

УДК 621.37, 537.874.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ГИБКИХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИХ ЭКРАНИРУЮЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ: I. РАСТВОРЫ КИСЛОТ И СОЛЕЙ КАЛИЯ

С.В. ГАЛУШКА, АЛИ АЛЬХАМУНИ МУХАМЕД, Н.В. НАСОНОВА, А.А. ПОЗНЯК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 15 мая 2012

Исследованы экранирующие характеристик и гибких радиопоглощающих материалов, представляющих собой текстильную матрицу, пропитанную водными растворами органических кислот и борной кислоты и солей калия разной концентрации в диапазонах частот 8-11 и 27-36 ГГц. Разбавленные (0,1 М) растворы кислот и солей по своим свойствам слабо отличаются от воды; т. е. на подавление ЭМИ большое влияние оказывает растворитель (дистиллированная вода), который обладает высоким поглощением ЭМИ. Наименьший коэффициент передачи обеспечивает образец с 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия – до минус 17,8 дБ в диапазоне 8-11 ГГц и коэффициентом передачи до минус 31 дБ в диапазоне 27-36 ГГц за счет повышенной доли отражаемой энергии (при коэффициенте отражения до минус 2,7 дБ).

Ключевые слова: экранирование электромагнитного излучения, эффективность, поглощение, отражение, растворные наполнители, текстильная матрица, гибкие экраны, растворы солей, растворы кислот.

Введение

Неизбежность воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) на население и окружающую живую природу стало данью современному техническому прогрессу и все более широкому применению телевидения и радиовещания, радиосвязи и радиолокации, использования сверхвысокочастотных (СВЧ) излучающих приборов и технологий и т.п. В результате жизнедеятельности человечества уровень ЭМИ возрастает на несколько порядков по сравнению с естественным фоном. Повышенные уровни электромагнитного поля (ЭМП) усложняют функционирование маломощного высокоточного измерительного оборудования, обостряют проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (РЭС) и защиты информации, оказывают отрицательное влияние на организм человека и биологические объекты.

У человека наиболее чувствительными к воздействию электромагнитных полей являются нервная, сердечно-сосудистая, репродуктивная системы, мозг. Электромагнитные поля вызывают изменения кровотока, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения. Самые опасные поля – это поля СВЧ-диапазона. Сантиметровые и миллиметровые волны действуют на кожу, а дециметровые, проникая на глубину 10 – 15 см, уже напрямую воздействуют на внутренние органы.

Экранирование – наиболее эффективный способ защиты. Под экранированием в общем случае понимается как защита объектов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. В некоторых случаях для защиты невозможно применить экран в виде корпуса или пластины, тогда используют гибкие экраны. Особенно актуальна проблема создания гибких, мобиль-

ных, воздухопроницаемых, технологичных и дешевых материалов, обеспечивающих достаточную степень подавления ЭМИ в широком диапазоне частот.

Гибкие электромагнитные экраны находят широкое применение не только для «классических» целей подавления нежелательных излучений электронной техники, а также актуальны и в других областях, таких как защита живых организмов от вредного воздействия ЭМИ, создание одежды и накидок специального назначения, подавление электромагнитного канала утечки информации, снижение радиолокационной заметности объектов и защита устройств обработки информации от электромагнитного воздействия.

Например, основным средством скрытия наземных объектов от обнаружения радиолокационной техникой является установка маскирующих радиопоглощающих материалов, позволяющих преобразовать отражаемый от металлических поверхностей и объектов сложной формы сигнал в сигнал с другими характеристиками, близкими к фону окружающей среды, что позволяет снизить дальность обнаружения подвижных и неподвижных радиолокационных целей в широком диапазоне частот. Различия в характеристиках электромагнитных сигналов, отраженных от объектов, позволяют сделать выводы об их природе, структуре, зачастую и составе на основе анализа радиолокационного портрета некоторой области пространства [1].

Одним из перспективных направлений является создание экранов на основе гибких полимерных материалов с различными наполнителями. Но, несмотря на актуальность проблемы, эта область изучена слабо, а объем экспериментальных данных по электромагнитным характеристикам и физическим свойствам ограничен. На сегодняшний день крайне мало разработано тонких радиопоглощающих материалов и экранов ЭМИ, обладающих хорошей гибкостью, приемлемыми электромагнитными характеристиками при небольшом весе и толщине. Все это обусловило необходимость проведения исследований в этой области. В то же время, в работах [2, 3] предложено создавать экраны ЭМИ на основе капиллярно-пористых матриц, внутреннее поровое пространство которых заполняется растворами электролитов, что обуславливает их электрофизические, а следовательно и экранирующие характеристики. В развитие этих предложений и осуществлено предлагаемое исследование.

Целью работы является получение новых экспериментальных данных о влиянии природы и концентрации растворов различных электролитов, используемых для пропитки капиллярно-пористых матриц гибких экранов ЭМИ на текстильной основе, на их экранирующие характеристики в СВЧ диапазоне и их анализ.

Методика

Механизмы взаимодействия ЭМИ с материалами рассмотрены в [4], там же приводится обоснование использования текстильных полотен в качестве капиллярно-пористых матриц для создания экранов ЭМИ, кратко характеризуются свойства использованного полотна, а также методики приготовления образцов ткани для последующей пропитки и проведения измерений.

