [и др.] Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. М.: Радиотехника, 2010. 680 с.
- 31.Космическая съёмка Земли. Космическая радиолокационная съёмка поверхности Земли / Под ред. Ю.А. Подъездкова. М.: Радиотехника, 2004. 66 с.
- 32.Соловьёв И.В. [и др.] Морская радиоэлектроника: Справочник. СПб.: Политехника, 2003. 246 с.
- 33.Ерошенко М.Г. Радиолокационный мониторинг. М.: МАКС Пресс, 2004. 452 с.
- 34.US Military Aircraft Equipment // GlobalSecurity.org. URL: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/> (дата обращения: 29.05.2017).
- 35.Air defence radars // The Decca Legacy. URL: <http://woottonbridgeiow.org.uk/decca-legacy/chapter7.php> (дата обращения: 29.05.2017).
- 36.APQ-175(V) – Archived 11/98 // Forecast International. URL: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1571 (дата обращения: 29.05.2017).
- 37.Westinghouse WX-50 radar completes flight trials // FlightGlobal. URL: <https://www.flightglobal.com/FlightPDFArchive/1976/1976%20-%2000999.PDF>(дата обращения: 29.05.2017).

38. Northrop Grumman and CEA Demonstrate Scalable CEA FAR Next-Generation Phased Array Sensor System // Asia Pacific Defence Reporter. URL: <http://www.cea.com.au/News+Media/Attachments/2011-0011.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
39. Serviço da peça do edt fila // Ministério da defesa exército brasileiro. URL: <http://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/421/1/C-44-61-Volume-I.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
40. B.C. de Carvalho, R.C.B. Jorge, J.A.N. da Silva, F.A.C. de Bastos, H.C.A. Costa, B.F. Pimento, A. Medella, B.S. de Carvalho, M.G. Pralon, V.A.F. Santa Rita. Desdobramentos Tecnológicos no desenvolvimento do Radar SABER M60 // X Simpósio de Aplicações Operacionais em Areas de Defesa. São José dos Campos. 24-26 de setembro de 2008. pp.89-93.
41. Radar SENTIR-M20 // Bradar Indústria. URL: <http://www.bradar.com.br/images/folders/SENTIR-M20.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
42. Air force solutions // SAAB corporate. URL: <http://saab.com/air/> (дата обращения: 16.06.2017).
43. Land force and Army solutions // SAAB corporate. URL: <http://saab.com/land/> (дата обращения: 16.06.2017).
44. P. Van Genderen. State-of-the-art and trends in phased array radar // Perspectives on Radio Astronomy – Technologies for Large Antenna Arrays. Netherlands Foundation for Research in Astronomy. 1999.
45. Flycatcher – Archived 5/98 // Forecast International. URL: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1611 (дата обращения: 16.06.2017).
46. AN/FPS-129 Have Stare // Raytheon Company. URL: <https://www.armscontrol.ru/start/docs/HaveStareRaytheonWebPage.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).

47. Ground Master 400 // ThalesRaytheonSystems. URL: http://www.thalesraytheon.com/fileadmin/tmpl/Products/pdf/111058_GM400_Paris_Update_v3_LR.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
48. RASIT – Archived 08/2003 // Forecast International. URL: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=757 (дата обращения: 16.06.2017).
49. SMART-L EWC Superior range performance // Thales Group. URL: <https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/smart-l-ewc-v01.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
50. Sampson Next Generation Multi-function Radar // BAE Systems. URL: <http://www.baesystems.com/en/download-en/20151124115534/1434555682228.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
51. Statement of work and technical requirements for Sindre I signal processor, receiver excitor upgrade // NATO Support and procurement agency. URL: https://eportal.nspa.nato.int/eProcurement/DownloadFile.aspx?id=%2Fuploadpublicfolder%2FProcurementRFPAttachments%2FVCO17001_RFP%5C05_SOW+Final+dated+13+Dec+16.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
52. TRML-3D/32 Mobile Air Surveillance and Defence Radar System // AIRBUS Defence & Space. URL: http://airbusdefenceandspace.com/wp-content/uploads/2015/03/4840_11500964_en_trml_3d.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
53. AN/TPQ-36(V)10 Firefinder Weapon Locating System // Thales Group. URL: http://www.thalesraytheon.com/fileadmin/tmpl/Products/pdf/TPQ-36_Radar_Data_Sheet_-_April_2011.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
54. AN/TPQ-37 Firefinder Weapon Locating System // Thales Group. URL: https://web.archive.org/web/20160303231733/http://www.radartutorial.eu/19.kartei/pubs/cms01_050672.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
55. LCMR Counterfire Radars // SRC Inc. URL: <https://www.srcinc.com/what-we-do/radar-and-sensors/lcmr-counterfire-radars.html> (дата обращения: 16.06.2017).

