

МАТЕРИАЛЫ

УДК 621.315.5/6; 621.318.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВЛАГИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ
НА ОСНОВЕ СИЛИКАГЕЛЯ ПРИ ИХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Н.В. КОЛБУН, ФАН Н. ЗАНГ, Л.М. ЛЫНЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Беларусь**Поступила в редакцию 7 сентября 2005*

Рассматривается применение композиционных материалов, в частности влагосодержащих пористых сред, для экранирования электромагнитного излучения. Описана многослойная структура воды в дисперсных системах. Приводятся результаты исследования взаимодействия влагосодержащих пористых сред на основе силикагеля с электромагнитным излучением в диапазоне температур $-20...+50^{\circ}\text{C}$, подтверждающие наличие в композиционных материалах прослоек жидкости в различных состояниях.

Ключевые слова: влагосодержащие пористые среды, связанная вода, композиционные материалы, электромагнитное излучение.

Введение

Проблемы биологического воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ), а также вопросы обеспечения электромагнитной совместимости при развитии и усовершенствовании изделий радиоэлектроники и устройств защиты информации приводят к широкому использованию экранирующих и радиопоглощающих материалов [1]. Чаще всего для этих целей используются композиционные материалы, в которых эксплуатационные (механические) характеристики задаются свойствами образующей матрицы (обычно полимерной), а наполнитель взаимодействует с электромагнитным излучением [2].

В работах [3–5] показана возможность создания экранов и поглотителей электромагнитного излучения на основе влагосодержащих композиционных материалов. Матрицей в этом случае являются органические капиллярно-пористые среды, удерживающие влагу за счет сил поверхностного натяжения (например, машинно-вязанное полотно из синтетических волокон).

В [6] было предложено для этих целей использовать пористые среды в виде дисперсных влагопоглотителей, наиболее распространенным из которых является силикагель. Подавление электромагнитной энергии осуществляется при взаимодействии излучения с раствором, диэлектрические и проводящие свойства которого можно контролировать, изменяя его состав [7], а также структуру образующей матрицы, и созданием многослойных материалов с градиентом свойств по толщине.

Вода является наиболее широко распространенным поглотителем электромагнитного излучения миллиметрового диапазона, большинство материалов имеют малые диэлектрические потери в СВЧ диапазоне по сравнению с водой.

Исследования Б.В. Дерягина, Н.В. Чураева и др. [8] свойств воды в различных дисперсных системах показали, что вода в тонких порах представляет собой многослойную структуру,

включающую связанную, граничную и объемную фазы. При этом физические свойства их различны. Связанная вода обладает повышенной плотностью (при влагосодержании материала 1,64% плотность — $1,74 \text{ г/см}^3$), удельное сопротивление связанной воды очень велико, что объясняется ее пониженной растворяющей способностью. Диэлектрические свойства связанной воды также отличаются от свойств воды в объеме. Хотя единого мнения на этот счет не существует, наиболее распространенным является мнение о частотной независимости диэлектрической проницаемости связанной воды [8].

Температура замерзания граничного слоя понижена по сравнению с объемной водой, вследствие этого при температурах до -10°C некоторая доля воды, содержащейся в пористой системе, остается незамерзшей (рис. 1) [8].

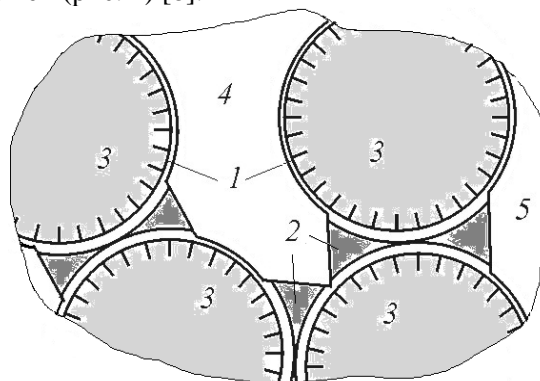


Рис. 1. Элемент структуры промерзшего пористого тела: 1 — незамерзающие пленки влаги; 2 — лед; 3 — частицы пористого тела; 4 — фаза газа; 5 — незамерзающие прослойки влаги

Взаимодействие электромагнитной энергии с молекулами воды в жидкой фазе, содержащейся в поровых пространствах дисперсных систем, приводит к ее частичному отражению и поглощению в растворе. Основными характеристиками взаимодействия ЭМИ с влагосодержащими композиционными материалами являются величина ослабления и отражения электромагнитной энергии, зависящие от количества и свойств поглощающего наполнителя. Таким образом, сравнивая величины ослабления ЭМИ разными образцами, можно анализировать их влагосодержание.

Поглощение энергии электромагнитного излучения диапазона СВЧ связано с релаксационным процессом ориентационной поляризации диполей воды в диапазоне частот до 300 ГГц. Однако при образовании упорядоченной структуры кристаллов льда, молекулы воды теряют свободу вращательных и колебательных движений, вследствие чего поглощение энергии ЭМИ резко снижается.

