

О.О. Дробахин, В.В. Алексеев, А.В. Звегинцев

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Представлены радиопортреты объекта в виде двутавра, полученные экспериментальным путем с использованием измерительно-вычислительного комплекса при совмещении поперечного сканирования и проведения в каждой точке многочастотных измерений с последующим синтезированием продольного распределения характеристики отражения. Произведен выбор частоты для одночастотного сканирования с целью определения направления залегания объекта с исключением влияния расстояния между антенной и объектом.

Ключевые слова: измерительно-вычислительный комплекс, синтезирование временных сигналов, сканирование, изображение

Введение. Микроволновая техника нашла эффективное применение для решения задач, возникающих в различных отраслях промышленности [1]. Наиболее информативными являются широкополосные многочастотные сигналы, но их использование требует применения достаточно сложной аппаратуры в виде соответствующего измерительно-вычислительного комплекса [2]. Одной из практически важных задач является обнаружение и локализация скрытых металлических конструкций, например, конструкции в виде двутавра, определение направления ее залегания. Представляет практический интерес исследовать возможность применения одночастотных микроволновых сигналов для решения указанной задачи, поскольку одночастотная аппаратура много проще и дешевле многочастотной, что является решающим фактором при практическом внедрении микроволновых методов. При этом особенностью применения одночастотных методов является то, что в зависимости от расстояния между антенной и отражающей поверхностью объекта может наблюдаться как максимум отражения, так и его минимум.

Цель статьи. Получение при помощи измерительно-вычислительного комплекса экспериментальным путем по данным многочастотных измерений, совмещенных с поперечным сканированием, радиопортретов объекта в виде двутавра и на этой основе выбор частоты для одночастотного сканирования с целью определения направления залегания объекта с исключением влияния расстояния между антенной и объектом.

Особенности измерительно-вычислительного комплекса. Для обеспечения однопозиционного расположения аппаратуры многочастотный интроскоп имеет одну антенну-зонд для облучения исследуемой структуры и приема отраженного сигнала (рис. 1). Измерению подлежит отношение сигналов падающей и отраженной волн на ряде частот. Выделение и детектирование сигналов обеспечивается волноводной рефлектометрической схемой из состава панорамного измерителя Р2 с направленными детекторами при использовании в качестве зонда одного из видов рупорных антенн. При этом для получения значений сигналов в каналах падающей и отраженной волн последовательно опрашиваются каналы АЦП, а отношение указанных сигналов вычисляется программно. Конструкция АЦП также предусматривает функцию подачи напряжения смещения на детекторы для их вывода на линейный участок ВАХ. Электронная перестройка частоты генератора качающейся частоты и использование индикатора КСВН обеспечивает работу системы в реальном времени и дает следующие преимущества: электронная перестройка частоты, быстрое измерение отношения падающего и отраженного сигналов, что достигается высокой эффективностью цифро-аналогового блока.

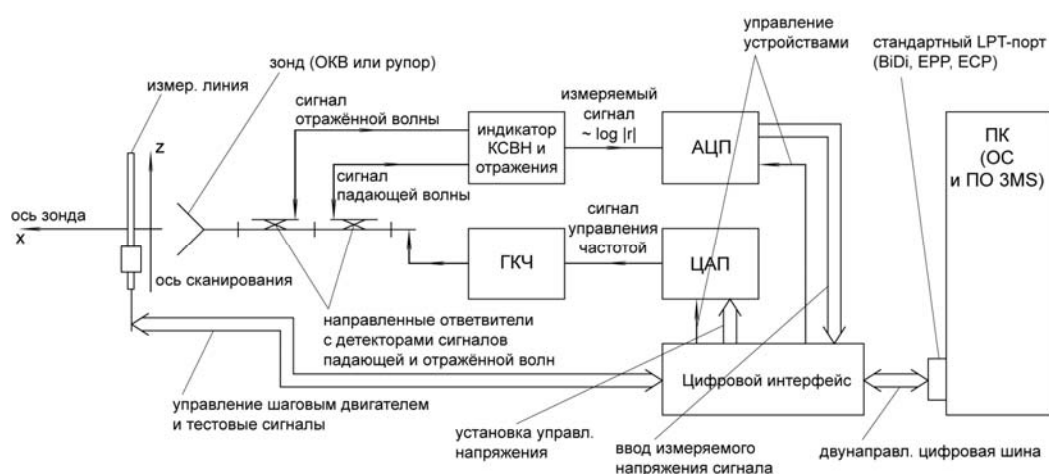


Рисунок 1 - Структура действующего измерительно-вычислительного комплекса

Применение методов параметрического спектрального анализа позволяет получить зависимость распределения характеристики отражения в зависимости от времени, а после соответствующих пересчетов масштаба оси абсцисс и в зависимости от пространственной продольной координаты. Измеряются скалярные величины, сохранение информации о фазе достигается использованием принципа Фурье-голографии с использованием отражения от доминирующей неоднородности антенны в качестве опорного сигнала [2].

