

Анализ патентной активности в области перспективных локационных технологий терагерцового диапазона

А.Г. Черевко, Е.М. Ильин, Ю.Д. Моргачев, А.И. Полубехин

Проведен анализ патентной активности в сверхдальнем инфракрасном диапазоне в части перспективных локационных технологий в соответствии с периодом сменяемости поколений техники (последние 15 лет). Показано, что именно в этот период начался практически линейный рост числа патентов, предлагаемых странами НАТО, Японией и Китаем. В России такая тенденция не проявляется, т.к. число российских патентов в этой области на порядок меньше, чем патентов как США, так и Китая, а также Японии и стран ЕС.

Ключевые слова: патенты, терагерцы (ТГц), антенна, детектор, фотоприёмник, ТГц-генератор.

1. Введение

В настоящее время разрабатываются новые технологии противодействия пеленгации целей [1]. Реакцией на прогресс в указанной области может служить освоение новых частотных диапазонов локации. Одним из таких, ещё не достаточно освоенных диапазонов, является терагерцовый диапазон частот.

Терагерцовая область частот (сверхдальний инфракрасный диапазон длин волн – СИД) лежит по частотам выше частотной границы вакуумной СВЧ-электроники (клистроны, магнетроны, лампы бегущей волны, лампы обратной волны), но ниже, чем фотоника (инфракрасные и оптические лазеры). Последние двадцать лет, благодаря развитию методов генерации терагерцового излучения на базе мощных пикосекундных лазеров, твёрдотельных квантовых каскадных терагерцовых лазеров, источников, основанных на электронных пучках (лампы обратной волны, гиротроны, источники когерентного терагерцового синхротронного излучения, мощные перенастраиваемые терагерцовые лазеры на свободных электронах), интерес к исследованиям в терагерцовой области резко вырос [2].

Национальные программы использования терагерцового излучения созданы в США, Японии и Европе. Области исследований с помощью терагерцового излучения являются биология и медицина, физика и материаловедение, аналитическая химия, экология и многие другие. В области технических приложений на первый план выходит создание терагерцовых локационных систем (ТЛС) [2], в частности создание пассивных ТЛС. Прогресс в создании ТЛС связан с созданием перестраиваемых по длинам волн компактных лазеров на свободных электронах и компактных источников когерентного синхротронного излучения, спектральная мощность которых в $10^3 - 10^6$ раз превышает мощность источников другого типа [2, 3]. Одним из важнейших элементов терагерцового локатора являются детекторы терагерцового диапазона. Научный задел для создания эффективного терагерцового детектора к настоящему времени в России создан.

Терагерцовый диапазон может играть важную роль в системах противоракетной обороны, позволяя определять микродвижения ракеты.

Микродвижения вызывают дополнительные частотные изменения эхо-сигнала, что может быть использовано для создания новых технологий по обнаружению радиолокационных целей. Как это видно из рис. 1 [4], использование локации в терагерцовом диапазоне даёт более надёжную информацию для определения истинных и ложных целей схожих по движению, чем локация в диапазоне больших длин волн.

