

А. А. ВЕРТИЙ, АСКАР САБЫРОВ, Ю. К. СИРЕНКО,  
С. С. САУТБЕКОВ, АРМАН САБЫРОВ, В. В. ПАВЛИКОВ

## РАДИОМЕТРИЯ ММ ДИАПАЗОНА В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ, ВКЛЮЧАЯ ОХРАНУ ПЕРИМЕТРА, ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СПРЯТАННОГО ОРУЖИЯ И ОБНАРУЖЕНИЕ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗАКРЫТЫХ СОСУДАХ

**Резюме.** В работе рассматривается радиометрический 3D-метод визуализации спрятанного оружия и огнеопасных жидкостей. Идеи и методы основаны на применении двухканальной радиометрической схемы, работающей в диапазоне длин волн 8 мм. Экспериментально исследуется задача визуализации электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне длин волн с целью построения радиоизображения различных объектов, т.е. решается задача радиовидения в субтерагерцовом диапазоне длин волн. Необходимость таких систем, особенно в последние годы, мотивирована возрастающим уровнем террористических угроз на воздушном, морском и железнодорожном транспорте. Другими словами, в рамках настоящей работы разработан подход, позволяющий детектировать оружие и опасные жидкости, герметически закрытые в пластиковых контейнерах.

**Ключевые слова:** пассивная 3D-радиометрия, контроль оружия, детектирование опасных жидкостей, радиометрическая визуализация объектов, методы цифровой обработки сигналов и изображений, огнеопасные жидкости, *passive perimeter control*.

### ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается задача визуализации электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне длин волн с целью построения трехмерного радиоизображения различных объектов и детектирования опасных жидкостей, т.е. решается задача радиовидения в субтерагерцовом диапазоне длин волн. Необходимость в таких системах, особенно в последние годы, мотивирована возрастающим уровнем угроз на воздушном, морском и железнодорожном транспорте.

Целью предлагаемого исследования являлось создание экспериментальной установки для 3D-детектирования опасных скрытых объектов на основе применения радиометрической системы визуализации электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне длин волн.

Для этого была создана двухканальная радиометрическая система, позволяющая формировать изображения объекта двумя радиометрическими приемниками, антенны которых направлены на объект под различными углами. Такая двухканальная радиометрическая система формирует матрицу выходных данных, которая соответствует распределению радиояркостной температуры в сканируемой области пространства. В дальнейшем из полученной

матрицы выходных данных путем компьютерной обработки формируется двухмерное изображение исследуемого объекта по каждому из каналов. Для получения 3D-изображения применяется метод анаглифа аналогично описанному в [1; 2].

Поскольку описанная радиометрическая система является пассивным устройством, принимаемый сигнал представляет собой шумоподобную функцию очень малой амплитуды. Поэтому принимаемый радиометром сигнал — очень слабый. Для обеспечения температурного контраста на испытуемые объекты при помощи параболического зеркала направлялось излучение холодного неба из зенита.

Целью данной работы является улучшение возможности распознавания исследуемых объектов в миллиметровом (ММ) диапазоне длин волн путем применения двухканальной схемы формирования 3D-радиоизображения с использованием двух радиометрических проекций.

Результаты, полученные в этой работе, закладывают основу радиометрических систем нового поколения. В будущем предполагается расширить диапазон изучаемых объектов и создать базу данных для трехмерных изображений с целью распознавания объектов повышенной опасности. Предлагаемый подход позволит так-

же применить новые методы обработки радиометрической информации, получаемой при помощи многоканальных систем [3].

Одним из перспективных подходов может быть реализация корреляционных систем, используемых для формирования радиометрических изображений высокого пространственного разрешения [4; 8]. В основу обработки сигналов в таких системах положены алгоритмы, близкие к тем, которые реализуются в системах апертурного синтеза [4; 8]. В отличие от последних, в [4; 5] обрабатываются широко или сверхширокополосные пространственно-временные сигналы. Более корректнее такие новые системы называть системами спектрального апертурного синтеза, в которых за счет пересчета временных частот в пространственные сокращается количество независимых каналов и, соответственно, используемых антенн. Кроме того, в работе предлагаются новые радиометрические подходы для систем безопасности, позволяющие детектировать опасные жидкости в герметически закрытых пластиковых сосудах. Отдельно приведен пример радиометрической системы защиты периметра.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

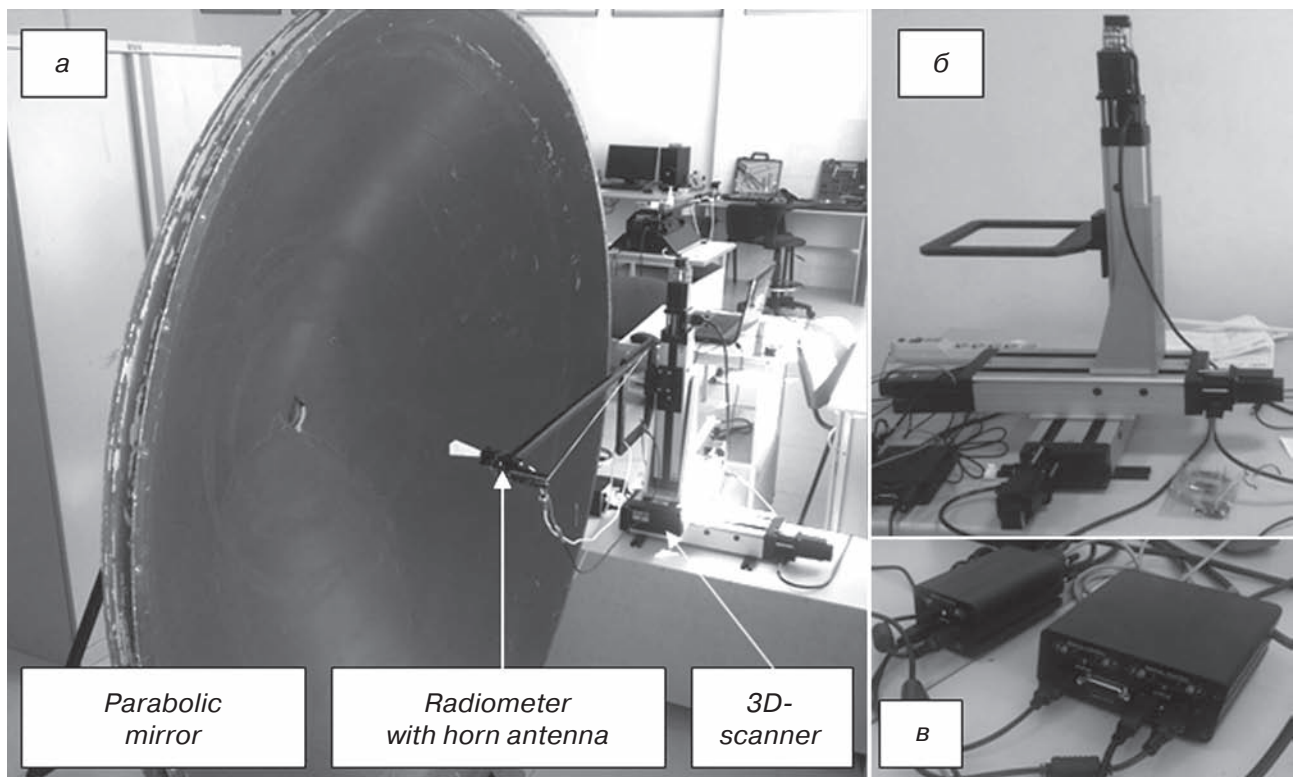
**Измерительная установка.** Пассивная радиометрическая система состоит из следующих

основных элементов: параболического зеркала; радиометра с рупорной антенной; 3D-сканнера; блока управления и записи данных (контроллера) (**рис. 1**).