Система исключает аномальные значения (выбросы) за счет проведения медианного усреднения, осуществляет обратное Фурье-преобразование частотной характеристики, обеспечивает получение временной характеристики, которая совпадает с откликом исследуемой структуры на импульсный падающий сигнал. Измерительная система использует медианное усреднение серии последовательно измеренных характеристик. Усреднение выполняется только по получению всех характеристик, значения которых подлежат усреднению.

Сканирование осуществляется посредством цифрового управления системы с шаговым двигателем в диапазоне 0-450 мм. Скорость сканирования при измерении 3 характеристик (кадров) за одну остановку и шагом позиционирования 1,5 мм составляет около 22,5 мм в минуту. Сканирование перпендикулярно оси зондирования (рис. 1). Оно дает набор характеристик отражения (кадров), которые могут быть удобно представлены в виде цифрового растрового графического изображения (2D-изображение), где должным образом нормированная амплитуда коэффициента отражения представлена яркостью пикселей, а горизонтальная и вертикальная оси изображения соответствуют осям продольной (зондирования) и поперечной (сканирования) соответственно. Наложение на изображение цветовой карты градиента позволяет отчетливо наблюдать области с одинаковыми значениями коэффициентов отражения (в частности, изолинии).

Экспериментальные результаты. Все измерения проводились на базе панорамного измерителя P2 в диапазоне частот 8-12 ГГц с пирамидальной рупорной антенной, сечение горловины которой составляло 23×10 мм, апертуры – 94×94 мм, длина рупора – 210 мм. В качестве объекта исследования был выбран стандартный элемент металлоконструкций – несимметричный двутавр высотой 170 мм, ши-

риной оснований 150 мм и 75 мм. На рис. 2, 3, 4 представлены 2D-изображения, построенные на результатах многочастотных измерений сканирования двутавра в поперечном сечении, продольном сечении с горизонтальным и наклонным расположением двутавра соответственно. Характеристика отражения (ХО), полученная с помощью рупорной антенны, есть суперпозиция трех функций. Первая из них соответствует корреляции ХО структуры с характеристикой первой опорной неоднородности, например, горловины рупора (рис. 2а, позиции 4, 5), вторая – аналогично со второй, апертурой рупора (рис. 2а, позиция 3). К третьей относится все остальное, в частности, автокорреляционные функции (АКФ) неоднородностей (рис. 2а, позиция 1), взаимокорреляционные функции (ВКФ) опорных неоднородностей (рис. 2а, позиция 2) и другие (возможно, непредвиденные) составляющие. Поскольку ХО, соответствующие ВКФ структура—апертура и структура—горловина рупора одинаковы и отличаются по величине сигналов и смещением друг относительно друга вдоль оси зондирования (рис. 1) на длину равную электрической длине рупора, тогда за искомую берется ВКФ структура—горловина рупора (рис. 2, б).

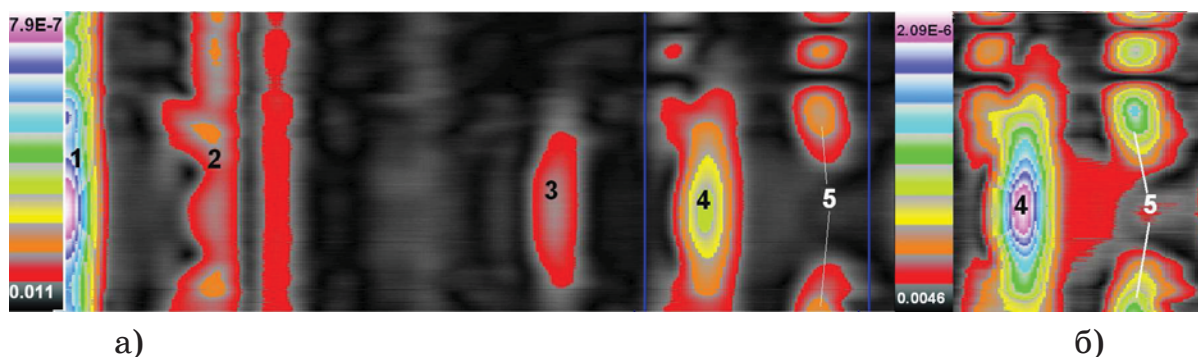


Рисунок 2 - 2D-изображение поперечного сканирования двутавра, по горизонтали – ось зондирования, по вертикали – ось сканирования: а) полная картина эксперимента, б) область, соответствующая ВКФ структура-горловина рупора, масштаб 1:10
1 – АКФ, 2 – отражение от апертуры, 3 – ВКФ структура-апертура, 4 – ВКФ вершина двутавра-горловина рупора, 5 – ВКФ основание двутавра-горловина рупора