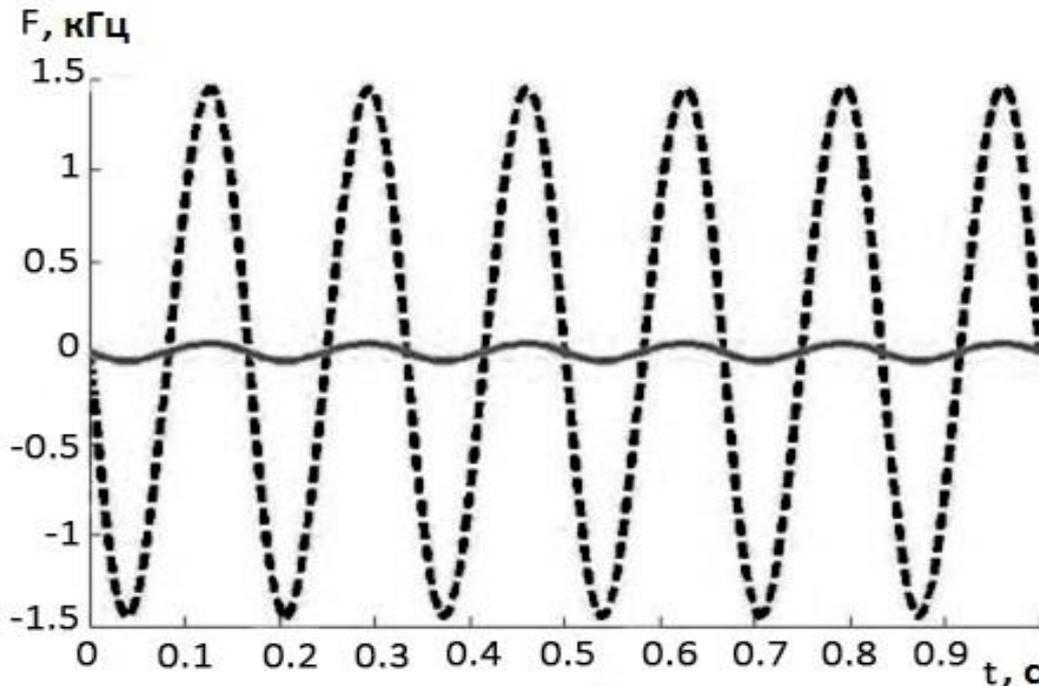


Рис. 1. Сравнение сигналов, вызванных прецессией боеголовки баллистической ракеты для двух диапазонов длин волн. Локатор ТГц-диапазона – штриховая линия (terahertz band), локатор ГГц диапазона – сплошная линия (X band), симуляция

Учитывая вышеизложенное, понятно, почему армия США финансирует работы, например [5 – 7], направленные на развитие терагерцовой локации.

Известно [8], что во всех спектральных диапазонах разработаны системы поиска, обнаружения и селекции объектов. Однако терагерцовое или дальнейшее инфракрасное излучение для целей локации практически не используется, в то время как области больших и меньших длин волн освоены.

Представляется очевидным, что любое расширение спектрального диапазона увеличивает возможности локации.

Таким образом, анализ патентной активности в сверхдальнем инфракрасном (терагерцовом (ТГц)) диапазоне является актуальным.

2. Результаты анализа патентной активности в ТГц-диапазоне

При проведении анализа патентной активности (ПА) целесообразно сосредоточить внимание в области радаров ТГц-диапазона, а также их главных составных частей: антенн, источников излучения, детекторов и приёмников, систем обработки и визуализации сигнала, провести статистический анализ и выявить тенденцию (роста, спада) патентной активности в целом и конкретно по странам, обратив особое внимание на страны, входящие в блок НАТО, Китай и Японию.

В соответствии с международной патентной квалификацией (МПК) были отобраны следующие индексы:

Основной индекс: G01S – Радиопеленгация; радионавигация; измерение расстояния или скорости с использованием радиоволн; определение местоположения или обнаружение объектов с использованием отражения или переизлучения радиоволн; аналогичные системы с использованием других видов волн.

Дополнительные индексы МПК:

- H01Q – Антенны;
- H01S – Устройства со стимулированным излучением;
- G02F – Приборы или устройства для управления интенсивностью, цветом, фазой, поляризацией или направлением света, оптические функции которых изменяются при изменении оптических свойств среды в этих приборах или устройствах, например, для переключения, стробирования, модуляции или демодуляции; оборудование или технологические процессы для этих целей; преобразование частоты; нелинейная оптика; оптические логические элементы; оптические аналого-цифровые преобразователи;
- H04B 10/00 – Передающие системы, использующие электромагнитные волны иные, чем радиоволны, например видимый свет, инфракрасный или ультрафиолетовый свет, или использующие корпускулярное излучение, например, квантовую связь.

Определены основные ключевые слова:

- ТГц-диапазон, терагерцевый диапазон – THz (terahertz) range, terahertz frequency;
- субмиллиметровые радиоволны – submillimeter waves;
- радиолокационные станции – radar, radiolocator, radiodetector;
- фемтосекундная длительность – femtosecond pulses.

