



**Наталья Викторовна  
Колбун** –

канд. техн. наук, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск).

*Научные интересы:*

технология материалов электронной техники, взаимодействие ЭМИ с различными средами; решение проблем воздействия ЭМИ на биологические объекты.

**Татьяна Александровна  
Пушко** –

аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

*Научные интересы:*

разработки радиопоглощающих материалов для решения проблем информационной безопасности.

**Леонид Михайлович  
Лытчиков** –

доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск).

*Научные интересы:*

разработка новых материалов и устройств с использованием приемов нанотехнологии для защиты информации, радиозащиты.

## Стабильность экранирующих электромагнитное излучение влагосодержащих материалов в условиях развития микроорганизмов

*Н.В. Колбун, Т.А. Пушко, Л.М. Лытчиков*

Показано влияние развития плесневых грибов и бактерий на экранирующие характеристики влагосодержащих материалов в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Приведены оптические микрофотографии микроорганизмов, развивающихся в условиях повышенной влажности.

*Ключевые слова:* плесневые микроорганизмы, экранирование электромагнитного излучения, композиционные материалы.

### Введение

Изделия радиотехники и электроники используются человеком во всех сферах его жизнедеятельности и вытеснить их из обихода уже не представляется возможным. Электромагнитное излучение (ЭМИ) сопутствует функционированию практически всех электронных устройств, создавая в пространстве, окружающем прибор, повышенные уровни электромагнитных полей (ЭМП), а в пространстве рабочего или жилого помещения – сложную по своему спектральному составу электромагнитную обстановку, которая формируется в результате наложения ЭМП от большого числа источников, а также энергии, переотраженной различными металлическими объектами. Это создает проблемы безопасного взаимодействия обслуживающего персонала или пользователей с радиоэлектронными приборами, а также обеспечения электромагнитной совместимости электронных устройств, особенно высокочувствительных, например, применяющихся для точных измерений. Для характеристики общей электромагнитной обстановки, воздействующей на человека, который постоянно (в быту и на работе) использует или находится рядом с электронными устройствами, линиями передачи энергии, радиосвязи и пр., был введен специальный термин «электросмог» – суммарный уровень ЭМП, окружающих человека в обычных, каждодневных условиях его жизнедеятельности, особенно в крупных городах [1].

Одним из методов уменьшения уровня нежелательных ЭМИ радиоэлектронных средств является экранирование, принцип действия которого основан на ограничении распространения электромагнитных волн в определенную область пространства путем рассеяния, переотражения энергии электромагнитных колебаний и преобразования ее в тепловую энергию в экранирующих материалах с резистивными, диэлектрическими или магнитными потерями.

Для снижения доли энергии, отраженной от экрана, применяют радиопоглощающие материалы, механизм взаимодействия которых с ЭМИ основан на создании градиентного перехода от свойств свободного пространства к характеристикам экранирующего материала, создающего потери для распространяющейся в нем электромагнитной энергии, на подавлении отраженных электромагнитных волн в результате взаимокompенсации волн в противофазе, а также создания условий для многочисленных переотражений энергии ЭМИ вблизи поверхности материала или в его объеме.

Наиболее широкие возможности по получению таких экранов и радиопоглотителей представляет технология композиционных материалов. В качестве образующей матрицы могут использоваться пластичные полимерные связующие, керамика, упорядоченные или нетканые волокнистые материалы [2]. Чаще всего основным компонентом, взаимодействующим с ЭМИ в композитах, являются проводящие, металлические или углеродные, а также магнитные включения, в виде порошков или волокон. Для создания гибких конструкций экранов ЭМИ наиболее предпочтительно использование трикотажных полотен. Основные преимущества трикотажной технологии – большая экономия сырья, неприхотливость оборудования к качеству используемых нитей, высокая эластичность и механическая прочность полотен, возможность получения изделий с различными параметрами структуры, а также сложной формы.

