

# LFM LOCATOR FOR HIDDEN OBJECTS TOMOGRAPHY

Kuzmenko I. Yu., Muksunov T. R., Yakubov V. P.

National Research Tomsk State University

36 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

Ph.: +7-952-181-07-07, e-mail: kyzmenko@sibmail.com

**Abstract** — The existing method for reconstruction of 3D images of scattering dissimilarities on the results of multipoint broadband radio scanning in the millimeter range using signals with linear frequency modulation is adapted for use in the presence of the dielectric obstacle. The results of numerical simulation, processing of experimental data and the reconstructed images of test objects are presented.

## ЛЧМ ЛОКАТОР ДЛЯ ТОМОГРАФИИ СКРЫТЫХ ОБЪЕКТОВ

Кузьменко И. Ю., Муксунов Т. Р., Якубов В. П.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия

тел.: +7-952-181-07-07, e-mail: kyzmenko@sibmail.com

**Аннотация** — Существующий метод восстановления трехмерных изображений рассеивающих неоднородностей по результатам широкополосного многопозиционного радиозондирования в миллиметровом диапазоне с использованием сигналов с линейной частотной модуляцией адаптирован для использования при наличии диэлектрической преграды. Приводятся результаты численного моделирования, а также результаты обработки экспериментальных данных и восстановленные изображения тестовых объектов.

### I. Введение

Для томографии основной задачей является восстановление формы сканируемых объектов, в том числе, скрытых за оптически непрозрачными преградами. В настоящее время подобные задачи возникают при досмотре граждан и их багажа с целью обнаружения запрещенных предметов, таких как холодное и огнестрельное оружие, в том числе и изготовленное из диэлектрических материалов. При неразрушающем контроле необходимо исследовать внутреннюю структуру изучаемого объекта, что также сводится к задаче томографии. Существует потребность в такой методике достижения заданных целей, которая должна не только быть безопасной для сканируемого объекта, но и реализация которой возможна без использования дорогостоящего и труднодоступного оборудования.

В работе [1] предложена методика восстановления формы объекта с применением сигналов с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ). В статье приведены экспериментальные результаты применения указанного метода для обнаружения объектов за непрозрачной преградой и восстановления их радиоизображения.

### II. Обнаружение объекта за преградой

В работе [1] предложена методика восстановления изображения объекта при условии отсутствия преград между исследуемым объектом и ЛЧМ модулем. В настоящей работе решается аналогичная задача, но с условием наличия преграды. Для определения степени влияния преграды на результат измерений проведем тестовый эксперимент (рис. 1).

На расстоянии  $L$  от ЛЧМ-модуля (1) был установлен тестовый объект (3). Между модулем и сканируемым объектом расположена преграда (2) из диэлектрического материала толщиной  $d$ . В качестве преграды использовался лист ДСП толщиной 16 мм.

Сигнал на выходе ЛЧМ модуля можно записать в виде

$$U(r_0, r_s, t) = B \exp(-i[2\alpha\Delta t - \alpha\Delta t^2 + \omega_0 t]) \quad (1)$$

где  $\Delta t$  — время запаздывания рассеянного сигнала;  $r_0 = (x_0, y_0, 0)$  — положение приемопередающей антенны;  $r_s = (x_s, y_s, z_s)$  — координаты точечного рассеивателя в среде;  $B$  — амплитуда рассеянного сигнала,  $\alpha$  — коэффициент линейного изменения частоты со временем.

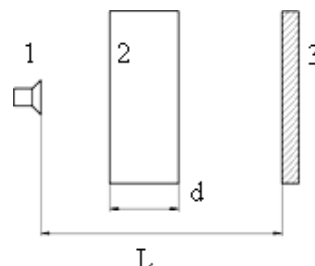


Рис. 1. Взаимное расположение ЛЧМ модуля, препятствия и исследуемого объекта.

Fig. 1. Placement of LFM module, obstacle and investigating object

При отсутствии преграды время запаздывания сигнала будет равно:

$$\Delta t = \frac{2L}{c} \quad (2)$$

При наличии преграды это время определяется как

$$\Delta t' = \frac{2(L-d)}{c} + \frac{2d}{c'} \quad (3)$$

Здесь  $c' = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$  — скорость распространения сигнала в диэлектрике. С учетом (2) можно записать, что

$$\Delta t' = \Delta t + 2d(\sqrt{\mu\epsilon'} - \sqrt{\mu\epsilon}) \quad (4)$$

Из этого соотношения видно, что время прохождения сигнала при наличии диэлектрической преграды больше, чем при ее отсутствии, и эта разница тем выше, чем больше  $\mu'$ ,  $\epsilon'$  и  $d$  преграды.

Экспериментальные результаты сканирования объекта при наличии преграды и без нее представлены на рис. 2 и 3.