Выбраны дополнительные ключевые слова:

- антенны, антенные системы, в том числе приёмные антенны, передающие антенны – antennas, antenna systems, reception antennas, transferring antennas;
- приёмники, приёмники излучения, фотоприёмники – receivers, radiation receivers, photodetectors;
- детекторы излучения, в том числе на основе сверхпроводимости, болометры, фотонные приёмники – radiation detectors, superconductivity; bolometers; photonreceivers;
- интерферометры – interferometers;
- генераторы, задающие генераторы – generators, setting generators;
- источники излучения, мощные, миниатюрные (компактные) источники – radiation sources, powerful sources, mini OR compact sources;
- микродоплеровский эффект (MDE) в радиолокации, разрешение MDE, распознавание объектов с помощью MDE – micro-Doppler effect, permission of MDE, recognition of objects by means of MDE.

Поиск информации проводился по следующим базам данных:

- «Изобретения стран мира» 2005 – 2011 гг.
- FIPS – база данных российских патентов, в том числе:
- БД российские изобретения с 1994 по настоящее время (RUPAT, RUPATABRU, RUPATABEN);
- БД полезных моделей (RUPM, RUPMAB);
- патентная коммерческая БД QuestelPat (мировой охват);
- БД ВИНТИ, сер. «Автоматика и радиоэлектроника» (с 1995г. – по 2014 г.);
- БД ВИНТИ, сер. «Электротехника» (с 2006 г. по 2014 г.);
- БД CC Engineering, Computing and Technology (с 1993 г. по 2014 г.);
- Зарубежные ресурсы следующих издательств:
 - База данных научной информации «Institute of Scientific Information»;
 - Elsevier Science;
 - Springer Verlag – Kluwer Academic Publishers.

Индексы международной патентной классификации (МПК), которые учитывались при анализе ПА, отражены на рис. 2, где также указано количество документов.