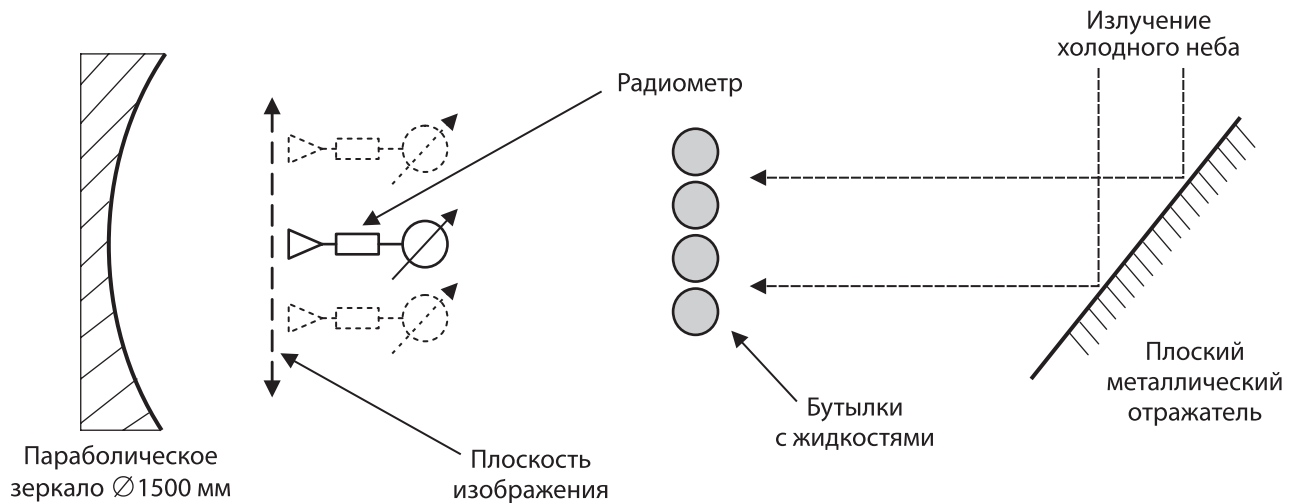
В данном случае параболическое зеркало выступает в роли объектива, формируя в плоскости изображения распределение яркостных температур, воспроизводящее радиообраз изучаемого объекта. Радиометр с рупорной антенной, прикреплен к 3D-сканнеру через кронштейн и движется в этой плоскости в режиме построчного сканирования. Выходной сигнал радиометра оцифровывается и записывается с помощью контроллера (**рис. 1**).

Параболическое зеркало имеет следующие характеристики: диаметр раскрытия, апертура,  $D = 1500$  мм; фокусное расстояние,  $F = 380$  мм. Для увеличения контраста изображения в измерительную схему подавался сигнал излучения холодного неба при помощи металлического отражателя, установленного под углом  $45^\circ$  относительно горизонтальной плоскости, таким образом, чтобы направить излучение холодного неба перпендикулярно к плоскости раскрытия параболического зеркала.

Схема измерительной установки представлена на **рис. 2**. В качестве изучаемых объектов рассматривались макет пистолета и пластиковые бутылки с различными жидкостями.



**Рис. 1.** а — фото экспериментальной установки формирования изображения в ММ диапазоне длин волн; б — 3D-сканнер; с — блок управления и сбора данных (контроллер)



**Рис. 2.** Схема измерения изображения объекта на частоте 37,5 ГГц

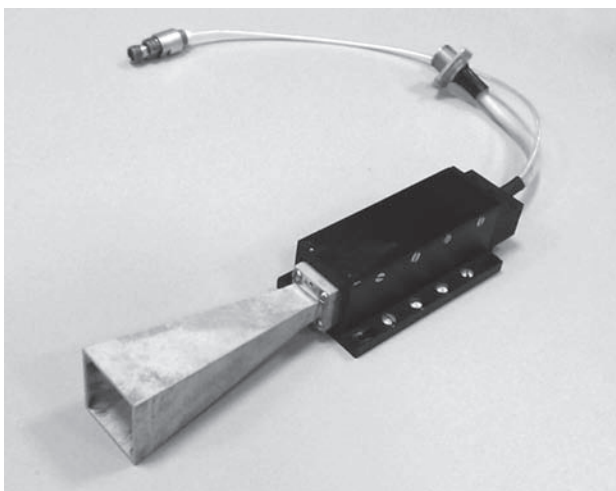
Радиометрический приемник с рупорной антенной на длину волны 8 мм, разработанной в НИЦ “Айсберг, изображен на **рис. 3**.

Учитывая, что исследуемый объект находится на расстоянии  $d$  от параболического зеркала, изображение этого объекта располагается на расстоянии  $f$  от вершины параболы, удовлетворяющему следующему соотношению:

$$f = \frac{F \cdot d}{d - F}.$$

Расстояние до объекта  $d$  изменялось в пределах 2–3 м. Для получения изображения применялся рупор с апертурой 20×20 мм, расположенный на 2D-сканирующем устройстве.

**Цифровая обработка.** Для визуализации цифровых данных было использовано программное обеспечение Matlab 2015, а именно приложение ImageProcessingToolbox, которое



**Рис. 3.** Радиометрический приемник с рупорной антенной на длину волны 8 мм

включает две функции отображения — imshow и imtool.

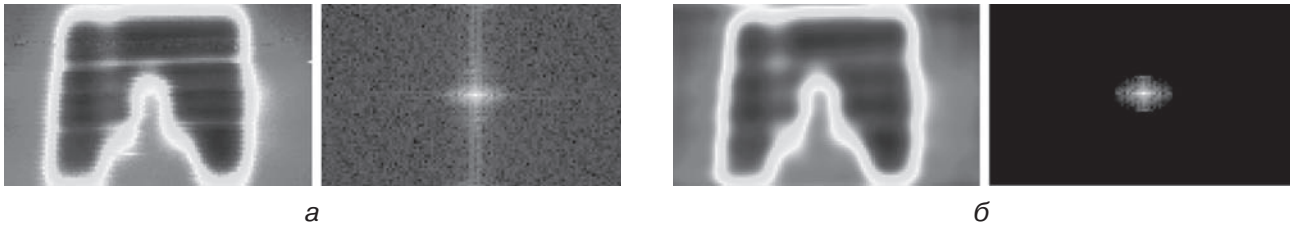
В создании рассматриваемой радиометрической системы были использованы методы цифровой обработки сигналов и изображений. Обработка сигналов применялась для решения следующих задач: исключение неравномерной записи выходных данных радиометра при движении по строке; усреднение значений величины яркостной температуры на единицу длины траектории движения.

