

УДК 621.317  
СОЗДАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.В. ЛЮБЕЦКИЙ, В.А. МИХНЕВ  
Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Измерение влажности строительных материалов и конструкций является актуальной задачей как при их изготовлении в соответствии с требованиями технологических процессов, так и в период строительства и эксплуатации для обеспечения высокого качества, надежности и долговечности. При этом необходим оперативный неразрушающий контроль влажности строительной конструкции, что позволяет сократить сроки строительства при соответствующем качестве. Средства измерения влажности строительных материалов и конструкций в настоящее время импортируются из европейских стран и России.

Задача измерения влажности строительных материалов и конструкций осложнена, во-первых, большим ассортиментом строительных материалов, а во-вторых, контроль необходимо осуществлять на фоне большого числа мешающих факторов: солености воды, непостоянства плотности и состава материала, в том числе в режиме движущегося потока, на различных глубинах и т.д. В настоящее время, как показал анализ, серийно выпускаются и широко используются емкостные влагомеры. Основным их недостаток состоит в том, что они контролируют только приповерхностную влагу, а на точность измерений оказывает сильное влияние изменение плотности и состава материала. Эти недостатки могут быть устранены при использовании микроволновых методов и устройств с усовершенствованными сменными первичными преобразователями. При этом в микроволновом диапазоне засоленность воды в меньшей степени оказывает влияние на информационные параметры.

Для создания портативного унифицированного влагомера строительных материалов и конструкций необходимо разработать универсальный приемно-передающий блок с микропроцессорным устройством для калибровки, хранения и обработки полученных данных. Также необходимо создать ряд сменных первичных микроволновых преобразовательных, способных осуществлять зондирование на различных глубинах, быть инвариантными к изменению плотности контролируемых материалов и учитывать температуру окружающей среды. Использование нескольких сменных первичных преобразователей при одном приемно-передающем блоке позволит значительно расширить как номенклатуру контролируемых материалов, так и функциональные возможности микроволнового влагомера. Проведенные экспериментальные исследования показали, что наиболее пригодными первичными преобразователями для определения влажности являются резонаторные, различные модификации которых известны и



используются на практике в настоящее время. При этом глубина проникновения электромагнитной волны в контролируемый материал для различных резонаторных преобразователей в микроволновом диапазоне находится в пределах от единиц миллиметров до нескольких сантиметров.

Для выбранного частотного диапазона были разработаны и созданы несколько резонаторных преобразователей: на основе четвертьволнового коаксиального резонатора; на основе четвертьволнового микрополоскового отрезка и двух микрополосковых ответвителей; на основе плоского кольцевого резонатора, расположенного на диэлектрической подложке; на основе полосковой линии и диэлектрического цилиндрического резонатора. С помощью векторного анализатора цепей Agilent E5071B были определены их технические характеристики и проведены экспериментальные исследования для определения возможностей измерения влажности бетонов различных марок. При проведении исследований использовались тяжелые бетоны плотностью  $2,2-2,5 \text{ г/см}^3$  на основе плотных природных заполнителей; легкие бетоны плотностью  $1,0-1,8 \text{ г/см}^3$  на основе различных пористых заполнителей; бетоны ячеистые с плотностью  $0,4-1,0 \text{ г/см}^3$ . Для проведения исследований были созданы образцы бетонов размерами  $100 \times 100 \times h \text{ мм}$ , где  $h$  – высота, которая была равна 20; 40; 60; 80 и 100 мм. Экспериментальным путем были определены диапазоны измерения влажности для различных марок бетонов. Резонансные частоты для созданных ненагруженных преобразователей были равны: на основе четвертьволнового микрополоскового отрезка длиной 64 мм, расположенного на подложке с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon=4,3$  –  $f=1,67 \text{ ГГц}$ ; на основе четвертьволнового коаксиального резонатора длиной 38 мм –  $f=1,707 \text{ ГГц}$ ; на основе плоского кольцевого резонатора диаметром 55 мм, расположенного на подложке с  $\epsilon=10$  –  $f=2,7 \text{ ГГц}$ ; на основе полосковой линии и диэлектрического резонатора диаметром 31 мм и толщиной 6 мм –  $f=2,6 \text{ ГГц}$ . При установке преобразователя на (сухой) бетонный образец уменьшается резонансная частота и амплитуда резонансного пика по сравнению с ненагруженным преобразователем. При изменении плотности бетона (для конкретной марки в пределах технических требований) происходит только смещение резонансной частоты в небольших пределах, при этом амплитуда пика не изменяется. При установке преобразователя на влажный бетонный блок происходит значительное уменьшение и резонансной частоты, и амплитуды резонансного пика. Для всех созданных преобразователей были измерены значения смещения резонансной частоты и их амплитуд в диапазоне контроля влажности, а также определены глубины проникновения электромагнитной волны в зависимости от марки бетона и величины влажности.