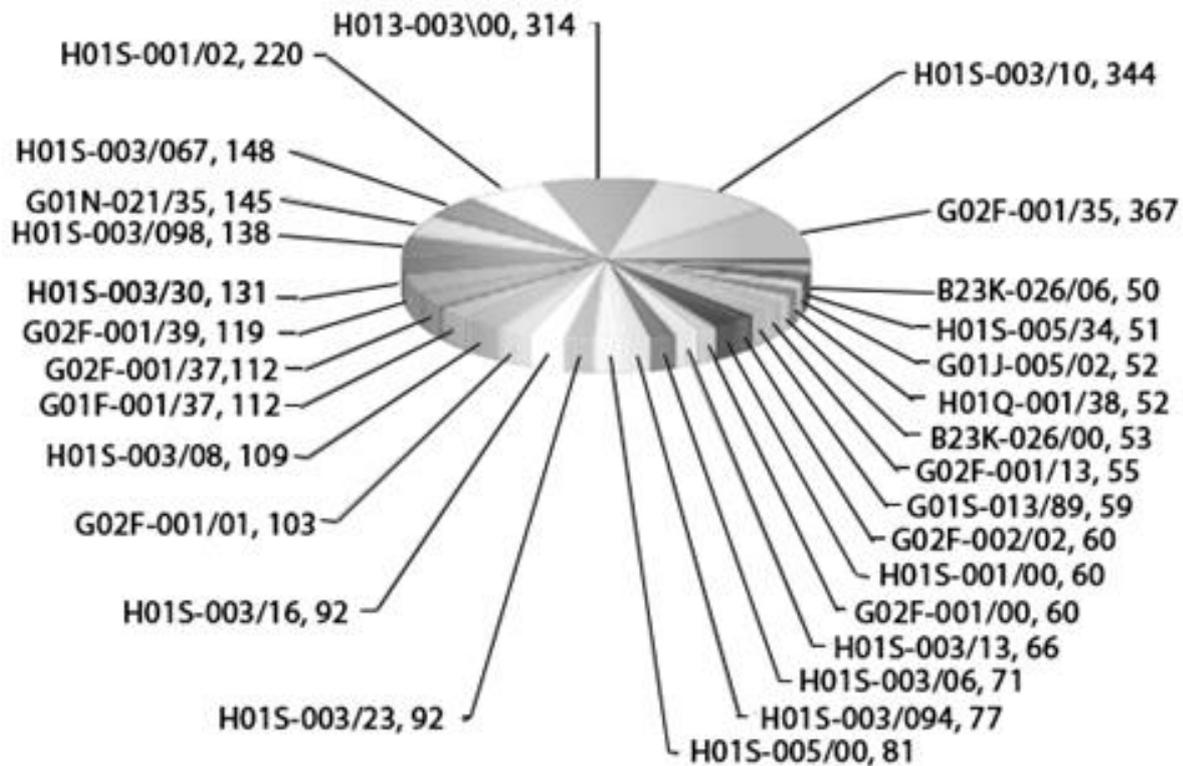


Рис. 2. Количество документов в соответствии с индексами МПК

2.1 Анализ патентной активности в области систем отображения информации

Важной составляющей РЛС являются их системы отображения информации (СОИ), тенденции в области патентной активности в этой области отражены в табл. 1.

Таблица 1. Тенденции в разработке СОИ по результатам патентных исследований

СОИ \ Тенденции	Повышение точности	Повышение шумозащитности	Повышение разрешения	Работа при комнатной температуре
Формирователь изображения из отдельных парциальных направлений	+	+		
Формирователь со спектральным методом формирования изображения		+	+	
Линейный формирователь изображения	+	+	+	
Устройство для определения доплеровского центроида в системе формирования изображения с синтезированной апертурой	+	+		+

2.2. Анализ патентной активности в области антенн ТГц-диапазона

Этот анализ выявил следующие направления патентной активности (таблица 2).

Таблица 2. Тенденции в разработке антенн ТГц-диапазона согласно патентному анализу

Тип антенн	Фазированная решётка	Рупорная	Плоская (планарная)	С синтезированной апертурой	С торцевым излучением
Тенденции					
Высокая чувствительность детектирования	+	+	+	+	+
Повышение угловой разрешающей способности	+				
Уменьшение массогабаритных характеристик	+			+	+
Уменьшение взаимовлияния соседних антенн друг на друга	+				
Достижение высокого разрешения полученного изображения		+		+	
Повышение чувствительности к изменению характеристик объекта			+	+	
Уменьшение зависимости от атмосферных явлений			+		+
Увеличение КПД				+	
Повышение надёжности		+			+

При рассмотрении антенн в рамках заявленной темы целесообразно выделить антенные системы с фазовыми решётками.

2.3. Анализ патентной активности в области источников излучения ТГц-диапазона

Результаты анализа патентной активности в этой области отражены в таблицах 3 и 3.1.

Таблица 3. Тенденции в создании источников ТГц-излучения, по материалам патентного исследования

Тип источника / Тенденции	Лазер	Гиротрон	Оротрон	Генератор на основе джозефсоновского перехода
Улучшение шумовых характеристик	+			+
Уменьшение гармоник в спектре выходного сигнала	+			
Сокращение времени перестройки	+	+	+	
Увеличение мощности	+			+
Расширение спектра		+		+
Снижение стоимости	+	+	+	
Улучшение массогабаритных параметров		+	+	

Таблица 3.1. Основные характеристики отдельных источников ТГц-излучения, представленные заявителями

Характеристика / Тип устройства	Частот, ТГц	Мощность, Вт
Лазер на основе GaInAs/AlAs	0.34	$23 \cdot 10^{-6}$
Лазер на основе GaInAs/AlAs с использованием щелевой антенны	1	$10 \cdot 10^{-6}$
Лазер на основе GaInAs/AlAs с использованием щелевой антенны с интегрированной структурой	5.2	$18 \cdot 10^{-3}$
Оротрон	2.3	30
Гиротрон	1-1.3	$(0.5-5) \cdot 10^3$
Синтезатор частот	Терагерцовый диапазон, более точные данные заявители не приводят	-
Генератор на основе джозефсоновского перехода	— — — —	$<10^{-6}$