Для улучшения полученных изображений были применены методы частотной обработки картинки, а именно, проводилась пространственная частотная фильтрация двумерного Фурье-спектра исходных изображений. Это позволило устранить высокочастотные шумы и искажения, вызванные внутренними шумами и вибрацией радиометра, закрепленного на кронштейне. На **рис. 4** показан результат применения фильтра в частотной области. В частности, на **рис. 4а** приведено исходное радиоизображение и его Фурье-спектр (справа), а на **рис. 4б** показаны результаты фильтрации в частотной области Фурье-спектра.

Как видно из **рис. 4** применение Фурье-фильтра позволяет устранить шумовые помехи и увеличить контраст.

Покажем результат цифровой обработки на примере изображения пистолета. Из **рис. 5** видно, как после цифровой обработки внутренняя область контура пистолета стала равномерной, а сам контур — более четким.

Темно-синий цвет в радиоизображении соответствует излучению холодного неба, тогда как темно-красный цвет определяет максимальное значение полезного сигнала. Так как пистолет представляет собой проводящий объект, то



**Рис. 4.** Применение метода частотной фильтрации Фурье-спектра

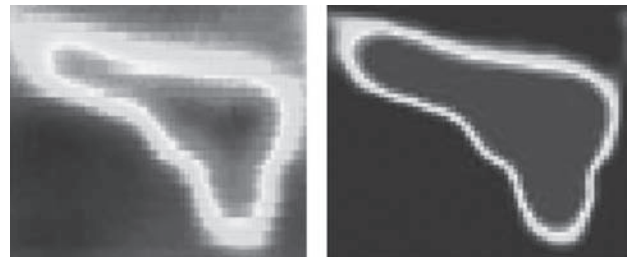
в области непосредственно за ним происходит экранировка потока холодного излучения, и одновременно с этим его металлическая поверхность отражает в объектив яркостную температуру окружающей среды, в данном случае — сформированную за счет переотражения теплового излучения от внутреннего помещения лаборатории.

**Стереосистема для обнаружения скрытого оружия в багаже.** Ряд следующих экспериментов был проведен для демонстрации возможности обнаружения скрытых предметов в портфеле, картонной коробке и деревянном ящике.

В первом случае макет пистолета был помещен в портфель. Сканирование осуществлялось в плоскости изображения параболического зеркала. На **рис. 6б** отчетливо виден пистолет и контур портфеля. Как видно, на **рис. 6в** после цифровой обработки радиоизображения шумы были значительно подавлены.

Во втором случае внутри картонной коробки размерами  $52 \times 36 \times 10$  см был закреплен макет пистолета, см. **рис. 7а**. Исходное изображение пистолета нечетко, контур пистолета размыт, что ухудшает распознавание его формы. После цифровой обработки устраняются шумы и качество изображения значительно улучшается. В следующем эксперименте пистолет помещался внутри деревянного ящика размером  $51 \times 27 \times 8,5$  см и толщиной фанерной стенки — 4 мм (**рис. 8а**). Этот случай примечателен тем, что на исходном изображении невозможно увидеть форму пистолета, помещенного в деревянный ящик. После цифровой обработки и выделения контрастности совершенно однозначно проявляется форма объекта, напоминающая пистолет. При применении более совершенных методов обработки возрастает вероятность распознавания объекта, например, после применения вейвлет-анализа и т.п.

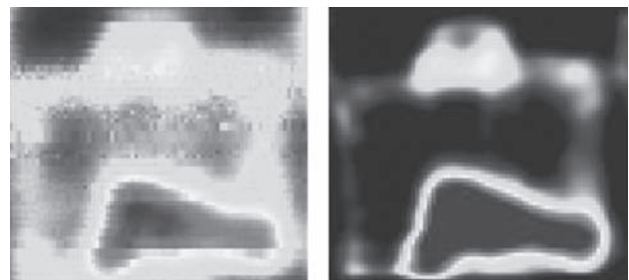
Для получения 3D-изображения в рассмотренную выше схему добавлялся еще один канал, что обеспечивало формирование стереопар. В схеме применялись два идентичных радиометрических приемника, расположенные на штанге под углом  $\theta$  относительно оси



**Рис. 5.** Обработка изображения с помощью частотной фильтрации Фурье



**а**



**б**

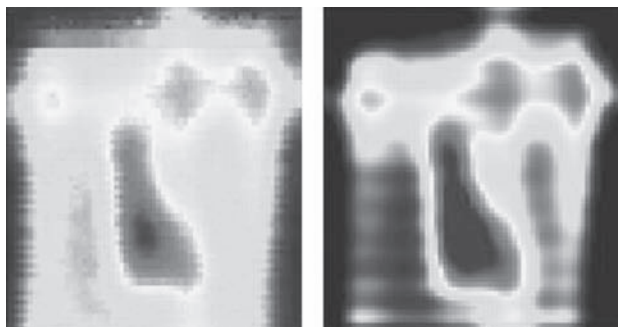
**в**

**Рис. 6.** Визуализация пистолета, скрытого в портфеле: **а** — фото портфеля с пистолетом внутри; **б** — исходное изображение после предварительной обработки; **в** — после Фурье-обработки





а



б

в

**Рис. 7.** Визуализация пистолета в картонной коробке: а — фото картонной коробки с пистолетом внутри; б — исходное изображение после предварительной обработки; в — после Фурье-обработки

системы в горизонтальной плоскости (**рис. 9**). Сигнальные выходы радиометров подключены к выводам аналогового входа в контроллере, как показано на схеме (**рис. 10**).

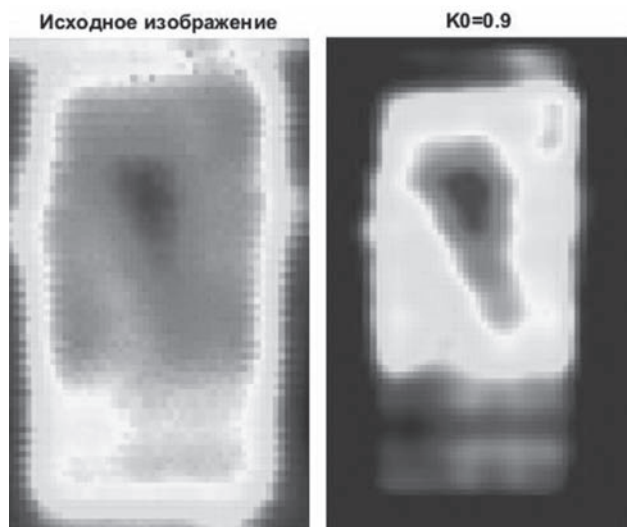
Полученные радиоизображения одного и того же объекта создают стереопару, с помощью которой можно получить 3D-радиоизображение.