Отдельным классом выделяются влагосодержащие конструкции экранов ЭМИ на основе капиллярно-пористых волокнистых и порошкообразных материалов, в которых в качестве поглощающего компонента используется раствор с диэлектрическими и резистивными потерями [4]. Эффективность экранирования ЭМИ материалами на основе машинно-вязанных полотен и нетканых волокнистых материалов толщиной 1,6 мм в диапазоне частот 0,8...115 ГГц достигает 13...40 дБ при величине коэффициента отражения –3...–18 дБ. Механизм взаимодействия ЭМИ с влагосодержащими композиционными материалами обусловлен высокими диэлектрическими потерями жидкости в рассматриваемом диапазоне частот, что приводит к поглощению свыше 50 % энергии падающей электромагнитной волны. Изменением параметров процесса из-

готовления композита достигают варьирования его электромагнитных свойств в широких пределах [5].



### Теоретический анализ

Впервые исследования на большом экспериментальном материале по взаимодействию ЭМП и живых микроорганизмов были проведены ещё в 60-х годах прошлого столетия. Было установлено, что под действием электромагнитных волн изменяется характер жизнедеятельности микроорганизмов: клеточное деление, синтез ферментов, изменение скорости роста и выхода биомассы и т.д. На практике это привело к становлению альтернативного метода лечения заболеваний человека и животных – ММ- или КВЧ-терапии [6].

Вегетативная микробная клетка на 75 – 90 % состоит из воды, и жизнедеятельность большинства микроорганизмов возможна только при наличии в среде определённого количества влаги, которая определяет поступление питательных веществ в клетку и протекание всех биохимических процессов [7]. Вода в клетке находится в «связанном» состоянии, что приводит к изменению ее диэлектрической проницаемости по сравнению с водой в объеме. Поглощая воду, микроорганизмы переводят ее в «связанное состояние», изменяя свойства материала по взаимодействию с ЭМИ.

Эксплуатация материалов в условиях повышенной влажности (обусловленных, например, особенностями климата или производственными процессами) приводит к интенсивному развитию различных видов микроорганизмов – бактерий, грибов, водорослей. Исследованию проблем изменения свойств или разрушения материалов вследствие микробиологической коррозии и защите от нее посвящено большое количество работ [10].

Жизнедеятельность микроорганизмов выражается в биотрансформации сред, выработке продуктов метаболизма, ферментов микробного происхождения, в образовании органических р-комбинантных продуктов [11].

Сухие материалы всегда содержат значительное количество жизнеспособных микроорганизмов. При колебаниях температуры в процессе хранения материала количество водяных паров в воздухе может оказаться выше предела его насыщения, и избыточные водяные пары оседают в



виде капель на поверхности материала, что способствует быстрому развитию находящихся на нём микроорганизмов (в частности, плесневых грибов). При этом вещества, образующиеся в результате действия одних микроорганизмов, могут создавать условия для роста других видов бактерий, грибов и т.д. Так, исследования влияния плесневых грибов на различные виды стеклопластиков показали изменение как механических (прочностных), так и диэлектрических свойств (диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь) [10].

### Экспериментальная часть

Целью данной работы было исследование стабильности экранирующих свойств композиционных влагосодержащих материалов при трансформации жидкой среды на молекулярном уровне, возникающей в результате жизнедеятельности микроорганизмов при долговременной эксплуатации и хранении изделий.

В качестве исследуемых микроорганизмов были выбраны доступные и непатогенные – бактерии, плесневые («пенициллиум», «аспергиллус») и одноклеточные грибки (дрожжи) – представляющие собой низшие одноклеточные организмы, широко распространенные в природе.

В качестве основы для выращивания микроорганизмов использовались машинно-вязанное полотно с поверхностной плотностью 1313 г/м<sup>2</sup> и органический растительный материал на основе клетчатки. Исследовались следующие микроорганизмы: №1 – плесневый грибок «пеницилли-

ум»; №2 – бифидобактерии (водный раствор препарата «бифидумбактерин» (в соотношении 2:5); №3 – дрожжи (водный раствор прессованных дрожжей 1:5). Влагосодержащие образцы герметизировались полиэтиленовыми пленками для замедления испарения влаги.