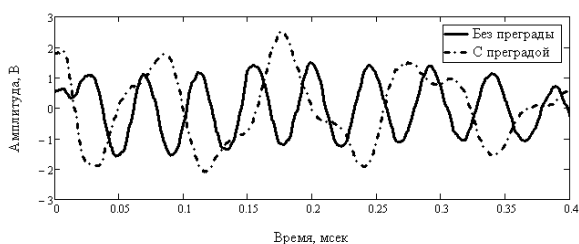


Рис. 2. Форма регистрируемого сигнала в присутствии преграды и без нее.

Fig. 2. The shape of the signals in the presence of an obstacle and without

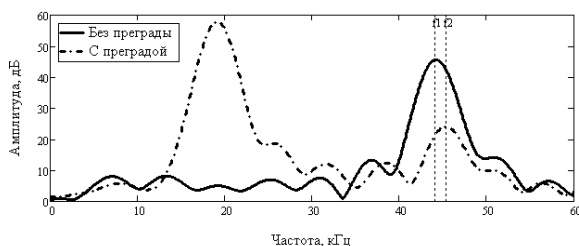


Рис. 3. АЧХ сигнала в присутствии преграды и без нее.

Fig. 3. AFC of the signals in the presence of an obstacle and without

Как видно из рис. 2 и 3, сигнал, полученный при наличии препятствия, является суперпозицией сигналов, отраженных от сканируемого объекта и от самого препятствия. Первый максимум в спектре сигнала соответствует отражению от преграды, а второй – от тестового объекта. При этом наличие преграды дает небольшое смещение частоты соответствующей сигналу от объекта – объект как бы удаляется. Это смещение  $\Delta f = 1220$  Гц, что согласуется с формулой (4). Таким образом, подтверждаются приведенные ранее теоретические расчеты: преграда вносит дополнительную задержку во время распространения сигнала. При фокусировке для восстановления радиоизображения объекта необходимо учитывать эту задержку. Предложенный подход также позволяет оценить показатель преломления  $n = \sqrt{\mu \varepsilon}$  преграды, и определить ее толщину.

### III. Восстановление формы объекта

Для восстановления формы объекта, скрытого за диэлектрической преградой, ЛЧМ модуль был установлен на сканер. Таким образом, приемопередатчик перемещался с заданным шагом по плоскости сканирования. В каждой точке остановки производилась запись сигнала, получаемого с ЛЧМ-модуля.

Сначала был проведен эксперимент по восстановлению радиоизображения тестового объекта при отсутствии преграды. Тестовый объект, изображенный на рис. 4а, был расположен на расстоянии 90 см от плоскости сканирования. Радиоизображение тестового объекта приведено на рис. 4б., шаг сканирования 10 мм.

В следующем эксперименте между ЛЧМ модулем и исследуемым объектом была помещена диэлектрическая преграда, на расстоянии 45 см от объекта. Расположение объекта относительно плоскости сканирования осталось неизменным. В качестве преграды был использован лист диэлектрика толщиной 5 миллиметров с заранее измеренными  $\mu' = 1$ ,  $\varepsilon' = 3$ . В результате эксперимента было получено радиоизображение преграды (рис. 5а) и самого объекта (рис. 5б).

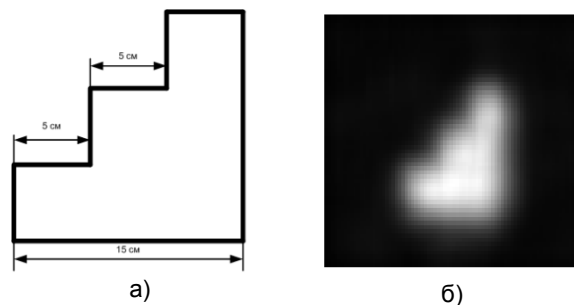


Рис. 4. Тестовый объект (а) и его радиоизображение (б).

Fig. 4. Testing object (a) and its radioimage (b)

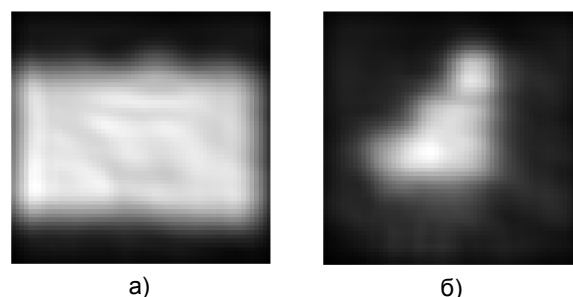


Рис. 5. Радиоизображение а) преграды, б) объекта за преградой.

Fig. 5. Radioimage of a) obstacle b) object behind obstacle

Как видно из рис. 4б и 5б, даже при наличии преграды удается получить радиоизображение тестового объекта удовлетворительного качества.

### IV. Заключение

Произведено математическое моделирование применения ЛЧМ-сигналов для обнаружения и визуализации объектов за диэлектрическими преградами с использованием технологии синтеза большой апертуры.

Работа выполнена в рамках выполнения проекта по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

### V. References

- [1] Yakubov V.P., Shipilov S.E., Sukhanov D.Ya., Klokov A.V. Radiovolnovaya tomografiya: dostizheniya i perspektivy [Radiowave tomography: achievements and perspectives]. Tomsk, NTL, 2014. 264 p.