2.4. Анализ патентной активности в области детекторов ТГц-диапазона

Проведённый анализ выявил следующие направления патентной активности (таблицы 4 и 4.1)

Таблица 4. Тенденции в разработке детекторов ТГц-диапазона, согласно патентному анализу

Тенденции Вид детекторов	Повышение чувствительности	Повышение пространственного разрешения	Чувствительность к поляризации излучения	Уменьшение времени отклика	Измерение с пространственным разрешением	Много-спектральный режим	Пере-страе-ваемость	Ста-биль-ность диапа-зона
Матричный детектор	+	+	+	+	+			
Матричный детектор с ячейками Гогея		+				+	+	+
Супергетеродинный детектор с двойной рупорной антенной								+
Детекторы с корреляционным фильтром	+			+				
Фотоэлемент с торцевой антенной	+		+			+		

Детекторы, предложенные заявителями, можно классифицировать по принципу их работы: болометры, сверхпроводящие детекторы, твёрдотельные детекторы, детекторы на базе низкоразмерных систем. Главное внимание уделялось повышению чувствительности и стабильности терагерцовых детекторов.

Достаточно большое место среди разрабатываемых в патентах детекторов занимают болометры, поэтому в табл. 4.1 представлены характеристики таких детекторов, даваемые заявителями.

Таблица 4.1. Тенденции в разработке детекторов ТГц-диапазона на базе болометров, согласно патентному анализу

Характеристика Тип болометра	Мощность, эквивалентная шуму (NEP) Вт/Гц ^{1/2}	Диапазон работы, ТГц	Частотный отклик, кГц, (-3dB)	Рабочая температура, К
Суперпроводящий болометр	< 2 000	0.1 – 20	0.002 – 1	8
Болометр на быстрых электронах	< 750	1	~1000	4.2
(InSb) болометр на быстрых электронах	< 1.5	0.06 – 2.5	~500	4.2
(Ge:Ga) сверхпроводящий болометр	800	1	> 50	< 4.2

3. Статистический анализ патентной активности

Как видно из рис. 2, наибольшее количество опубликованных патентов (47%) относится к индексу (группам, подгруппам) H01S – устройствам со стимулированным излучением, в основном к лазерам, т.е. устройствам для генерирования, усиления, модуляции, демодуляции или преобразования частоты, использующим стимулированное излучение электромагнитных волн с длиной волны большей, чем длина волны в ультрафиолетовом диапазоне (полупроводниковые лазеры). Следующий по количеству опубликованных патентов (26 %) представлен индекс (группы, подгруппы) G02F, в частности, устройства или приспособления для управления интенсивностью, цветом, фазой, поляризацией или направлением света, исходящего от независимого источника, например для переключения, стробирования или модуляции; нелинейная оптика. Дальнейший статистический анализ опубликованных патентов по годам публикации (рис. 3) иллюстрируют стабильный рост количества регистрируемых технических решений в области терагерцового диапазона. Анализ проводился в середине 2014 года, поэтому число патентов в 2014 меньше, чем в предыдущем. По годовому интервалу ожидается рост числа патентов по сравнению с 2013 годом.