Бактерии представляют собой низшие одноклеточные организмы, живущие и распространяющиеся в жидкой среде, как правило, прямым делением, каждые 25...30 мин. Основная положительная роль бактерий в природе заключается в минерализации органических остатков. Бифидобактерии – грамположительные анаэробные, не образующие споры, палочковидные, полиморфные бактерии, нередко с бифуркациями на концах.

Плесневые грибки являются разросшимися многоядерными клетками, образующими мицелий, гифы которого имеют вид белого пушистого налёта на органических остатках растительного происхождения (рис. 1, а). Грибки рода «аспергиллус» имеют крупные спорангии, образующиеся на одиночных, простых или ветвящихся спорангиеносцах, у пенициллиума и аспергиллуса плодовые тела имеют вид мелких шариков, образованных из плотно переплетённых гиф мицелия (рис. 1, б). У пенициллиума конидиеносцы многоклеточные и ветвящиеся. На концах разветвлений конидиеносца располагаются стеригмы с цепочками конидий.

Клетки дрожжей состоят из оболочки и протопласта, в котором кроме основных элементов имеются включения запасных питательных веществ. При содержании в среде приблизительно

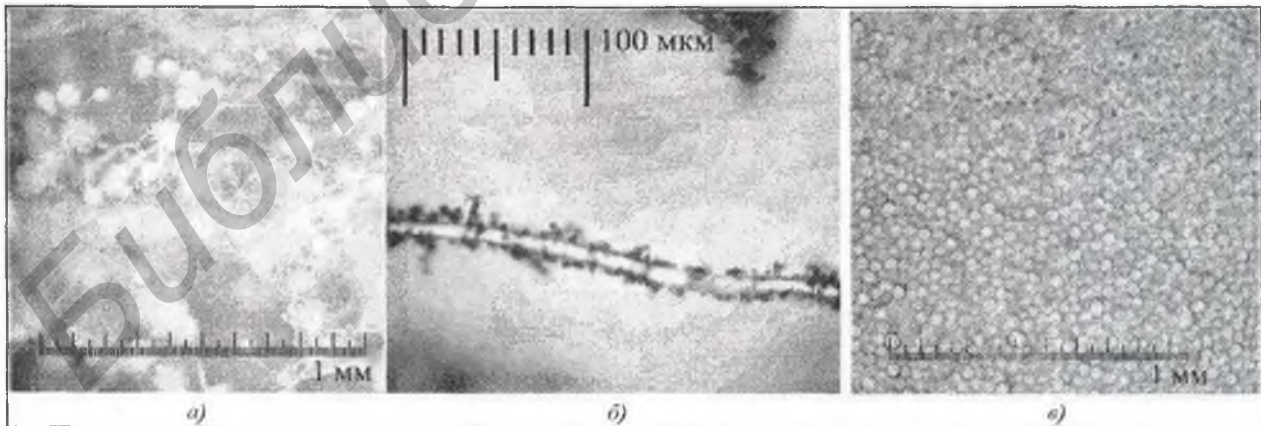


Рис.1. Оптические микрофотографии внешнего вида: а – плесневого грибка «пенициллиума» (*Penicillium*), выращенного на органическом материале, увеличение в 100 раз; б – плесневого грибка «аспергиллуса» (*Aspergillus*), увеличение в 500 раз; в – пекарских дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*), увеличение в 100 раз



40 % глюкозы дрожжи способны сохранять влагу длительное время. По мере роста дрожжевых клеток в них появляются вакуоли (полости, заполненные клеточным соком) (рис. 1, в).