Целью данной работы является исследование состояния влаги в пористых средах на основе силикагеля в диапазоне температур $-20...+50^\circ\text{C}$ путем получения характеристик взаимодействия влагосодержащих материалов с электромагнитным излучением.

Экспериментальная часть

Объектом проводимых исследований являлся влагосодержащий силикагелевый материал с разным размером фракций. Для понижения точки замерзания влагосодержащего наполнителя в объемной фазе были выбраны водные растворы глицерина и изопропилового спирта, которые широко используются в технике при приготовлении незамерзающих смесей.

Образцы представляли собой радиопрозрачные кюветы из полиэтилена, заполненные влагосодержащим силикагелем, толщина образцов — 3 мм. Исследование ослабления и коэффициента отражения ЭМИ производилось в диапазоне температур $-20...+50^\circ\text{C}$. Контроль температуры осуществлялся ртутным термометром с погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Для измерения ослабления и коэффициента отражения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8...12 ГГц использовался панорамный измеритель КСВН и ослабления Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводных трактов. Калибровка оборудования производилась по стан-

дартной методике, затем образец помещался между фланцами волноводных секций. Результаты измерений приведены на рис.2, 3.

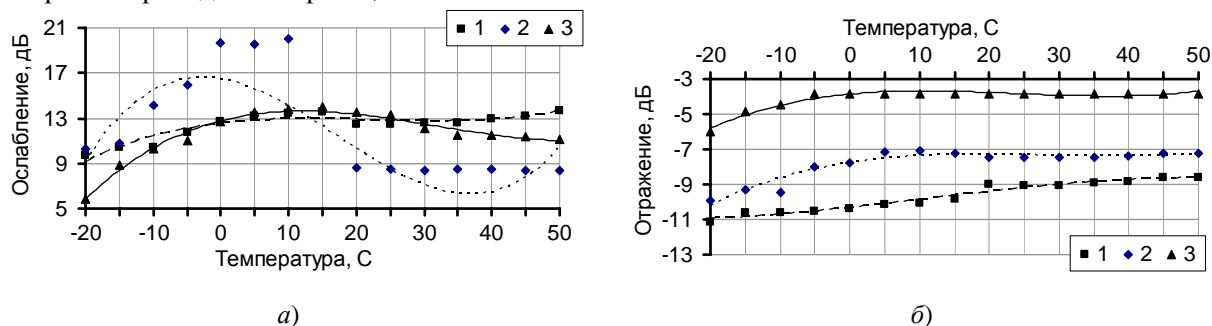


Рис. 2. Температурная зависимость ослабления (а) и отражения (б) ЭМИ влагосодержащим силикагелем с размером фракций 3 мм, с различными влагосодержащими наполнителями: 1 — водный раствор глицерина (50%); 2 — водный раствор изопропилового спирта (50 %); 3 — машинно-вязанное полотно (толщина 1,6 мм), заполненное водным раствором глицерина (1:3)

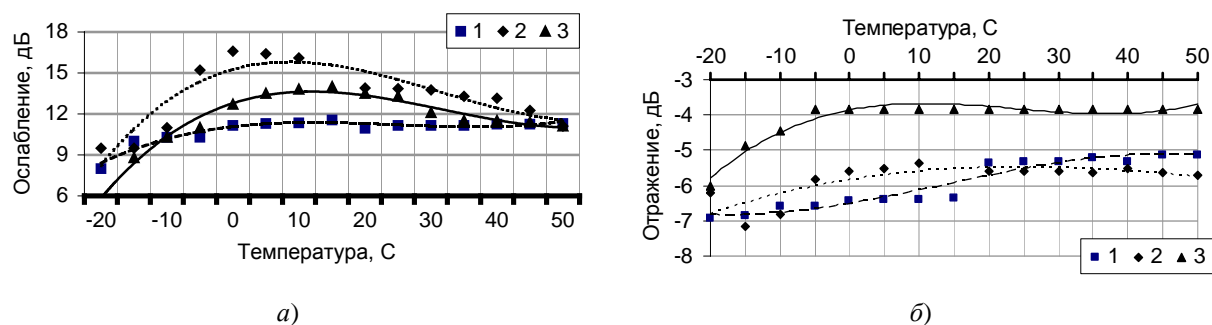


Рис. 3. Температурная зависимость ослабления (а) и отражения (б) ЭМИ влагосодержащим силикагелем с размером фракций 0,5 мм, с различными влагосодержащими наполнителями: 1 — водный раствор глицерина (50%); 2 — водный раствор изопропилового спирта (50 %); 3 — машинно-вязанное полотно, заполненное водным раствором глицерина (1:3)

Результаты и обсуждение

Ослабление ЭМИ силикагелем с размером фракций 3 мм в температурном диапазоне - 20...+50° С составляет 10...19 дБ. Коэффициент отражения образца с водным раствором изопропилового спирта (-9,5...-7,5 дБ) выше, чем образца с водным раствором глицерина (-11...-8,8 дБ), что может быть связано с особенностями распределения органического наполнителя в микропористой ячеистой структуре силикагеля, поскольку изопропиловый спирт и глицерин диэлектрическими свойствами в исследуемом диапазоне не обладают.