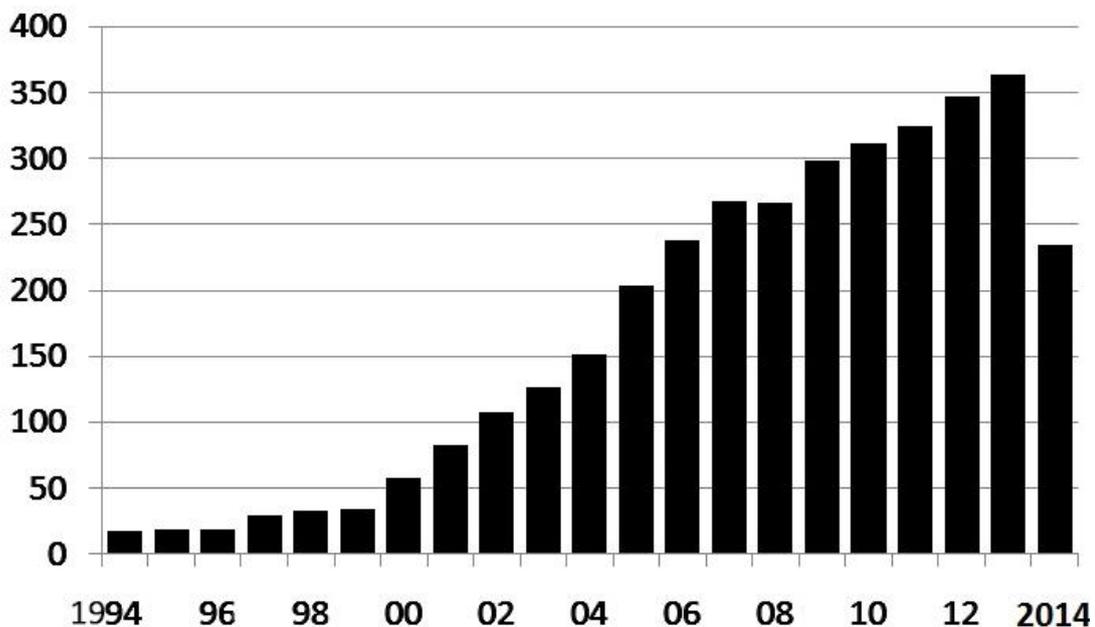


Рис. 3. Статистический анализ опубликованных патентов по годам публикации, (по оси ординат – число патентов и заявок)

Статистический анализ результатов поиска по странам приоритета показал, что наибольшее число патентов в исследуемой области выдано в США, Китае, Японии (рис. 4). Достаточно большое количество (470) подано в качестве международных заявок.

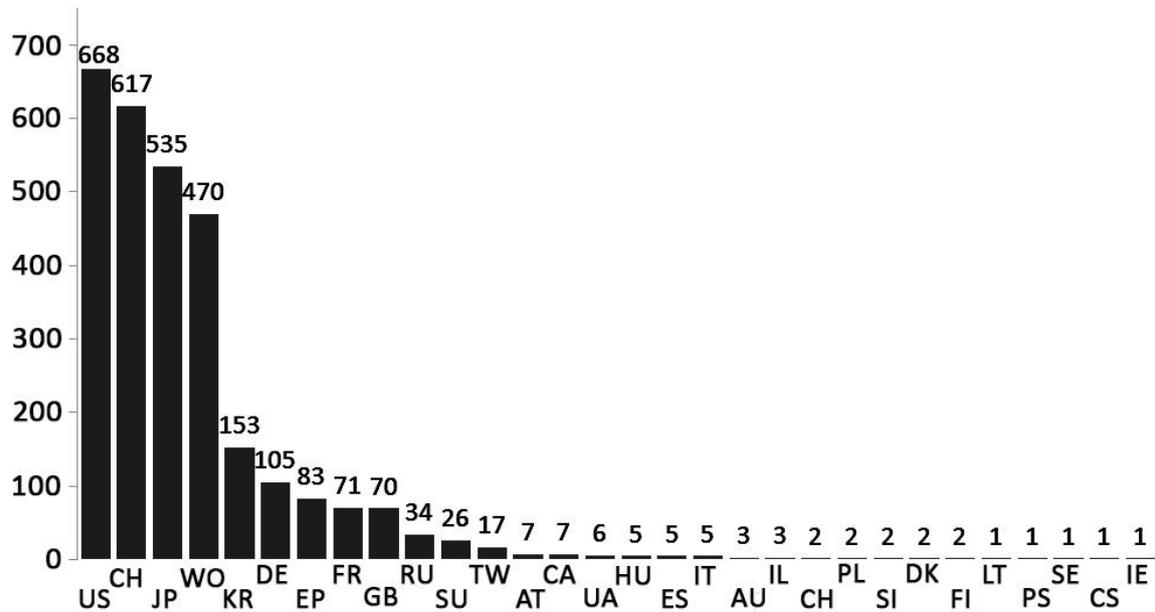


Рис. 4. Статистический анализ результатов поиска по странам приоритета

4. Заключение

Анализ патентной активности в области перспективных локационных технологий терагерцового (сверхдальнего инфракрасного) диапазона показал:

1. Начиная с 2000 года патентная активность в этой области в странах НАТО, Китае и Японии возрастает практически линейно, в то время как в России подобная тенденция слабо выражена, поскольку число российских патентов и заявок в области перспективных локационных технологий терагерцового диапазона на порядок меньше, чем в США, а также Китае и Японии.