56. Cymbeline – Archived 7/98 // Forecast International. URL: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1605 (дата обращения: 16.06.2017).
57. ELM 2084 MMR (Israel) // Missile Defense Advocacy Alliance. URL: <http://missiledefenseadvocacy.org/missile-defense-systems-2/allied-air-and-missile-defense-systems/allied-sensor-systems/elm-2084-mmr-israel/> (дата обращения: 16.06.2017).
58. ARS-800 Airborne Maritime Surveillance Radar // PIT-RADWAR Spółka Akcyjna. URL: <http://www.pitradwar.com/wp-content/uploads/2012/03/ARS-800-EN.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
59. Aesa radar for the rafale, the omnirole fighter // Thales Group. URL: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/aesa_rbe2_5_juin_val_def_bat_ok.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
60. Indigenous RADARS-I // Technology focus. URL: https://drdo.gov.in/drdo/pub/techfocus/2013/TF_April_2013_WEB.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
61. Radar systems // Leonardo company. URL: <http://www.leonardocompany.com/product-services/difesa-terrestre-navale-land-naval-defence/radar-systems> (дата обращения: 16.06.2017).
62. Основная продукция военного назначения // Акционерное общество «Концерн ВКО «Алмаз – Антей». URL: http://www.almaz-antey.ru/catalogue/military_catalogue/ (дата обращения: 16.06.2017).
63. S-125 SA-3 GOA // Federation of American Scientists. URL: <https://fas.org/nuke/guide/russia/airdef/s-125.htm> (дата обращения: 16.06.2017).
64. FAN SONG // GlobalSecurity.org. URL: <http://www.globalsecurity.org/military/world/russia/fan-song.htm> (дата обращения: 16.06.2017).

65. Flanker Radars in Beyond Visual Range Air Combat // Air Power Australia. URL: <http://www.ausairpower.net/APA-Flanker-Radars.html> (дата обращения: 16.06.2017).
66. Продукция и услуги // АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР». URL: <http://www.phazotron.com/produksiya-i-uslugi/> (дата обращения: 16.06.2017).
67. History and the Current Status of the Russian Early-Warning System // Taylor and Francis. URL: <https://web.archive.org/web/20120315024323/http://iis-db.stanford.edu/pubs/20734/Podvig-S%26GS.pdf> (дата обращения: 16.06.2017). DOI: 10.1080/08929880290008395
68. Manportable surveillance and target acquisition (MSTAR v6) // DRS Technologies. URL: http://www.leonardodrs.com/media/2247/mstar_v6_datasheet.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
69. United Kingdom Air Defence. A Brief History // Heathrow Aviation Engineering UTC CCF. URL: <http://heathrowccf.org/website%20download%20files/Advanced%20Radio%20and%20Radar/Overview%20RADAR%20History%20T101.ppt.pps> (дата обращения: 16.06.2017).
70. Maritime systems // Kelvin Hughes Limited. URL: <https://www.kelvinhughes.com/maritime/> (дата обращения: 16.06.2017).
71. Type 1022 (LW08) // Thales Sails the Seven Seas. URL: http://www.thales7seas.com/html_2014/product365.html (дата обращения: 16.06.2017).
72. Sensors // Thales Sails the Seven Seas. URL: http://www.thales7seas.com/html_2014/sensors.html (дата обращения: 16.06.2017).
73. Foxhunter (AI-24) – Archived 11/98 // Forecast International. URL: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1613 (дата обращения: 16.06.2017).

