

Способ определения проницаемости преграды для зондирующего излучения сверхширокополосного радара

А.П. Зуев¹, В.А. Могилко¹, С.С. Негодяев^{1,2}, А.В. Царьков¹

¹ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики», 115487 г. Москва, ул. Нагатинская, д. 16А

²Московский физико-технический институт (государственный университет), 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9, azuev@newmail.ru; valmog48@mail.ru; snegod@mail.ru; tsarkov_al@mail.ru

Рассматривается способ определения проницаемости слабо отражающей (диэлектрической) преграды для зондирующего излучения устройств сверхширокополосной (СШП) радиолокации. Способ основан на выявлении особенностей в высокочастотной части Фурье-преобразования эхо-сигнала, получаемого при сканировании пространства за преградой. Анализ указанных высокочастотных составляющих спектра эхо-сигнала позволяет оценить проницаемость преграды.

The method of determining the penetrability of weakly reflecting (dielectric) barrier for probe radiation of UWB radars is studied. The method is based on the identification of features in the high-frequency part of the Fourier transform of the echo signal obtained by scanning the space behind the barrier. Analysis of high-frequency components of the spectrum of the echo signal permit to evaluate the permeability barrier.

Введение

Существует класс сверхширокополосных (СШП) приборов «радиовидения сквозь стены», которые предназначены для дистанционного обнаружения спасателями движущихся людей и других объектов за оптически непрозрачными преградами, такими как стены, перекрытия, завалы и пр. (см. обзоры [1, 2]). Достоверность обнаружения объектов за стенами с помощью таких приборов ограничена проницаемостью преград, которая в реальных ситуациях поиска людей при техногенных авариях заранее неизвестна. Например, для диэлектрической преграды с сильным поглощением сигнал СШП радара практически не проходит сквозь стену - прибор диагностирует отсутствие искомых объектов, хотя они и могут там находиться.

В этой связи поиск способов определения проницаемости преград для СШП радиолокаторов является важной задачей. В отличие от известного способа «радиопросвечивания», когда передатчик и приемник радиоизлучения находятся по разные стороны от преграды, в случае СШП локации приемник и передатчик совмещены в одном устройстве, и определение проницаемости должно быть основано на анализе эхо-сигнала, получаемого при сканировании пространства за преградой.

На практике встречаются две ситуации, при которых СШП локатор не позволяет обнаружить за преградой движущихся людей и объектов:

- преграда является непрозрачной и отражающей;
- преграда является диэлектрической и сильно поглощающей.

Первому случаю соответствуют преграды типа «металлический отражатель» (листы металла, арматура строительных блоков, металлическая сетка и т.п.).

В качестве примера второго типа преграды можно привести, например, влажные стены зданий и сооружений (мокрые кирпич, бетон, дерево и т.п.).

В данной статье на основе экспериментального исследования спектральных особенностей эхо-сигнала, получаемого при сканировании пространства за преградой, предложен способ определения проницаемости преград для зондирующего излучения одномерного модельного СШП радара для случая диэлектрических преград с сильным погонным поглощением.

Описание методики проведения экспериментов

Для проведения экспериментов в данной работе использовался модельный образец СШП радара в составе установки показанной на рис. 1. Для излучения и приема СШП сигнала использовались две одинаковые плоские спиральные антенны, разнесенные на расстояние 30 см. На передающую антенну 1 подавался короткий возбуждающий импульс длительностью ~ 1 нс. Приемная антенна 2 регистрировала как отраженные от препятствий сигналы, так и прямую наводку от передающей антенны, избавиться от которой в практических ситуациях полностью невозможно.