Порошкообразный силикагель (с размером фракций 0,5 мм) обеспечивает ослабление ЭМИ 10...12 дБ (раствор глицерина) и 9,2...16 дБ (раствор спирта) при той же толщине образца. Однако коэффициент отражения в этом случае выше и составляет -7...-5 дБ и -6,8...-5,5 дБ для водных растворов глицерина и изопропилового спирта соответственно, что на 2 дБ выше, чем у влагосодержащих матриц из крупнозернистого силикагеля. Меньшее отражение электромагнитного излучения крупнозернистым силикагелем обеспечивается за счет дополнительного рассеяния падающей электромагнитной энергии на сформированных в зернах силикагеля жидкостных объемах с выпуклой формой поверхности. Более высокое влагосодержание машинно-вязанного полотна приводит к увеличению его коэффициента отражения ЭМИ до -6,0...-3,5 дБ вследствие формирования более гладкой поверхности влагосодержащего наполнителя, обращенной к падающему излучению.

Характеристики ослабления и отражения электромагнитного излучения влагосодержащим силикагелем в диапазоне температур $0...+50^{\circ}\text{C}$ носят более равномерный характер, чем в отрицательном диапазоне $-20...0^{\circ}\text{C}$. Вблизи 0°C наблюдается изменение наклона кривых и более выражена зависимость ослабления и коэффициента отражения ЭМИ от температуры. Ослабление ЭМИ снижается с 13 дБ при 0°C до $6...9$ дБ при -20°C для крупнозернистого силикагеля и с 12 дБ до $8...9$ дБ для порошкообразного. Введение в состав раствор изопропилового спирта и глицерина дополнительно препятствует льдообразованию воды в объеме и увеличивает ослабление ЭМИ по сравнению с образцами с водой [9].

Использование в качестве матриц влагосодержащих композиционных материалов пористых сред с развитой поверхностью создает условия для образования многослойной структуры воды и позволяет получать относительно равномерные характеристики ослабления и отражения ЭМИ в температурном диапазоне $-20...+50^{\circ}\text{C}$. На практике это позволит создавать экраны электромагнитного излучения с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Выводы

Ослабление ЭМИ растворосодержащим силикагелем при понижении температуры ниже точки замерзания объемной воды подтверждает существование незамерзающих прослоек связанной воды в приграничных областях у поверхности твердого тела (силикагеля) и на активных центрах растворенного в воде вещества.

INVESTIGATION OF MOISTURE STATES IN POROUS MEDIUMS BASED ON SILICAGEL UNDER LOW-TEMPERATURE TREATMENT

N.V. KOLBUN, FAN N. ZANG, L.M. LYNKOV

Abstract

Application of composite materials, in particular moisture-containing porous mediums, for electromagnetic radiation shielding is considered. Multi-layered structure of water in dispersed systems is described. The results of investigation of moisture-containing silicagel with electromagnetic radiation interaction in the temperature range of $-18...+50^{\circ}\text{C}$ are cited. The results confirm the presence of different states liquid layers in composite materials.

Литература

1. Лыньков Л.М., Богуш В.А., Колбун Н.В. и др. // Доклады БГУИР. 2004. Т. 2, № 5. С. 152–167.
2. ГОСТ 30381-95 ССБТ. Поглотители электромагнитных волн для экранированных камер. Общие технические требования. Мн., 2000. 24 с.
3. Укрянец Е.А., Колбун Н.В. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 4. С. 118–122.
4. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Хижняк А.В., Чембрович В.Е. // Изв. военной академии. 2004. №3 (4). С. 75–77.
5. Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В. Пат. № 1119 ВУ, МПК Н 01Q 17/00. Поглотитель электромагнитного излучения – №и20030142; Заявл. 04.04.2003; Опубл. 15.10.2003 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. 2003. № 4. С. 322.
6. Колбун Н.В., Фан Н. Занг, Лыньков Л.М. и др. // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: Материалы докл. Междунар. науч.-техн. семинара. Минск, 2004. С. 78–84.
7. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С. // Новые технологии изготовления многокристалльных модулей: Материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф., Нарочь, 27 сентября – 1 октября 2004 г. Мн., 2004. С. 132–135.
8. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д. и др. Вода в дисперсных системах. М., 1989 г., 288 с.
9. Kolbun N. // Proceedings of XXVIIIth General Assembly of the International Union of Radio Science in New Delhi, India, 23–29 October 2005 (CD-R).