Отрезки машинно-вязанного полотна толщиной 1,6 мм пропитывались водным раствором, а затем на них помещались колонии исследуемых микроорганизмов. Влагосодержание образцов, определенное гравиметрическим методом с использованием прецизионных весов ВЛР-200, составляло 50 – 53 масс. %. В качестве органической питательной среды микроорганизмов была использована клетчатка пшеницы (слоем толщиной 5 мм), пропитанная водным раствором до 66,1 масс. %. Развитие микроорганизмов происходило в течение 7 дней. В результате толщина органической основы с мицелием плесени составила 15 мм; толщина мицелий плесневого грибка – 5 мм над уровнем клетчатки и 10 мм в составе клетчатки.

Для исследования экранирующих характеристик образцов использовались панорамные измерители КСВН и ослабления, работающие по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражённой волн. Измерения проводились в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Калибровка приборов осуществлялась во всём рабочем диапазоне частот по стандартной методике после установки диапазона качания частоты и уровня падающей мощности. Образец зажимался между фланцами волноводов; такой способ принимается эквивалентным использованию измерительной ячейки. Коэффициент отражения ЭМИ оценивался при согласованном тракте и в тракте, нагруженном на металлический отражатель. В первом случае полученное значение отражения электромагнитной энергии определяется в основном отражением волн от передней границы раздела свободное пространство – композит и рассеянием волн на неоднородностях гидродисперсной структуры. Однако экранирующие материалы в основном применяются для защиты устройств, имеющих в своем составе металлические части, что может существенно изменять уровень энергии, переотражаемой обратно в направлении источника. Поэтому важное значение имеет также измерение коэффициента отражения тракта с образцом, нагруженного на металлический отражатель, устанавливаемый за образцом.

Результаты исследования изменения величины ослабления и коэффициента отражения энергии ЭМИ влагосодержащими материалами, содержа-

щими колонии микроорганизмов, представлены на рис. 2 и 3. На рис. 2: 1 – плесневый грибок «пенициллиум»; 2 – бифидобактерии; 3 – дрожжи; 4 – контрольный образец без микроорганизмов.