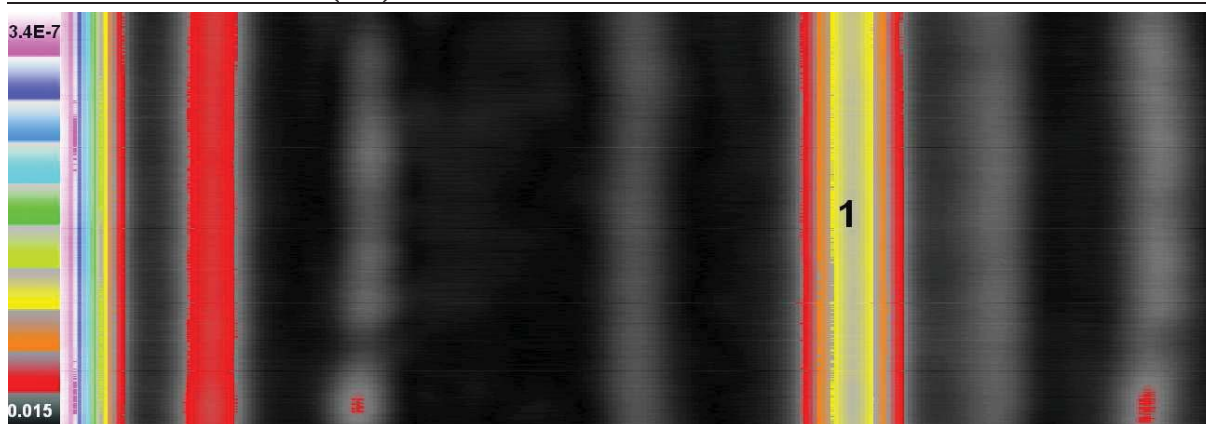


Рисунок 3 - 2D-изображение продольного сканирования двутавра.

Масштаб 1:7,5

1 – ВКФ вершина двутавра-горловина рупора

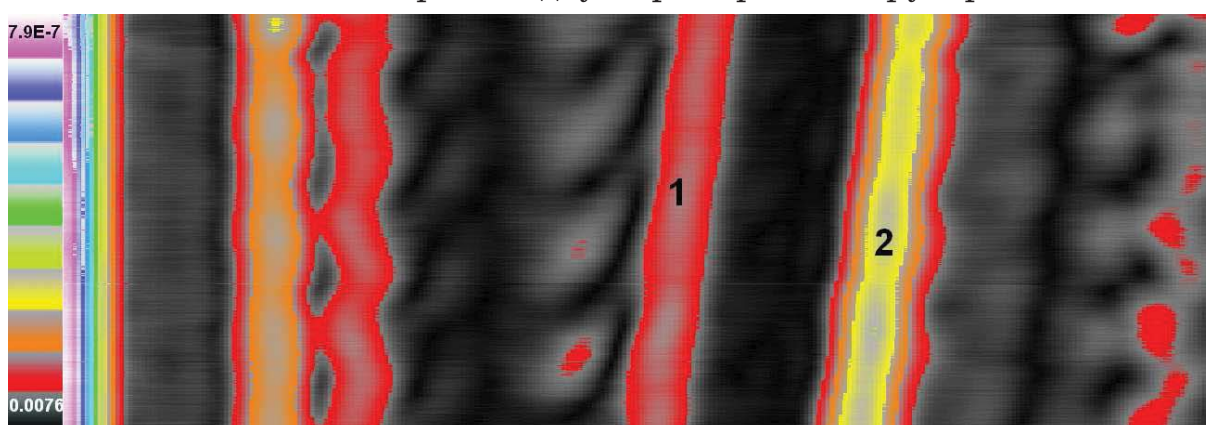


Рисунок 4 - 2D-изображение сканирования двутавра под углом в 7 градусов. Масштаб 1:7,5

1 – ВКФ вершина двутавра-апертура рупора, 2 – ВКФ вершина двутавра-апертура рупора

Был исследован одночастотный метод для обнаружения скрытых элементов металлоконструкций. Суть данного метода заключалась в поиске одной (нескольких) частоты из диапазона 8-12 ГГц, для которой изменение расстояния от антенны до исследуемого объекта во всем диапазоне сканирования давало максимум отражения от верхней отражающей поверхности, а не минимум.