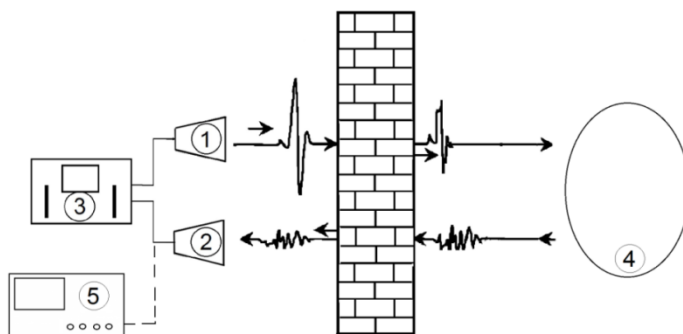


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1- передающая антенна, 2- приемная антенна, 3 –блок синхронизации и съема информации СШП радиолокатора, 4 – отражающий объект, 5 – осциллограф.

Экспериментальная установка включает осциллограф Tektronix DPO 70804, на котором проводился первичный анализ подаваемого на передающую антенну возбуждающего импульса (рис. 2) и сигнала с приемной антенны (рис. 3).

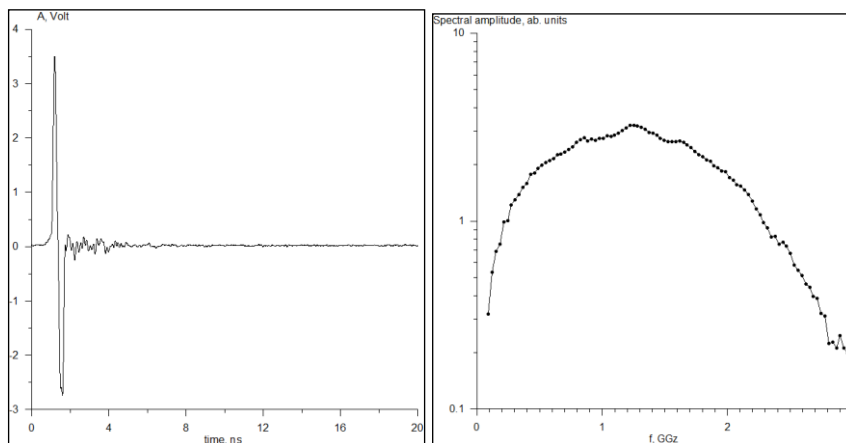


Рис. 2. Осциллограмма и спектр сигнала, возбуждающего передающую антенну.

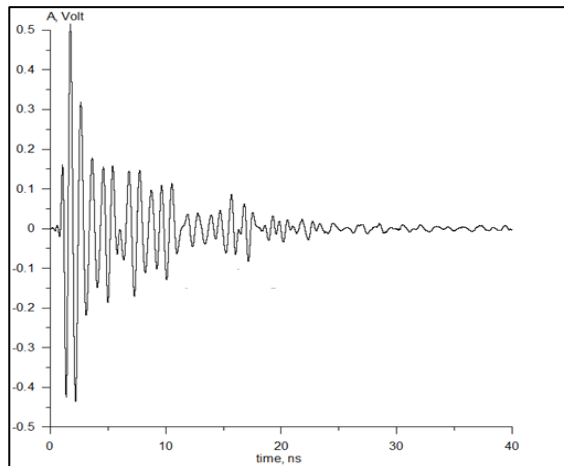


Рис. 3. Осциллограмма сигнала с приемной антенны.

Входящий в состав радара блок синхронизации и съема информации 3 (см. рис. 1) позволял получать сигнал с приемной антенны в оцифрованном виде. Результатом каждого отдельного эксперимента являлся массив значений амплитуды сигнала в зависимости от времени – массив данных из 256 точек с шагом 0,15 нс в диапазоне времени $256 \times 0,15 \text{ нс} = 38,4 \text{ нс}$. По внешнему виду этот оцифрованный сигнал аналогичен осциллограмме на рис. 3.

Способ оценки проницаемости преграды для СШП излучения радара

Определение наличия отраженных от препятствий за преградой сигналов зондирующих СШП импульсов является сложной задачей, поскольку на приемную антенну приходят одновременно два сигнала: очень слабый отраженный сигнал от всех объектов в поле зрения прибора и сигнал прямой наводки от антенны передатчика, который может затухать в течение достаточно большого промежутка времени.