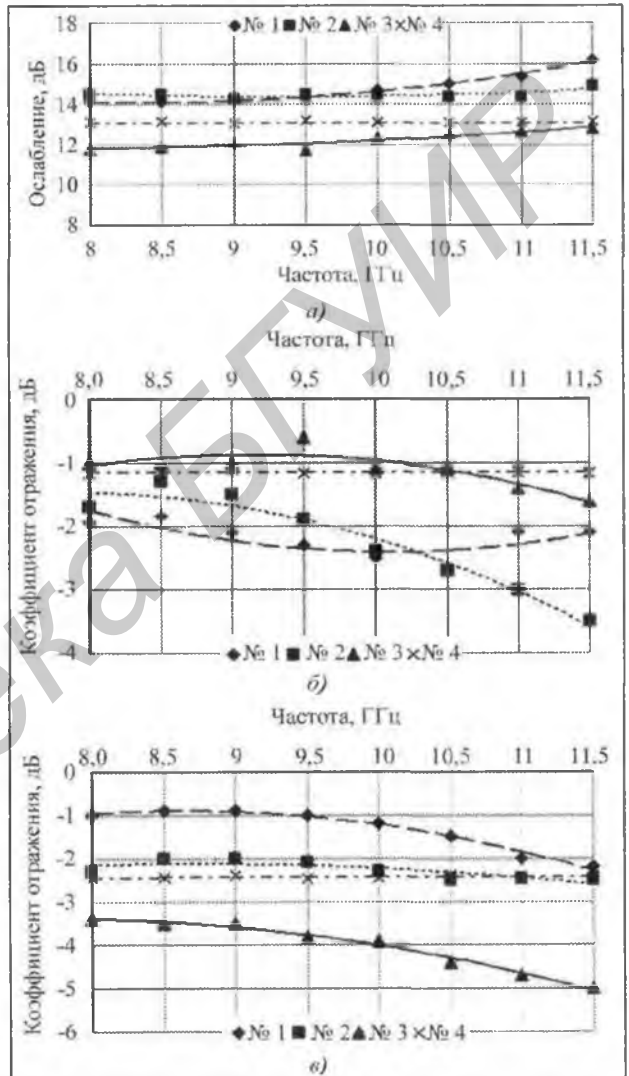


Рис. 2. Частотная зависимость экранирующих характеристик влагосодержащих композиционных материалов, содержащих различные виды микроорганизмов: а – ослабление ЭМИ; б – коэффициент отражения ЭМИ (без металлического отражателя); в – коэффициент отражения ЭМИ (с металлическим отражателем)

### Результаты и обсуждение

Ослабление ЭМИ, создаваемое образцами машинно-вязанного полотна, содержащими плесневые грибки и бактерии, составляет 14...16 дБ. При пропитке капиллярной основы раствором



дрожжей величина ослабления ЭМИ несколько ниже – на уровне 12...13 дБ, что может быть связано с модифицированием структуры воды в составе клеток дрожжей. Исследованные образцы обеспечивают коэффициенты отражения ЭМИ в диапазоне -1...-3,5 дБ. Установка металлического отражателя за исследуемыми образцами приводит к изменению характеристик и величины отражаемой энергии на 1...2 дБ. Общая эффективность подавления ЭМИ при этом увеличивается до 40 дБ.

Величины коэффициентов ослабления и отражения ЭМИ находятся на уровне параметров контрольного образца влажосодержащего машинно-вязанного полотна без микроорганизмов.

Результаты измерений показали, что ослабление энергии ЭМИ контрольным образцом на основе влажосодержащей клетчатки толщиной 5 мм обеспечивает ослабление сигнала порядка 25,5...31,5 дБ, коэффициент отражения ЭМИ составляет -0,8...-1,98 дБ (рис. 3, где 1 – плесневый грибок (толщина 5 мм); 2 – клетчатка, заражённая плесневым грибом (толщина – 15 мм); 3 – контрольный образец без микроорганизмов. Размещение металлического отражателя за исследуемым образцом в видимой степени не изменяет показатели, потому что исследуемый образец имеет достаточно большую толщину; проникающая электромагнитная волна рассеивается и поглощается в толщине образца, а общее отражение двухслойной конструкции с металлическим слоем обуславливается в основном отражением от первой границы раздела композиционный материал–воздух. Ослабление ЭМИ влажосодержащей клетчаткой, заражённой колониями микроорганизмов, составляет 40...50 дБ при толщине 15 мм, что обусловлено большим влажосодержанием и толщиной композиционного материала. Показатели ослабления ЭМИ мицелием плесени толщиной 5 мм, выращенной на клетчатке, составляют примерно 8,25...8,7 дБ. Представленные образцы с плесневым грибом обеспечивают коэффициент отражения ЭМИ в пределах -2,9...-4,6 дБ.

Плесневый мицелий представляет собой ветвистые гифы, содержащие значительную долю внутриклеточной воды. Вследствие его развития в пространстве формируется дисперсная структура воды, диэлектрические свойства которой описываются «связанным» состоянием мо-