Из **рис. 11** и **12** видно, что изображения расположены несимметрично относительно оси. Наличие асимметрии свидетельствует о параллаксе, характерном для стереопар. Угловое положение приемных рупоров показано на **рис. 9**.

Для получения более высокого разрешения необходимо использовать радиометрические сенсоры, работающие в субтерагерцовом (100 ГГц) и терагерцовом (>300 ГГц) диапазоне частот. В качестве альтернативы может рассматриваться также метод синтеза радиометрического изображения на основе корреляционного подхода с использованием многоканальной радиометрической системы. Мы рассматриваем данную работу как первый практический шаг для реализации этой идеи [5; 6].



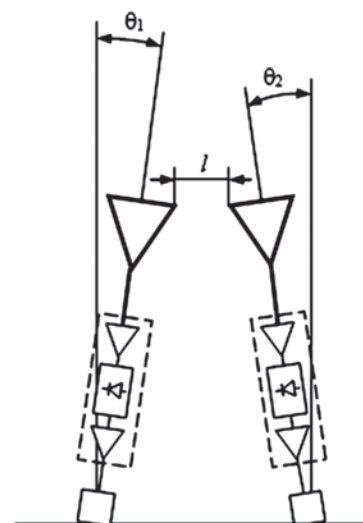
а



б

в

**Рис. 8.** Визуализация пистолета в деревянном ящике: а — фото деревянного ящика с пистолетом внутри; б — исходное изображение после предварительной обработки; в — после Фурье-обработки



**Рис. 9.** Схема расположения радиометров для получения изображения стереопар.  $\theta_1=100$ ,  $\theta_2=120$ ,  $l=19$  мм, расстояние между рупорными антеннами

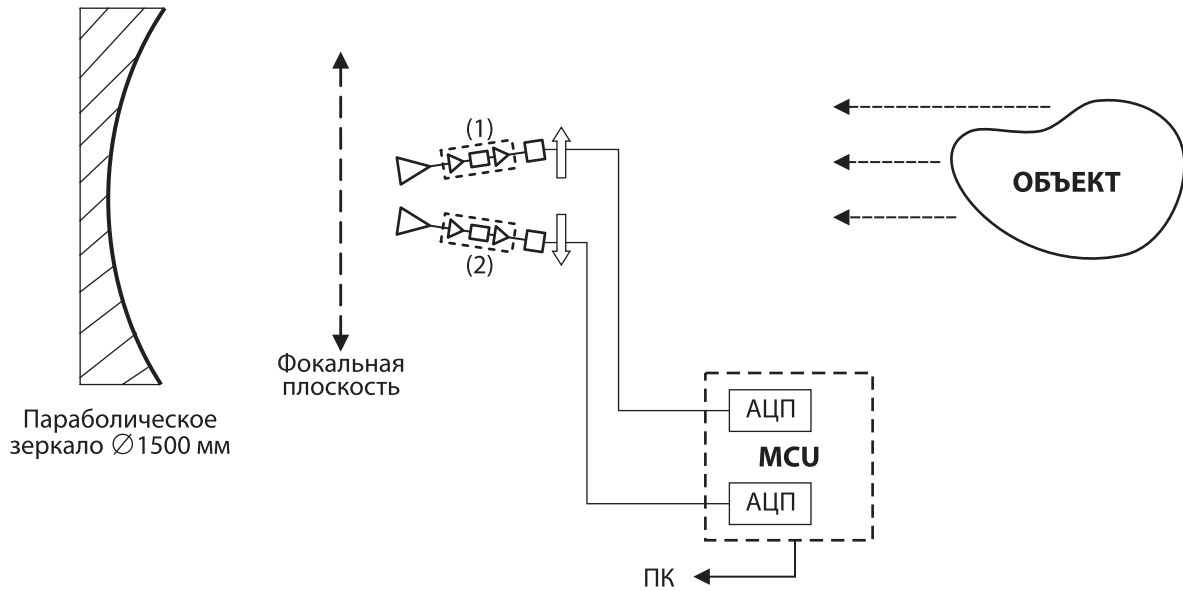


Рис. 10. Схема двухканальной радиометрической стереосистемы

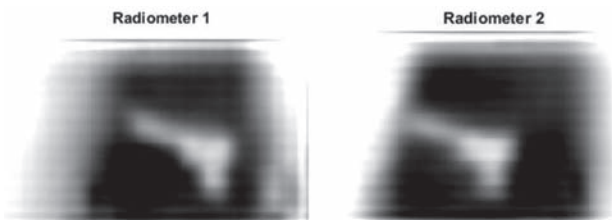


Рис. 11. Изображение стереопары пистолета

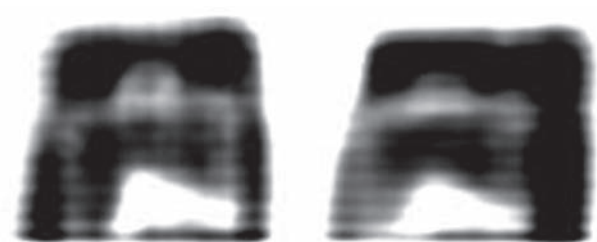


Рис. 12. Изображение стереопары оружия, скрытого в портфеле

**Детектирование опасных жидкостей.** Разработанная нами радиометрическая установка применялась для детектирования опасных жидкостей, герметически закрытых в радиопрозрачной таре. Измерения градиента яркостной температуры различного типа жидкостей в пластиковых бутылках проводилось по схеме, представленной на **рис. 2**.