74. Technical Report «The Surface Warfare Test Ship» // Naval postgraduate school monterey, california. URL: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a374332.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
75. Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress // Congressional Research Service. URL: <https://fas.org/sgp/crs/weapons/RL32109.pdf> (дата обращения: 16.06.2017).
76. AN/MPQ-64F1 Improved Sentinel // ThalesRaytheonSystems. URL: http://www.thalesraytheon.com/fileadmin/tmpl/Products/pdf/Improved_Sentinel_Radar_Data_Sheet_-_April_2011.pdf (дата обращения: 16.06.2017).
77. AN/TPS-59(V)3 Radar Set // GlobalSecurity.org. URL: <http://www.globalsecurity.org/space/systems/an-tps-59.htm> (дата обращения: 16.06.2017).
78. AN/TPS-75 Radar System // GlobalSecurity.org. URL: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/an-tps-75.htm> (дата обращения: 16.06.2017).
79. A History of Terrain-Following Radar // A master of engineering report submitted to the College of Engineering at Texas Tech University in partial Fulfillment of the Requirements for the degree of Master of engineering. URL: <https://ru.scribd.com/document/68042478/Penn> (дата обращения: 16.06.2017).
80. Подстригаев А.С. Проектирование СВЧ-устройств: Практикум [Текст] + [Электронный ресурс]. Брянск: БГТУ, 2015. 123 с.
81. SlimSAR // ARTEMIS, Inc. URL: <http://artemisinc.net/slimsar.php> (дата обращения: 29.05.2017).
82. MicroASAR // ARTEMIS, Inc. URL: <http://artemisinc.net/microasar.php> (дата обращения: 29.05.2017).
83. NuSAR // Space Dynamics Laboratory. URL: <http://www.sdl.usu.edu/downloads/nusar.pdf> (дата обращения: 29.05.2017).
84. Almorox-Gonzalez P., Gonzalez-Partida J.-T., Burgos-Garcia M., Morena-Alvarez-Palencia C., Arche-Andradas L., Dorta-Naranjo B.-P. Portable High

- Resolution LFM-CW Radar Sensor in Millimeter-Wave Band // 2007 International Conference on Sensor Technologies and Applications. Valencia: 14 – 20 Oct. 2007. pp. 5 – 9. DOI: 10.1109/SENSORCOMM.2007.4394888
85. González-Partida J.-T., Almorox-González P., Burgos-Garcia M., Dorta-Naranjo B.-P. SAR System for UAV Operation with Motion Error Compensation beyond the Resolution Cell. // Sensors. 2008. №8. pp. 3384 – 3405. DOI: 10.3390/s8053384
86. Koo V.C., Chan Y.K., Vetharatnam G., Chua M.Y., Lim C.H., Lim C.-S., Thum C.C., Lim T.S., Z. bin Ahmad, Mahmood K.A., M.H. Bin Shahid, Ang C.Y., Tan W.Q., Tan P.N., Yee K.S., Cheaw W.G., Boey H.S., Choo A.L., Sew B.C. A new unmanned aerial vehicle synthetic aperture radar for environmental monitoring. // Progress In Electromagnetics Research. 2012. V. 122. pp. 245 – 268.
87. Нефедов С.И. [и др.] Перспективы применения миллиметровой радиолокации для обнаружения и распознавания неподвижных и движущихся объектов на фоне подстилающей поверхности // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». ИРЭ РАН: 2010. С. 237 – 242.
88. LRR3: 3rd generation Long-Range Radar Sensor // Bosch Mobility Solutions. URL: http://products.bosch-mobility-solutions.com/media/db_application/downloads/pdf/safety_1/en_4/lrr3_datenblatt_de_2009.pdf (дата обращения: 29.05.2017).
89. Giancarlo A., Broggi A., Cerri P. Vehicle and Guard Rail Detection Using Radar and Vision Data Fusion // IEEE transactions on intelligent transportation systems. 2007. V.8. № 1. pp. 95 – 105. DOI: 10.1109/TITS.2006.888597
90. Viikari V.V., Varpula T., Kantanen M. Road-Condition Recognition Using 24-GHz Automotive Radar // IEEE transactions on intelligent transportation systems. 2009. V. 10 № 4. pp. 639 – 648. DOI: 10.1109/ITSC.2005.1520162
91. Gillespie A.R. CO Observations in Galactic Clouds // The Messenger. 1980. №21. pp. 20 – 22.

Ссылка на статью:

А. С. Подстригаев, А. В. Смоляков, М. Г. Слободян. Анализ плотности распределения типов РЛС в частотном диапазоне. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul17/12/text.pdf>