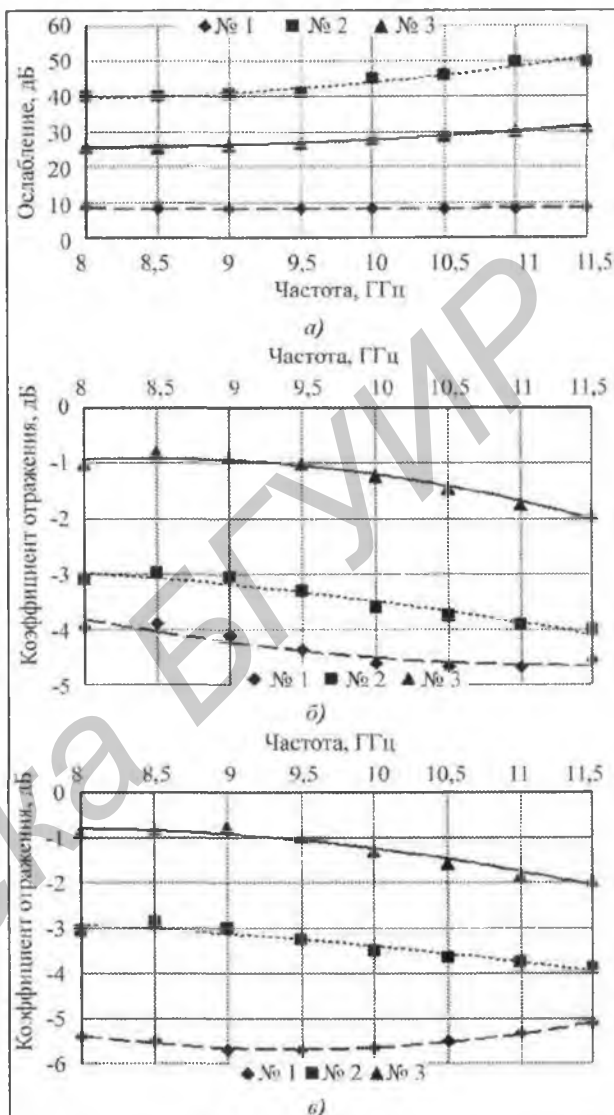


Рис.3. Частотная зависимость экранирующих характеристик органических сред, содержащих различные виды микроорганизмов: а – ослабление ЭМИ; б – коэффициент отражения (без металлического отражателя); в – коэффициент отражения (с металлическим отражателем)

лекул внутри клетки и существенно ниже параметров воды в объеме. В результате улучшается согласование волновых сопротивлений композиционного материала и свободного пространства, и отражение падающего ЭМИ от границы раздела двух сред снижается по сравнению с образцами влажосодержащего органического материала. Кроме того, проникающая в объем композита электромагнитная волна рассеивается на неоднородностях структуры грибного мицелия, что

приводит к дополнительному снижению мощности отраженной энергии. При помещении металлического отражателя за образцом, содержащим плесневый грибок, характеристика коэффициента отражения ЭМИ понижается в среднем на 1 дБ, что может быть связано с влиянием электромагнитных волн, отраженных от передней и задней грани композиционного слоя.

### Заключение

Таким образом, величина ослабления энергии ЭМИ образцами, зараженными микроорганизмами, находится на уровне параметров контрольных влагосодержащих композиционных материалов, не содержащих микроорганизмы. Большое

количество жидкости в композиционных экранирующих материалах остается в свободном состоянии, обеспечивая подавление электромагнитной мощности порядка 14 дБ при толщине матрицы 1,6 мм и до 50 дБ при увеличении толщины композиционного материала до 15 мм в диапазоне частот 8...11,5 ГГц. Развитие плесневого грибка приводит к снижению коэффициента отражения ЭМИ (на 1...2,5 дБ в диапазоне частот 8...11,5 ГГц) вследствие рассеяния падающей электромагнитной энергии на дисперсной жидкостной структуре мицелля. Это позволяет сделать вывод об относительной стабильности экранирующих свойств влагосодержащих экранов ЭМИ в условиях развития в их объеме и на поверхности микроорганизмов.



