

УДК 621.396.969

ДИСТАНЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАКРЫТОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН. 4. МНОГОЧАСТОТНОЕ СКАНИРОВАНИЕ

А. В. ПАВЛЮЧЕНКО¹, П. П. ЛОШИЦКИЙ²

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 многочастотной радиолокации позволяет значительно расширить спектр принимаемых сигналов, что увеличивает количество классификационных признаков цели (объектов), в том числе в тепловых портретах при дистанционных радиометрических измерениях. В работе представлен макет измерительной радиометрической установки, позволяющий одновременно проводить бесконтактные радиометрические исследования жидкостей в двух диапазонах длин волн: 8-мм и 3-мм. Разработана методика определения параметров емкости (тары), в которые помещены исследуемые жидкости. Оценено влияние каустик, возникающих при отражении волн от внутренней стенки тары, а также величины добротности, коэффициента затухания и относительного коэффициента преломления материала тары, которые измеряются дистанционно. В двух частотных диапазонах проведены исследования водных растворов и продуктов нефтепереработки (бензины, растворители, дизельное топливо). Показано, что жидкости, имеющие близкие тепловые портреты в одном частотном диапазоне в связи с близостью физико-химических параметров, могут иметь в другом частотном диапазоне тепловые портреты, которые различаются. Тепловые портреты, полученные в разных диапазонах частот, отражают дисперсионные свойства жидкостей, и могут использоваться для идентификации жидкостей визуально или при обработке полученных данных.

Ключевые слова: микроволновой диапазон; многочастотная радиометрия; радиояркая температура; продукты нефтепереработки; водно-спиртовой раствор; дистанционная идентификация

ВВЕДЕНИЕ

В [1–3] показана возможность дистанционного обнаружения и идентификации жидкости, находящейся в диэлектрической таре, радиометрическими методами в одном частотном диапазоне. Системы радиометрии сравнительно редко выполняются в виде одноканального радиометра. Для решения сложных задач, как правило, используются многоканальные устройства.

В многоканальных системах, в зависимости от их назначения, используются один или несколько частотных диапазонов и/или матрицы приемников, как например матрицы сканирования пассажиропотоков типа Consortis-2, предназначенные для визуализации скрытых объектов в режиме реального времени для обеспечения безопасности аэропортов [4].

Второй подход к решению задачи — в каждом канале используется свой частотный

DOI: [10.20535/S0021347020030012](https://doi.org/10.20535/S0021347020030012)

© А. В. Павлюченко, П. П. Лошицкий, 2020

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.В.Павлюченко, П.П.Лошицкий, А. И. Шеленговский, and В.В.Бабенко, “Дистанционная идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 1. Принципиальная возможность,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 60, no. 10, pp. 547–558, Oct. 2017, doi: [10.20535/s0021347017100016](https://doi.org/10.20535/s0021347017100016).
2. А.В.Павлюченко, П.П.Лошицкий, А. И. Шеленговский, and В.В.Бабенко, “Дистанционная идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 2. Линейное сканирование,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 61, no. 4, pp. 213–225, Apr. 2018, doi: [10.20535/s0021347018040039](https://doi.org/10.20535/s0021347018040039).
3. А.В.Павлюченко, П.П.Лошицкий, А. И. Шеленговский, and В.В.Бабенко, “Дистанционная

идентификация жидкости в закрытой диэлектрической емкости в миллиметровом диапазоне длин волн. 3. Угловое сканирование,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 62, no. 1, pp. 16–29, Jan. 2019, doi: [10.20535/s0021347019010035](https://doi.org/10.20535/s0021347019010035).

4. D. A. Robertson *et al.*, “The CONSORTIS 16-channel 340 GHz security imaging radar,” in *Passive and Active Millimeter-Wave Imaging XXI*, 2018, vol. 10634, p. 8, doi: [10.1117/12.2304376](https://doi.org/10.1117/12.2304376).

5. Е.А.Шарков, *Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы. Т. 1.* Москва: ИКИ РАН, 2014.

6. Я.Д.Ширман, В.М.Орленко, and С.А.Селезнев, “Пассивная радиолокация скрытых радиоизлучений,” *Системи озброєння і військова техніка*, no. 1, pp. 97–104, 2005.

7. S. Kueppers, S. Wang, H. Cetinkaya, R. Herschel, and N. Pohl, “Imaging characteristics of a highly integrated millimeter wave MIMO radar,” in *Proceedings International Radar Symposium*, 2018, vol. 2018–June, doi: [10.23919/IRS.2018.8448247](https://doi.org/10.23919/IRS.2018.8448247).

8. Ю.Н.Седышев and В.А.Тютюнник, “Информационные технологии создания пространственно-временных модемов многопозиционных активно-пассивных радиолокационных систем,” *Прикладная радиоэлектроника*, vol. 14, no. 1, pp. 105–110, 2015.

9. И.М.Лифшиц, С.А.Гредескул, and Л.А.Пастур, *Введение в теорию неупорядоченных систем.* Москва: Наука, 1982.

10. В.Г.Низьев, “Дипольно-волновая теория дифракции электромагнитного излучения,” *Успе-*

хи физических наук, vol. 172, no. 5, pp. 601–607, 2002, doi: [10.3367/UFNr.0172.200205e.0601](https://doi.org/10.3367/UFNr.0172.200205e.0601).

11. D. Deirmendjian, *Electromagnetic scattering on spherical polydispersions.* American Elsevier Pub. Co, 1969.

12. В.В.Котляр and М.А.Личманов, “Анализ дифракции электромагнитной волны на бесконечном круглом цилиндре с несколькими однородными слоями,” *Компьютерная оптика*, no. 27, pp. 26–32, 2007.

13. В.В.Сыщенко and Э.А.Лариков, “Рассеяние электромагнитной волны на диэлектрическом цилиндре в борновском приближении,” *Научные ведомости. Серия: Математика. Физика*, vol. 38, no. 5, pp. 130–137, 2015.

14. J. Bruce, *Curves and Singularities: A Geometrical Introduction to Singularity Theory*, 2 ed. Cambridge University Press, 1993.

15. R. W. P. King and G. S. Smith, *Antennas in Matter: Fundamentals, Theory, and Applications.* MIT Press, 1981.

16. G. Malenkov, “Liquid water and ices: understanding the structure and physical properties,” *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 21, p. 283101, 2009, doi: [10.1088/0953-8984/21/28/283101](https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/28/283101).

17. W. Benenson, J. W. Harris, H. Stöcker, and H. Lutz, Eds., *Handbook of Physics.* Springer, 2002.

18. T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 2009.

Поступила в редакцию 09.10.2019

После доработки 16.12.2019

Принята к публикации 12.03.2020