2. Решение задач по обнаружению, идентификации и сопровождению целей в условиях активного и пассивного противодействия локации в терагерцовом диапазоне является актуальным и перспективным. В частности, в настоящее время становится актуальным построение радиолокационных изображений космических аппаратов. При этом решается не только задача распознавания, но и задача определения истинной геометрии объекта, его конфигурации, наличия оборудования не заявленного при запуске. Иными словами, разрабатываются специализированные радиолокационные станции построения радиоизображений, или радиолокационные станции радиовидения, где терагерцовый диапазон будет востребован.

Литература

1. *Pendry J.B., Schurig D., Smith D.R.* Controlling Electromagnetic Fields // *Science* – 2006. Vol. 312, N. 5781. – P. 1780-1782.
2. *Siegel P. H.* Terahertz technology // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* – 2002. Vol. 50, N 3. – P. 910-928.
3. *Кулипанов Г.Н.* Генерация и использование терагерцового излучения: история и перспективы // *Вестник НГУ. Серия; Физика.* – 2010 – Т. 5, вып. 4. – С. 24-27.
4. *Li M., Jiang Y.* Signature analysis of ballistic missile warhead with micronutation in terahertz band // *Proc. of SPIE.* – 2013. – Vol. 8909. – P. 890902-8.

5. *Danylov A.A., Goyette T.M., Waldman J., et al.* Terahertz inverse synthetic aperture radar (ISAR) imaging with a quantum cascade laser transmitter // *Opt. Express* – 2010. Vol. 18. – P. 16264-16272.
6. *Goyette T.M., Gatesman A., Horgan T. M., et al.* THz Compact Radar Range Systems // Presentation given at IEEE MTT-S International Microwave Symposium, June 8-10, 2003, Philadelphia, Pennsylvania.
7. *Goyette T.M., Dickinson J.C., Waldman J., Nixon W. E.* 1.56-THz compact radar range for W-band imagery of scale-model tactical targets // *Proc. SPIE* – 2000. Vol. 4053. – P. 615-622.
8. *Melvin W.L., Scheer J.A.* Principles of Modern Radar. Vol. II: Advanced Techniques. – Edison, N.J.: SciTech Publishing – 2013. – 842 с.

Статья поступила в редакцию 25.03.2015

Черевко Александр Григорьевич

к.ф.-м.н., доцент, профессор-заведующий кафедрой физики, заведующий лабораторией физических основ телекоммуникаций СибГУТИ (630125, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. 8 913 9806071, e-mail: cherevko@mail.ru

Ильин Евгений Михайлович

д.ф.-м.н., профессор, ведущий аналитик инновационного технологического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. (499) 2636846, e-mail: evgil45@mail.ru

Полубехин Александр Иванович

к.т.н., руководитель инновационного технологического центра МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. (499)2636846, e-mail: polub1980@mail.ru

Моргачев Юрий Вячеславович

техник лаборатории физических основ телекоммуникаций СибГУТИ (630125, Новосибирск, ул. Кирова, 86)

Analysis of patent activity in the field of advanced radar technology in extra-long infrared wavelength range

Alexander G. Cherevko, Eugene M. Iljin, Juri D. Morgachev, Alexander I. Polubehin

In this paper, the analysis of patent activity in the ultra-long infrared wavelengths in terms of advanced radar technology in accordance with the period of technology generation change (for the last 15 years) was carried out. It is shown that almost linear growth in the number of NATO, Japan, and China patents began in this period.

This trend is not apparent in Russia as the number of Russian patents in this field is much less than the number of patents in the US, China, Japan and, the EU countries.

Keywords: patents, terahertz (THz), antenna, radiation detectors, radiation sources.