### Литература

1. Борботько Г.В., Колбун Н.В., Лышков Л.М. Электромагнитные излучения средств телекоммуникаций. Методы защиты, безопасность организма человека / Под ред. Л.М. Лышкова. - Мн.: Тонпик, 2004.
2. Казанцева Н.Е., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А. Перспективные материалы для поглотителей ЭМВ СВЧ диапазона. Радиотехника и электроника, 2003, т. 48, № 2, с. 196 - 209.
3. Лышков Л.М., Богун В.А., Глыбин В.П. и др. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Под ред. Л.М. Лышкова. - Мн., 2000.
4. Лышков Л.М., Богун В.А., Колбун Н.В. и др. Новые материалы для экранов электромагнитного излучения. Доклады БГУИР, 2004, т. 2, № 5, с. 152 - 167.
5. Богун В.А., Зубаревич О.Н., Колбун Н.В. и др. Влияние природы растворных наполнителей на характеристики гибких радиопоглощающих покрытий. - Материалы 15-й Междунар. Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005). Севастополь, 12-16 сент. 2005 г. - Севастополь: «Вебер», 2005, с. 637 - 639.
6. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Особенности медикобиологического применения миллиметровых волн. - М.: ИРЭ РАН, 1994.
7. Роуз Э. Химическая микробиология: Пер. с англ. - М.: Мир, 1971.
8. Бланк Р., Затула В. Микробиологическая коррозия: Пер. с чешек. - М.: Химия, 1965.
9. Красильников Л.П. Микробиологический словарь-справочник. - Минск, Беларусь, 1986.
10. Мудрецова-Висс К.А. Микробиология. - М.: Экономика, 1977.

Поступила 30 мая 2008 г.

## Stability of EMR Shielding Effectiveness of Liquid-Containing Materials under Microorganisms Activity Influence

© N.V. Kolbun, E.A. Pulko, L.M. Lynkov

Electromagnetic radiation (EMR) shielding is one of the most efficient techniques which are used to reduce the extraneous electromagnetic field intensity of radio electronic equipment. Its basic principle is preventing electromagnetic waves from traveling into a certain space region by scattering, reflection of electromagnetic energy and its transformation into heat energy within the shielding materials possessing resistive, dielectric or magnetic losses.



Technology of composite materials enables such shields and radioabsorbers manufacturing with a wide range of properties.

A separate group of such materials include liquid-containing EMR shields based upon porous fiber and powder matrixes which absorb a solution with dielectric and resistive losses to attenuate the EMR. The EMR shielding efficiency of such materials 1.6 mm in thickness is about 13...40 dB in the frequency range 0.8...115 GHz while the reflectivity factor ranges -3...-18 dB. Variation of technological parameters of manufacturing process enables composite's electromagnetic properties obtaining in a wide range.

Materials utilization under high humidity conditions (caused by climate features or manufacturing processes) results in intensification of microorganisms activity – such as bacteria, fungi etc. This can cause materials mechanical or dielectric properties deterioration.

This work was aimed at investigation of the stability of composite liquid-containing material's electromagnetic properties under liquid medium transformation on molecular level resulting from microorganisms' activity during long-term utilization or storage of product.

Optical microphotographs of microorganisms appearing under high humidity conditions are given. Mould's mycelium has branchy hyphae structure containing a significant volume of intracellular water. Its growth results in forming of spatial disperse water structure having dielectric properties which are defined by the bound water state and are significantly lower than those of the volume water. As a result the matching of wave impedance of the material to free space impedance is enhanced and the EMR reflection from the mediums' interface lowers.

Moulds and bacterium activity influence on shielding effectiveness of liquid-containing materials is studied.

The EMR energy attenuation produced by samples, which contain microorganisms, corresponds to the level of a control sample. Total electromagnetic radiation shielding efficiency provided by liquid-containing composite materials under microorganisms' activity influence does not change significantly. High liquid content of composite shielding materials ensures 14 dB suppression of EMR in the frequency range 8...11.5 GHz at 1.6 mm sample thickness and up to 50 dB if the thickness of the composite materials is increased up to 15 mm. The EMR reflection by liquid-containing materials under microorganisms activity is reduced by 1...2.5 dB ensured by liquid dispersed structure of mycelium forming resulting in composite surface scattering property enhance. It leads to a conclusion that EMR shielding properties of liquid-containing composite materials are relatively stable under the microorganisms' activity on their surface and within the porous space.

*Keys words:* moulds, electromagnetic radiation shielding, composite materials.