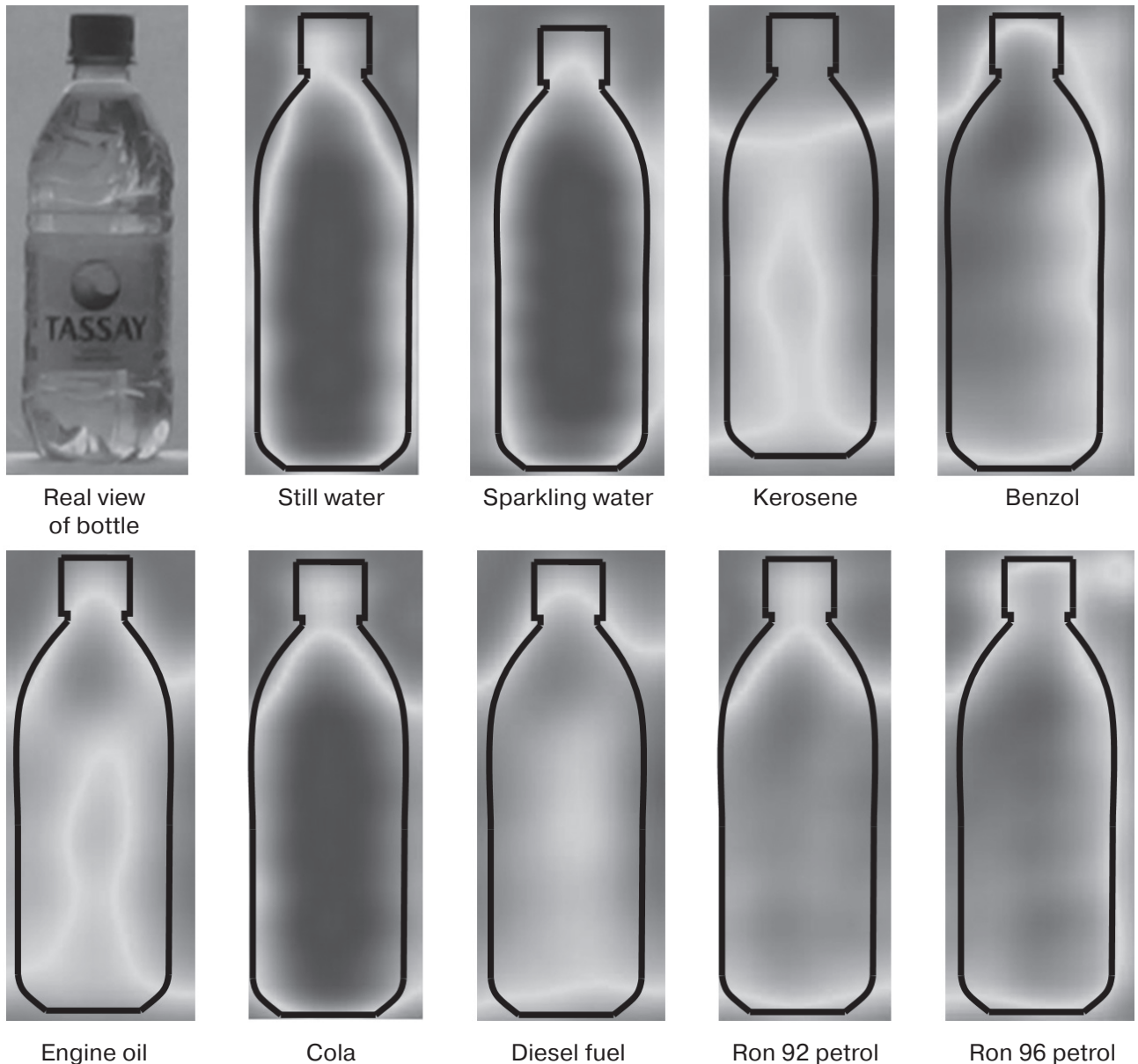
Измерения проводились при “просвечивании” бутылки при помощи металлического зеркала, направляющего сигнал от холодного неба через исследуемую жидкость. В качестве эталонной жидкости использовалась питьевая вода. На **рис. 13** показаны радиоизображения различных жидкостей, заключенных в герметически закрытых пластиковых бутылках одного типа.

Из детального рассмотрения представленных данных видно, что радиояркостные характеристики различных жидкостей различаются. В частности для огнеопасных жидкостей, таких как керосин, бензол, дизельное топливо, бензины АИ-92 и АИ-96, наблюдается слабое

поглощение, т.е. эти жидкости поглощают излучение миллиметрового диапазона незначительно. В то время как такие неопасные жидкости, как питьевая вода, кола являются сильнопоглощающими объектами в миллиметровом диапазоне длин волн. Это позволяет предположить, что подобный подход может быть полезен для детектирования легковоспламеняющихся жидкостей.

Предложенный подход упрощается при замене 2D-сканирования на измерение яркостной температуры в одной точке в центральной области бутылки.

На представленных изображениях видно, что распределение яркостных температуры для каждой отдельно взятой жидкости достаточно однородно. Отметим, что полученные результаты хорошо согласуются с данными по применению активного метода детектирования опасных жидкостей в миллиметровом диапазоне длин волн. Рассматриваемый здесь подход выгодно отличается от описанного в [9] тем, что не при-



**Рис. 13.** Радиоизображения бутылок с изучаемыми жидкостями, полученные при измерении “на просвет”

меняются источники электромагнитных волн миллиметрового диапазона. Это является бесспорным преимуществом, поскольку данный (пассивный) подход — неинвазивный и экономичный. Показаны гистограммы амплитуд сигналов прошедших через испытываемые жидкости, как для активного (рис. 14), так и для пассивного режима (рис. 15) измерения. На рис. 15 черным цветом обозначены данные, полученные для ориентации прямоугольного рупора, соответствующего горизонтальной поляризации, белым обозначены данные, соответствующие вертикальной поляризации (совпадающей с осью бутылки). Активный режим детектирования опасных жидкостей предпо-

лагает использование поверхностной волны в диэлектрическом волноводе путем прохождения поверхностной волны через жидкость. Из сравнения полученных данных активного метода и радиометрических измерений в одной точке бутылки видно, что возможность селекции опасных жидкостей вполне реальна и, более того, в пассивном режиме чувствительность оказалась выше. Например, АИ-92 и АИ-96 в пассивном режиме имеют разные значения ослабления, а в активном режиме не представляется возможным различить эти жидкости по уровням поглощения.

**Радиометрический контроль периметра.** Покажем, как может быть применен радиоме-

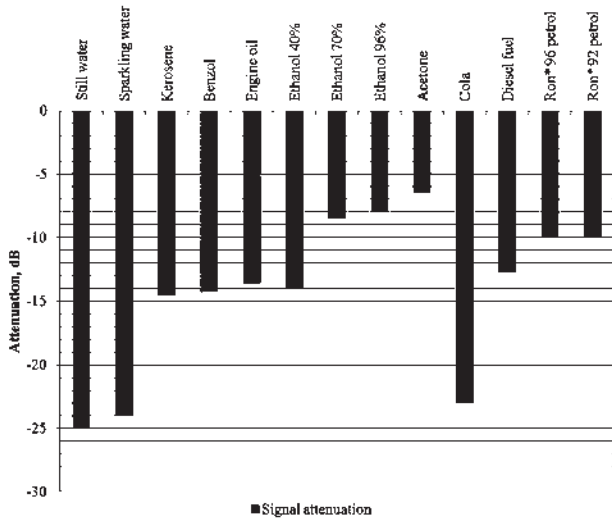


Рис. 14. Гистограмма ослабления различных жидкостей в активном режиме

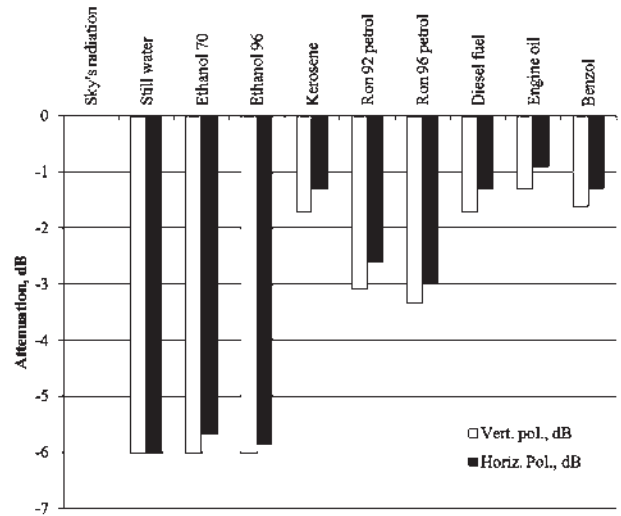


Рис. 15. Гистограмма ослабления сигнала для различных жидкостей, измеренного в пассивном режиме