Для этого был разработан следующий алгоритм. В ходе измерений были получены таблицы значений коэффициентов отражений при разных расстояниях от антенны до исследуемого объекта в зависимости от исследуемой частоты и горизонтального положения антенны. Для одного и того же значения частоты, попарно сравнивая значения коэффициентов отражений для разных расстояний, опреде-

лялось количество совпадений (как случай совпадения принимается ситуация, когда значение коэффициента отражения при одном значении расстояния попадает в интервал от 70% до 130% от значения коэффициента отражения при другом значении расстояния). Частоты, на которых наблюдается наибольшее количество совпадений, принимались в качестве удовлетворяющих требованиям.

Таким образом, по данным многочастотных измерений и сканирования была определена оптимальная частота, измерения на которой позволяют определить направление конструкции независимо от расстояния между апертурой антенны и объектом.

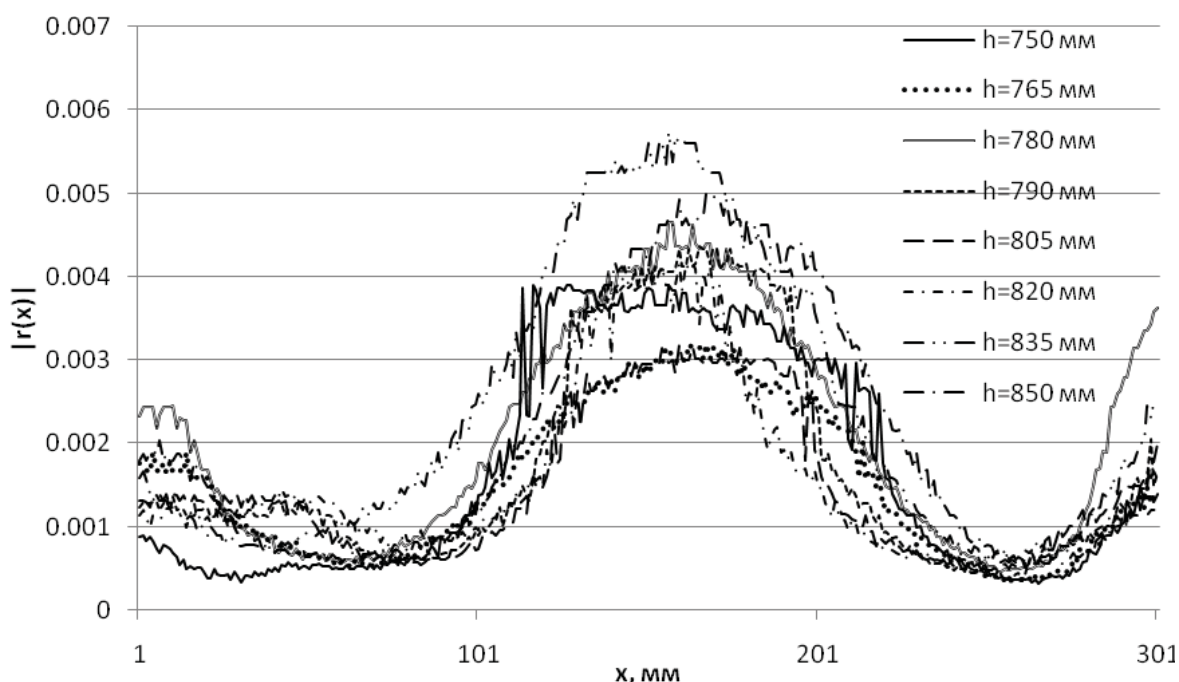


Рисунок 5 - График зависимости значений коэффициента отражения для случая одночастотного измерения при изменении расстояния между антенной и двутавром

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационный контроль металлургических процессов./ В.И.Головко, О.Н.Кукушкин, Н.В.Михайловский и др. – Днепропетровск, Журфонд, 2010. – 428 с.
2. V. V. Alekseev, O. O. Drobakhin, Ye. V. Kondrat'yev, and D. Yu. Saltykov, "Microwave introscopy using multifrequency measurements and transversal scan", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, vol. 21, no. 2, pp. 24-26, 2006.