Если антенны приемника и передатчика радара располагают контактным способом непосредственно на преграде (стенке, перекрытии и т.п.), то при непроницаемой преграде на антенну приемника (при излучении зондирующего импульса) попадают практически только прямые наводки от затухающих колебаний в антенне передатчика. Если преграда пропускает СШП излучение, то на антенну воздействуют и отраженные от препятствий за преградой сигналы, и сигнал прямой наводки с антенны передатчика.

При этом спектральный состав отраженного сигнала и сигнала наводки отличаются. Спектральная плотность сигнала прямой наводки изменяется с течением времени после подачи импульса на антенну передатчика. В момент излучения зондирующего импульса спектр излучения практически определяется спектром очень короткого зондирующего импульса (рис. 2).

Со временем колебания в антенне передатчика начинают затухать («звон» антенны). При этом спектр сигнала меняется, в нем начинают доминировать собственные частоты колебаний. Для использованных в данной работе антенн эти частоты находятся в диапазоне 1 ГГц и ниже. Высокочастотные составляющие в нем деградируют. В отраженном же сигнале, приходящем с временной задержкой после излучения зондирующего импульса, спектральная плотность такая же, как в зондирующем импульсе в момент излучения. Поэтому наличие в спектре входного сигнала высокочастотных составляющих, обусловленных наличием отраженных от препятствий за преградой зондирующих импульсов, свидетельствует о ее проницаемости, а амплитуда высокочастотных составляющих спектра несет информацию о поглощающей способности преграды.

С целью проверить высказанные выше утверждения, было проведено два типа опытов. В первом случае СШП радар был ориентирован в свободное пространство и преграда перед ним отсутствовала. Во втором случае приемная и передающая антенны были прикрыты диэлектрическим материалом (имитация преграды), обеспечивающим ослабление радиоизлучения 13 – 15 дБм в интервале частот 1 – 3 ГГц.

Укрытие приемной и передающей антенн поглощающим диэлектрическим материалом практически не изменяло уровень наводок на антенну приемника, в то время как уровень отраженных сигналов менялся существенно – зондирующий импульс проходил через поглощающий материал и отраженные импульсы также проходили через него. Поэтому можно считать, что во втором случае отраженные импульсы практически не доходили до антенны приемника.

К сигналам с приемной антенны, которые регистрировал осциллограф, применялось преобразование Фурье, а полученный спектральный Фурье-анализ показан на рис. 4 (а) в отсутствие преграды, и на рис. 4 (б) при использовании непроницаемой преграды.

Присутствующие в спектрах пики на частотах ниже 1 ГГц обусловлены «звоном» антенн, другими словами наводками, обусловленными прямым проникновением затухающего на резонансных частотах сигнала с антенны передатчика. При этом высокочастотные (>1 ГГц) части спектров (а) и (б) отличаются. В случае использования непроницаемой для радиоизлучения преграды (б) высокочастотная составляющая в спектре существенно подавлена по сравнению с (а).

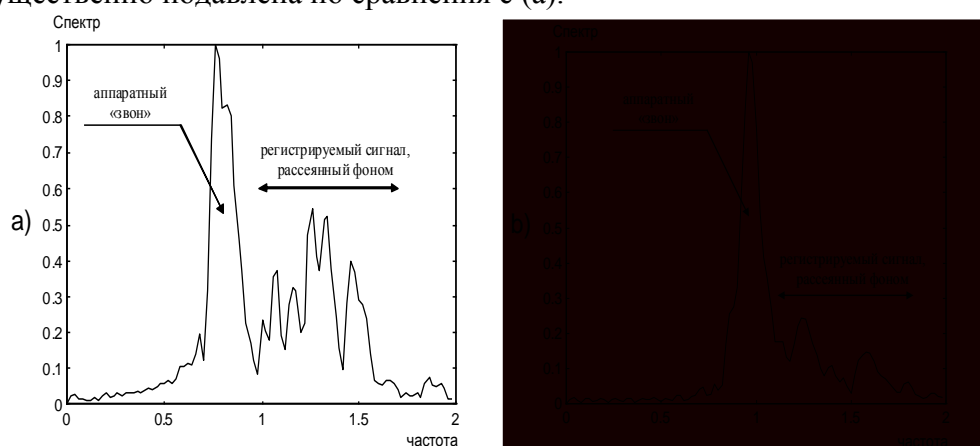


Рис. 4. Спектры сигнала в отсутствие преграды (а) и при непрозрачной для излучения преграде (б).