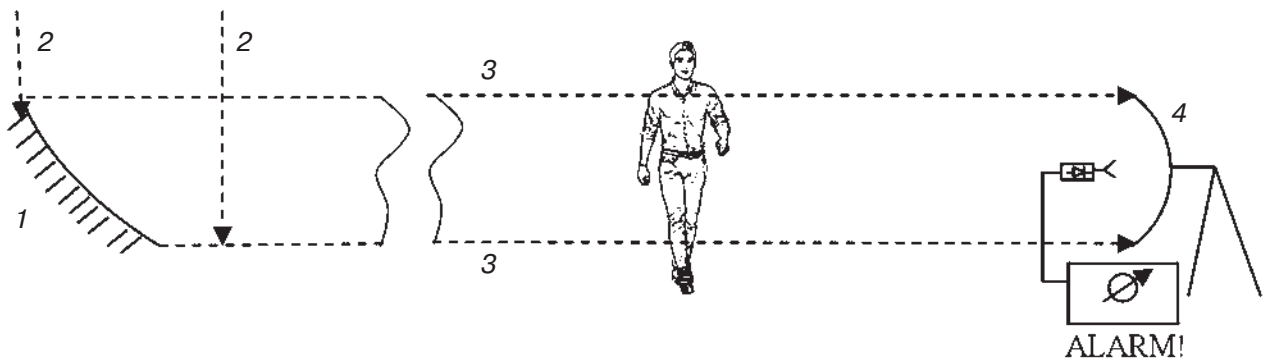


Рис. 16. Принципиальная схема системы контроля периметра

трический подход для решения другой важной проблемы, связанной с безопасностью. Это проблема детектирования нежелательного вторжения на контролируемую территорию.

Схема устройства для регистрация несанкционированного вторжения на территорию, ограниченную электромагнитным периметром, показана на рис. 16. Основная идея этого устройства состоит в создании "холодного" луча, который формируется зеркалом 1, ретранслирующем приходящую из зенита вертикально падающую волну 2 в горизонтальный холодный пучок 3. Таким образом радиометрический сигнал холодного неба поступает на апертуру приемной антенны 4. Очевидно, что человек, пересекающий горизонтальный холодный луч, возмущает систему, что приводит к изменению сигнала в антенне 4, в результате чего срабатывает сигнализация тревоги о пересечении нарушителем периметра.

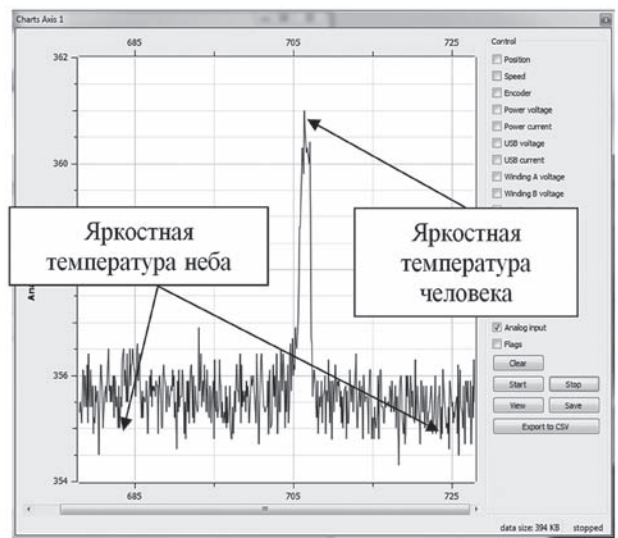
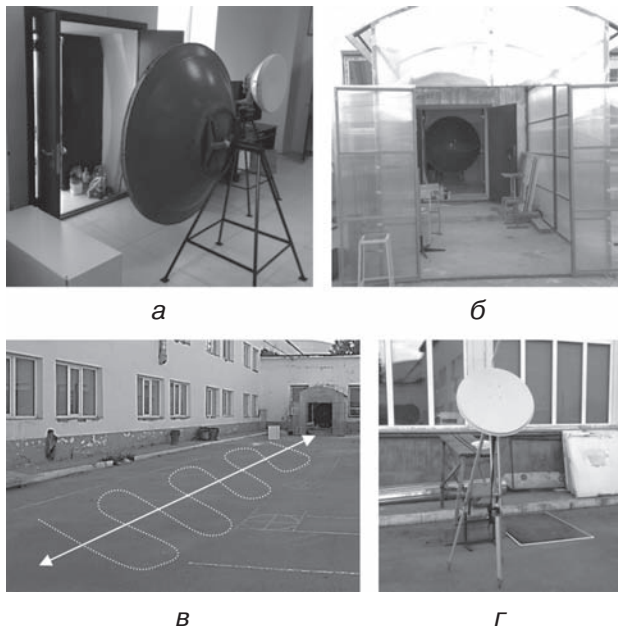


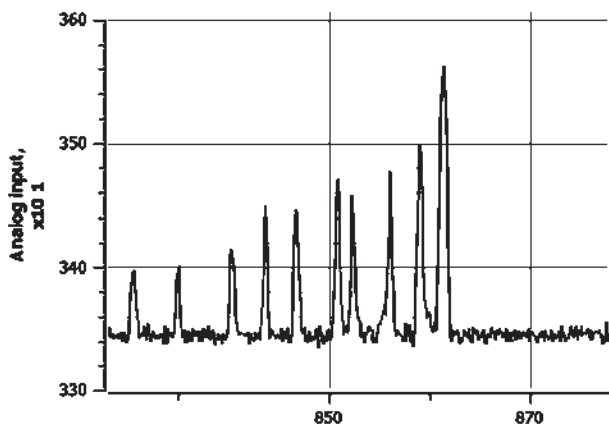
Рис. 17. График оценки яркостных температур объектов в условных единицах





**Рис. 18.** Вид установки для контроля периметра при помощи действия радиометрической системы: а — вид параболической антенны с приемником в помещении; б — вид снаружи; в — участок линии контролируемого периметра протяженностью в 30 м; г — вид отражателя, формирующего “холодный” луч вдоль линии периметра

Проведенные эксперименты для расстояния между зеркалами 30 м показали хорошую чувствительность установки для детектирования нарушителей. При проведении измерений участвующий в эксперименте человек проходил поперек “холодного” луча с интервалом 3 м по дальности, приближаясь при этом каждый раз к рупорно-параболической системе (**рис. 18в**).



