

УДК 621.396.969

ДИСТАНЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАКРЫТОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН. 3. УГЛОВОЕ СКАНИРОВАНИЕ*

А. В. ПАВЛЮЧЕНКО¹, П. П. ЛОШИЦКИЙ², А. И. ШЕЛЕНГОВСКИЙ¹, В. В. БАБЕНКО¹

¹Государственный научно-исследовательский центр «Айсберг»,
Украина, Киев, пр-т Л. Курбаса, 2Б

²Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37

Аннотация. Использование радиометрических и квазиоптических принципов позволило получать дистанционные тепловые портреты (ТП) исследуемых жидкостей в закрытой диэлектрической таре на расстоянии от нескольких сантиметров до нескольких метров. Впервые использовано микроволновое угловое поляризационное радиометрическое сканирование, позволяющее дистанционно получать аутентичные ТП жидкостей, близких по своим физико-химическим свойствам. Экспериментально показано, что объекты, имеющие при линейном сканировании практически не различимые ТП (водно-спиртовые растворы, дизельные топлива), при использовании углового сканирования обнаруживают признаки, которые позволяют легко их идентифицировать, а также различать диэлектрические емкости, в которые помещены эти жидкости. Метод углового радиометрического сканирования позволил в одном цикле измерений получать компоненты прошедшей, поглощенной и отраженной волн для аутентификации жидкостей по тепловым портретам. Используемая широкополосная шумовая электромагнитная волна, формируемая источником подсветки, является переносчиком информации о жидкости и таре. Использование углового сканирования позволило сократить время получения полезной информации до 14 с, или в 4 раза по сравнению с линейным сканированием. Представлены результаты исследования опасных жидкостей на примере горючих жидкостей: продуктов нефтепереработки (растворителей, дизельных топлив) и водно-спиртовых растворов в таре со значениями диэлектрической проницаемости $\epsilon = 2-16$. Экспериментально показано, что микроволновый радиометрический ТП несет информацию о количестве молекул со слабой водородной связью в водно-спиртовых растворах. Предложенный метод дистанционной идентификации жидкостей в закрытой диэлектрической таре является безопасным и экологически чистым, т.к. необходимый уровень подсвечивающего шумового излучения не превышает 20 дБ/кГ₀.

Ключевые слова: микроволновые диапазоны; радиометрия; радиояркостная температура; продукты нефтепереработки; водно-спиртовые растворы; дистанционная идентификация

1. ВВЕДЕНИЕ

В [1–7] показано, что специфические особенности ближней локации позволяют решать

задачи, принципиально неразрешимые средствами обычной (дальней) радиолокации и инфракрасной техникой — дистанционное изме-

* Работа выполнена по программе: The NATO Science for Peace and Security Programme. Project G5005.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлюченко, А.В.; Лошицкий, П.П.; Шеленговский, А.И.; Бабенко, В.В. “Дистанционная идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 1. Принципиальная возможность,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 60, № 10, с. 547–558, 2017. DOI: [10.20535/S0021347017100016](https://doi.org/10.20535/S0021347017100016).
2. Павлюченко, А.В.; Лошицкий, П.П.; Шеленговский, А.И.; Бабенко, В.В. “Дистанционная идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 2. Линейное сканирование,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 61, № 4, с. 157–167, 2018. DOI: [10.20535/S0021347018040039](https://doi.org/10.20535/S0021347018040039).

3. Salmon, Neil A. "Outdoor passive millimeter-wave imaging: Phenomenology and scene simulation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 66, No. 2, p. 897–908, Feb 2018. DOI: [10.1109/TAP.2017.2781742](https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2781742).
4. Lee, Jeffrey S.; Cleaver, Gerald B. "The cosmic microwave background radiation power spectrum as a random bit generator for symmetric- and asymmetric-key cryptography," *Heliyon*, Vol. 3, No. 10, 2017. DOI: [10.1016/j.heliyon.2017.e00422](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00422).
5. Owda, Amani Y.; Salmon, Neil; Rezgui, Nacer-Ddine. "Electromagnetic signatures of human skin in the millimeter wave band 80-100 GHz," *PIER B*, Vol. 80, p. 79–99, 2018. DOI: [10.2528/PIERB17120403](https://doi.org/10.2528/PIERB17120403).
6. Samavi, S.; Shirani, S.; Karimi, N. "Real-time processing and compression of DNA microarray images," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 15, No. 3, p. 754–766, Mar 2006. DOI: [10.1109/TIP.2005.860618](https://doi.org/10.1109/TIP.2005.860618).
7. Divin, Y.; Lyatti, M.; Poppe, U.; Urban, K. "Identification of liquids by high- T_c Josephson THz detectors," *Phys. Procedia*, Vol. 36, p. 29–34, 2012. DOI: [10.1016/j.phpro.2012.06.125](https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.06.125).
8. Alimenti, Federico; Roselli, Luca; Bonafoni, Stefania. "Microwave radiometers for fire detection in trains: Theory and feasibility study," *Sensors*, Vol. 16, No. 6, p. 906, 2016. DOI: [10.3390/s16060906](https://doi.org/10.3390/s16060906).
9. Физпрактикум. "Цилиндрическая линза," *Наука и жизнь*, № 12, С. 24, 1994.
10. Москалев, В.А.; Нагибина, И.М.; Полушкина, Н.А.; Рудин, В.Л. *Прикладная физическая оптика*. Учеб. пособие под общ. ред. В.А.Москалева. СПб.: Политехника, 1995. 528 с. ISBN 5-7325-0010-3.
11. Зелкин, Е.Г.; Петрова, Р.А. *Линзовые антенны*. М.: Сов. Радио, 1974. 280 с.
12. Виноградов, А.В.; Ораевский, А.Н. "Волны шепчущей галереи," *Соросовский образовательный журнал*, Т. 7, № 2, с. 96–102, 2001. URI: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1176.html>.
13. Стрэтт, Дж. (лорд Рэлей). *Теория звука*. Т. 2. М.: Гостехиздат, 1955. 476 с.
14. Пацаева, С.В. "Подлинная жизнь водно-спиртовых растворов," *Химия и жизнь*, № 5, С. 41–43, 2010.
15. Харвей, А.Ф. *Техника сверхвысоких частот*. Т. 1. Пер с англ. под ред. В.И.Сушкевича. М.: Сов. Радио, 1965.
16. Leffler, W. L. *Petroleum Refining for the Non-Technical Person*, 2nd ed. Penn Well Pub. Co, 1985. 230 p.

Поступила в редакцию 01.07.2018

После доработки 10.12.2018

Принята к публикации 13.12.2018