На основании результатов изложенных выше экспериментов было предложено оценивать проницаемость преграды для СШП излучения величиной площади S под кривой спектральной зависимости для высокочастотной части.

Предложенный критерий оценки прозрачности преград может быть интегрирован в алгоритмы работы типовых СШП радаров для повышения эффективности их применения. Для экспериментальной апробации этого вывода были проведены контрольные эксперименты с помощью имеющегося в наличии у авторов модельного образца СШП локатора.

Модельный образец СШП радара, разработанный на основе способа [3], позволяет определять в автоматическом режиме наличие движения одиночного объекта на расстоянии до 7 м за преградой, в частности такое движение как покачивание корпуса человека с амплитудой около 10 см и с частотой порядка 1 Гц. Алгоритм работы цифрового блока модельного СШП радара был доработан и в него был интегрирован

алгоритм Фурье-анализа эхо-сигналов и вычисления интеграла S для высокочастотной области спектра.

В качестве модельных преград были выбраны фанерные листы толщиной 1 см с линейным размером 100×100 см², которые пропитывались концентрированным раствором поваренной соли. Это обеспечивало одностороннее ослабление радиоизлучения в диапазоне частот 1 – 2,5 ГГц порядка 2 – 4 дБм на один лист фанеры (см. таблица 1, данные получены методом радиопросвечивания). СШП радар располагался вплотную к фанерным листам, которых было использовано вплоть до четырех. Параллельно с подсчетом площади S под высокочастотной частью спектра сигнала фиксировался результат автоматического срабатывания СШП радара на обнаружение движущегося человека. Человек располагался на расстоянии 5 м за модельной преградой. Результаты корреляции срабатывания радара и значения параметра S представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение величины ослабления радиоволн и параметра S

Количество листов фанеры, шт.	0	1	2	3	4
Ослабление радиоизлучения, дБм	–	4,5	6,5	9,0	11
Обнаружение движения человека	да	да	да	неустойчиво	нет
Параметр S	0,4	0,14	0,08	0,05	0,04

Как можно видеть из этой таблицы, при увеличении эффективной толщины преграды (от свободного пространства до 4-х листов фанеры) площадь S , характеризующая наличие пиков в высокочастотной части спектра, падает. Таким образом, для данного конкретного образца СШП радара путем описанной процедуры настройки алгоритма срабатывания можно установить некоторое пороговое значение $S_{\text{пор}}=0,06$, и в этом случае при $S < S_{\text{пор}}$ преграда для этого образца считается непроницаемой.

Заключение

Предложен способ определения проницаемость диэлектрической поглощающей преграды для СШП излучения радара, которую можно оценить, регистрируя отраженные от объектов за преградой зондирующие импульсы радара [4].

Спектр отраженных зондирующих импульсов отличается от спектра наводок антенны передатчика наличием в нем высокочастотных составляющих. Поэтому учет их уровня в спектре обработанного сигнала СШП радара позволяет оценить проницаемость преграды.

Литература

1. Ultra Wideband Technology Overview. White Paper, Prepared by MobilVox, Inc. October 2004.
2. И.Я. Иммореев. Практическое использование сверхширокополосных радаров. Журнал радиоэлектроники, № 9, 2009.
3. Патент 2441252 РФ, МПК G01S13/20. Способ обнаружения движущихся объектов через непрозрачные преграды / Зуев А.П., Леонтьев С.К., Мешков М.А. и др. – Оpubл. 27.01.2012. – Бюл. №3.
4. Заявка на изобретение 2012133253 РФ. Способ определения проницаемости преграды для зондирующего излучения сверхширокополосного радара / Зуев А.П., Мешков М.А., Могилко В.А. и др. – Подана 03.08.2012.