**Рис. 19.** График изменения сигнала радиометра при десятикратном пересечении линии периметра длиной 10 м

Металлический отражатель был расположен так, чтобы излучение контрастного сигнала (излучение неба) было направлено перпендикулярно к раскрытию параболического зеркала. Максимальное расстояние ограничивалось внутренним двором учебного корпуса и составляло около 30 м.

На **рис. 19** излучение рассеянно собственным телом человека на фоне контрастного сигнала. Пики на графике **рис. 19** свидетельствует о том, что в этот момент времени на линии “холодного” луча находился объект с относительно высокой температурой, в нашем случае — это человек. Последний пик с наибольшей амплитудой был записан, когда человек подходил к рупорно-параболической антенне на расстоянии около 1 м.

Очевидно, что такой подход может быть положен в основу системы охраны периметра. Другими словами, таким образом можно построить “электромагнитный забор”. Такой забор обладает рядом преимуществ, поскольку он невидим, и что немаловажно, этот забор невозможно будет обнаружить, так как система не излучает. Существенно то, что энергопотребление такого забора значительно меньше энергопотреблению активных систем. Практически все работает на энергии холодного неба. Разумеется, что территория контроля ограничена чувствительностью применяемого радиометра.

На **рис. 17** показан типовой сигнал, получаемый приемником, применяемым в таком заборе.

На **рис. 19** показано изменение сигнала на выходе радиометра при движении человека (нарушителя) вдоль линии периметра с многократным (10 раз) ее нарушением. Длина контролируемого участка — 30 м.

Результаты данных экспериментов продемонстрировали возможность детектирования человека пересекающего “холодный” луч. Действительно, установленная система на границе контролируемой территории может реагировать на появление нарушителя, пересекающего линию периметра. При этом система обеспечивает минимальное потребление энергии, поскольку в отличие от существующих многообразных систем контроля в этой схеме электромагнитные волны не генерируются.

Важным свойством такой измерительной схемы является то, что она себя не обнаруживает, поскольку работает только в режиме на прием.

Обеспечение скрытности системы охраны является серьезным преимуществом при практической реализации такой схемы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан экспериментальный метод дистанционного детектирования скрытых объектов на основе пассивной радиометрической системы визуализации электромагнитных полей в миллиметровом диапазоне длин волн. Подробно описаны и обоснованы методы и подходы, использованные в разработке пассивной радиометрической системы.

Примененные методы цифровой обработки позволили улучшить качество получаемых изображений. Основные эксперименты проводились в диапазоне 37 ГГц. Реализована программа изучения скрытых объектов, включая жидкости в пластиковой таре.

Получены стереопары в миллиметровом диапазоне, с помощью которых можно создать 3D-радиоизображение, целью которого является улучшение распознавания предметов и повышение надежности определения скрытых объектов.

Создан макет системы контроля электромагнитного периметра в миллиметровом диапазоне и изучены его основные характеристики. На расстоянии 30 м изучались возможности детектирования нарушителя пересекающего этот периметр. Показано, что эта идея позволяет создавать системы защиты периметров, кроме того, она обеспечивает скрытность и низкое энергопотребление.

Результаты, полученные в этой работе, закладывают основу радиометрических систем нового поколения. При этом данная работа носит приоритетный характер, так как на сегодняшний день не так много эффективно работающих устройств сканирования в миллиметровом диапазоне в системах безопасности. В будущем предполагается, что данная радиометрическая система сможет стать эффективным средством для повышения уровня безопасности в рассматриваемых выше областях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Turk A.S., Hocaoglu A.K., Vertiy A.A. (2011) *Subsurface sensing*. USA: Wiley, 885 p.
2. Vertiy A., Pavlyuchenko A., Hacizade F., Kholmatov A. (2013) "3D Sub-terahertz radiometric imaging systems", 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves, Kharkiv, Ukraine.
3. Vertiy A., Pavlyuchenko A. (2014) *Passive Sub-THz Imaging*, In, *Magnetic Resonance Detection of Explosives and Illicit Material*, NATO Science for Peace and Security Series: Physics and Biophysics, DOI 10.1007/978-94-007-7265-14, T. Apih et al. (ed.), 161-168. Springer Science + Business Media Dordrecht.
4. Volosyuk V. K., Kravchenko V.F., Pavlikov V.V., Pustovoit V.I. (2016) *Statistical Synthesis of Multi-antenna Ultrawideband Radiometric Complexes*. *Doklady Physics*, Vol. 61, no. 4, pp. 179–183.
5. Volosyuk V.K., Kravchenko V.F., Kutuza B.G., Pavlikov V.V. (2015) *Review of modern algorithms for high resolution imaging with passive radar*. *Antenna theory and techniques*. ICATT'2015 : proc. of the X Intern. conf., Apr. 21–24, 2015, Kharkiv, Ukraine, pp. 45-50.
6. Volosyuk V.V., Kravchenko V.F., Kutuza B.G., Pavlikov V.V. (2014) *The new method of antenna aperture synthesis with received signal decorrelation*. *European Conference on Synthetic Aperture Radar : proc. of the 10th Intern. conf.* 03–05 June. Berlin, Offenbach, Germany, pp. 426–429.
7. Thompson A.R., Moran J.M., Swenson G.W. (2004) *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, Second Edition, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 692 p. DOI: 10.1002/9783527617845.
8. Camps A., Bosch-Lluis X., Ramos-Perez I., Marchan-Hernandez J. F., Izquierdo B., Rodriguez-Alvarez N. "New Instrument Concepts for Ocean Sensing: Analysis of the PAU-Radiometer", in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, no. 10, pp. 3180–3192, Oct. 2007. doi: 10.1109/TGRS.2007.894925.
9. Vertiy A., Sirenko Yu., Sautbekov S., Sabyrov As., Balabekov K., Nurimbetov N., Sabyrov Ar. (2016) *The surface wave method used for detection of dangerous fluids contained in isolated plastic and glass vessels*. *Telecommunications and Radio Engineering*. Vol. 75 (19), pp. 1695–1703.
10. Николаев А.Г. Радиотеплокация (пассивная радиолокация) / А.Г. Николаев, С.В. Перцов [Radioteplocaction (passive radar) A.G. Nikolaev, S.V. Pertsov]. — М. : Советское радио, 1964. — 334 с.
11. Малышкин Е.А. Пассивная радиолокация / Е.А. Малышкин [E.A. Malyshkin. Passive radiolocation]. — М. : Военное издательство министерство обороны СССР, 1961. — 72 с.
12. Есепкина Н.А. Радиотелескопы и радиометры / Н.А. Есепкина, Д.В. Корольков, Ю.Н. Парийский [Radio telescopes and radiometers. N.A. Esepkina, D.V. Korolkov, Yu.N. Parian]. — М. : Наука, 1973. — 416 с.
13. Гудмен Дж. Введение в фурье-оптику / Дж. Гудмен [Introduction to Fourier optics. J. Goodman]. — М. : Мир, 1970. — 364 с.
14. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс [Digital image processing. R. Gonzalez, R. Woods]. — М. : Техносфера, 2012. — 1104 с.
15. Skou N., Kristensen S.S. (1991) *Comparison of Imaging from a Scanning and a Pushbroom Microwave Radiometer*. *IEEE Proc. Of IGARSS-91*, pp. 2107–2110.
16. Appleby R., Anderton N. (2007) *Millimeter-Wave and Submillimeter-Wave Imaging for Security and Surveillance*. *Proc. of the IEEE*. Aug. Vol.95, no.8, pp. 1683–1690.
17. Pergande A. (2007) *New steps for Passive Millimeter Imaging*. *Proceedings of SPIE in Passive Millimeter-Wave Imaging Technology X*, Orlando, FL, USA. April, Vol. 6548, pp. 654802-1-654802-4.
18. Vertiy A., Tekbas M., Kizilhan A., Panin S., Ozbek S. (2010) *Sub-terahertz Radiometric Imaging System for Concealed Weapon Detection*. *PIERS-2010*, Cambridge, US.
19. Vertiy A., Ozbek S., Pavlyuchenko A., Panin S., Tekbas M., Kizilhan A., Cetinkaya H., Unal A. (2011) *Short- and Long-Range Passive Imaging in Millimeter-Wave-Band*. *URSI GASS-2011*, Istanbul.

20. Vertiy A., Ozbek S., Pavlyuchenko A., Panin S., Tekbas M., Kizilhan A., Cetinkaya H., Unal A. (2011) Passive radiometric imaging systems in millimeter wavelength range. 2011 IEEE AP-S/URSI, Washington, US.
21. Lim Jae S. (1990) Two-Dimensional Signal and Image Processing. Englewood Cliffs. NJ. Prentice Hall, pp. 548.
22. Piechl M., H. Suss S.D., Greiner M., Jirousek M. (2004) Imaging Technologies and Applications in Microwave Radiometry. European Radar conference. Amsterdam, pp. 269–273.
23. Yujiri L., Shoucri M., Moffa P. (2003) Passive Millimeter-wave Imaging. IEEE Microwave magazine, September, pp. 39–50.
24. Radzikhovskiy V.N., Gorishnyak V.P., Kuzmin S.E., Shevchuk B.M. (2001) Passive millimeter-wave imaging system. Proceeding of CriMiCo'. Sevastopol, Crimea, Ukraine, September 10–14, pp. 263–264.

A. Vertiy, As. Sabyrov, Yu. Sirenko, S. Sautbekov, Ar. Sabyrov, V. Pavlikov

### MM WAVE RADIOMETRY FOR SECURITY SYSTEM DEVELOPMENT, INCLUDING PERIMETER CONTROL, CONCEALED WEAPON 3D IMAGING AND DANGEROUS FLUIDS DETECTION

**Abstract.** In this paper, a radiometric 3D method for visualizing hidden weapons and flammable liquids is considered. Ideas and methods are based on the use of a two-channel radiometric circuit operating in the 8 mm wavelength range. The problem of visualizing electromagnetic fields in the millimeter wavelength range is studied experimentally with the aim of constructing a radio image of various objects, i.e. the radiovision problem in the subterrahertz wavelength range is solved. The need for such systems, especially in recent years, is motivated by the growing level of terrorist threats in the air, sea and rail transport. In other words, within the framework of the present work, an approach has been developed that makes it possible to detect weapons and dangerous liquids that are hermetically sealed in plastic containers.

**Keywords:** 3D passive radiometry, weapon monitoring, detection of hazardous liquids, radiometric visualization of objects, digital signal and image processing methods, flammable liquids, passive perimeter control.

О. О. Вертій, Аскар Сабиров, Ю. К. Сіренко, С. С. Саутбеков, Арман Сабиров, В. В. Павліков

### РАДИОМЕТРІЯ ММ ДІАПАЗОНУ В СИСТЕМАХ БЕЗПЕКИ, ВКЛЮЧАЮЧИ ОХОРОНУ ПЕРИМЕТРА, ДЕТЕКТУВАННЯ ЗАХОВАНОЇ ЗБРОЇ І ВИЯВЛЕННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН В ЗАЧИНЕНИХ ЄМНОСТЯХ

**Резюме.** В роботі розглядається радіометричний 3D-метод візуалізації захищеної зброї і легкозаймистих рідин. Ідеї і методи засновано на застосуванні двоканальної радіометричної схеми, що працює в діапазоні довжин хвиль 8 мм. Експериментально досліджується задача візуалізації електромагнітних полів у міліметровому діапазоні довжин хвиль з метою побудови радіозображень різних об'єктів, тобто вирішується завдання радіобачення у субтерагерцовому діапазоні довжин хвиль. Необхідність таких систем, особливо в останні роки, мотивована зростаючим рівнем терористичних загроз на повітряному, морському і залізничному транспорті. Іншими словами, в рамках цієї роботи розроблений підхід, що дозволяє детектувати зброю і небезпечні рідини, герметично закриті в пластикових контейнерах.

**Ключові слова:** пасивна 3D-радіометрія, контроль зброї, детектування небезпечних рідин, радіометрична візуалізація об'єктів, методи цифрової обробки сигналів і зображень, вогнебезпечні рідини, passive perimeter control.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Вертий А.А.** — советник и.о. директора Украинского института научно-технической экспертизы и информации, ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; alexey.vertiy@gmail.com; Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Мирзояна, 2, г. Астана, Республика Казахстан, 010000

**Сабыров Ас.** — Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Мирзояна, 2, г. Астана, Республика Казахстан, 010000

**Сиренко Ю.К.** — Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Мирзояна, 2, г. Астана, Республика Казахстан, 010000; Институт радиопрофики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, ул. Академика Проскура, 12, г. Харьков, Украина, 61085

**Саутбеков С.С.** — Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Мирзояна, 2, г. Астана, Республика Казахстан, 010000

**Сабыров Ар.** — Назарбаев Университет, ул. Кабанбай Батыра, 53, г. Астана, Республика Казахстан, 010000

**Павликов В.В.** — Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского, ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61070

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vertiy A.** — Adviser of Ukrainian Institute for Scientific, Technical Expertise and Information, 180, Antonovicha Str., Kyiv, Ukraine, 03680; alexey.vertiy@gmail.com; L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Mirzoyana Str., Astana, Republic of Kazakhstan, 010000

**Sabyrov As.** — L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2, Mirzoyana Str., Astana, Republic of Kazakhstan, 010000