Отличие от экспериментов и их результатов, обсуждавшихся ранее [4, 5] в том, что в данной работе в качестве наполнителя капиллярно-пористой матрицы использовались водные растворы солей и кислот без каких-либо иных добавок, а диапазон частот был расширен и, наряду с исследованиями радиопоглощающих и экранирующих характеристик в частотном диапазоне, были исследованы характеристики и в диапазоне 27-36 ГГц. Для проведения измерений в диапазоне 8-11 ГГц были использованы индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67 и генератор качающейся частоты ГКЧ-61, а в диапазоне 27-36 ГГц – измеритель КСВН панорамный Р2-65 (с ГКЧ).

Рассмотрим кратко методику приготовления растворов для создания влагонаполненных экранов ЭМИ на текстильной основе. В зависимости от необходимой концентрации пропиточного раствора, рассчитывали массу кислоты (соли) для приготовления раствора электролита объемом 250 мл, достаточного для изготовления большого количества экспериментальных образцов, исходя из формулы

$$m = C_M \cdot M \cdot 1000 / V,$$

где m – необходимая масса вещества, M – молярная масса вещества, V – объем раствора, равный 250 мл, C_M – молярная концентрация раствора.

С помощью технических весов с точностью до 10^{-2} г взвешивали рассчитанную массу вещества, которую растворяли в дистиллированной воде, доводя объем раствора до метки в мерной колбе 2-го кл. точности. Процесс растворения для разных веществ и для веществ разной концентрации протекал с различной скоростью, поэтому медленно растворяющиеся соединения приходилось несколько подогревать.

Для пропитки матриц использовали дистиллированную воду, 0,1 М растворы сульфосалициловой ($C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$), щавелевой ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$), малоновой ($C_3H_4O_4$), винной ($C_4H_6O_6 \cdot H_2O$), лимонной ($C_6H_8O_7 \cdot H_2O$) и борной (H_3BO_3) кислот; 0,1 и 1 М растворы хлорида калия (KCl), гексацианоферрата (III) калия ($K_3[Fe(CN)_6]$), 0,1 и 0,4 М растворы бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$). Растворы кислот более высокой концентрации не использовали для того, чтобы не вызвать возможного разрушения синтетической нити, обусловленного гидролизом полимера, борная кислота не образует водных растворов высокой концентрации, 0,4 М раствор бихромата калия в условиях, близких к стандартным, также близок к насыщению.

Для расчета объема пропиточной жидкости, вводимой в капиллярно-пористую текстильную матрицу, использовали следующую формулу:

$$v = m_0 \cdot v_{\max},$$

где v – объем вводимого растворного наполнителя, мл, m_0 – масса образца, г, v_{\max} – удельное влагопоглощение полотна, равное 1,667 мл/г.

С помощью мерной пипетки 2-го кл. точности набирали рассчитанный объем пропиточной жидкости и вводили в подготовленную текстильную матрицу. В остальном методика приготовления экспериментальных образцов идентична изложенной в [4]

Результаты и их обсуждение

Растворы кислот

Как уже было сказано выше, для пропитки текстильных матриц использовали 0,1 М растворы сульфосалициловой (ССК), щавелевой (ЩК), малоновой (МК), винной (ВК), лимонной (ЛК) и борной кислот (БК). Поскольку вода сама по себе обладает радиопоглощающими характеристиками, а ослабление энергии электромагнитной волны влагосодержащими матрицами зависит от коэффициента их влагосодержания [6], то в качестве образца сравнения для раствородержащих матриц были приготовлены экспериментальные образцы, пропитанные дистиллированной водой (H_2O дист.).

Экспериментальные результаты измерения коэффициентов отражения и передачи материалов, содержащих водные растворы кислот, в частотных диапазонах 8-11 ГГц и 27-36 ГГц в различных частотных диапазонах показаны на рис. 1. Анализируя представленные частотные зависимости, можно сделать вывод о том, что коэффициент передачи в диапазоне 8-11 ГГц увеличивается с ростом частоты, а в диапазоне частот 27-36 ГГц с увеличением частоты падает; коэффициент отражения в обоих диапазонах проявляет слабую (в пределах возможной погрешности эксперимента) зависимость.

В диапазоне от 8 до 11 ГГц в качестве радиопоглощающего экрана наилучшим из рассмотренных является образец, пропитанный 0,1 М раствором ССК (S11 до минус 4,6 дБ, S21 до минус 14,4 дБ). Однако разница между свойствами гибких экранов на основе волокнистых матриц, пропитанных дистиллированной водой и разбавленными (0,1 М) растворами кислот невелика (в пределах 8 %), что объясняется доминирующим влиянием растворителя, обладающим высоким коэффициентом подавления ЭМИ (см. рис. 1,а,б).

В диапазоне 27-36 ГГц текстильные матрицы, пропитанные растворами кислот, имеют значительно большее отражение и меньший коэффициент передачи, чем водонаполненный образец, что, по-видимому, связано с более высокой электропроводностью полученных образцов, обусловленной электролитической диссоциацией и появлением в растворном наполнителе гидратированных ионов водорода, обладающих высокой подвижностью. Здесь наименьший коэффициент передачи ЭМИ показали текстильные матрицы, пропитанные ССК и ЛК (S21 до минус 32 дБ) (см. рис. 1,в,г).

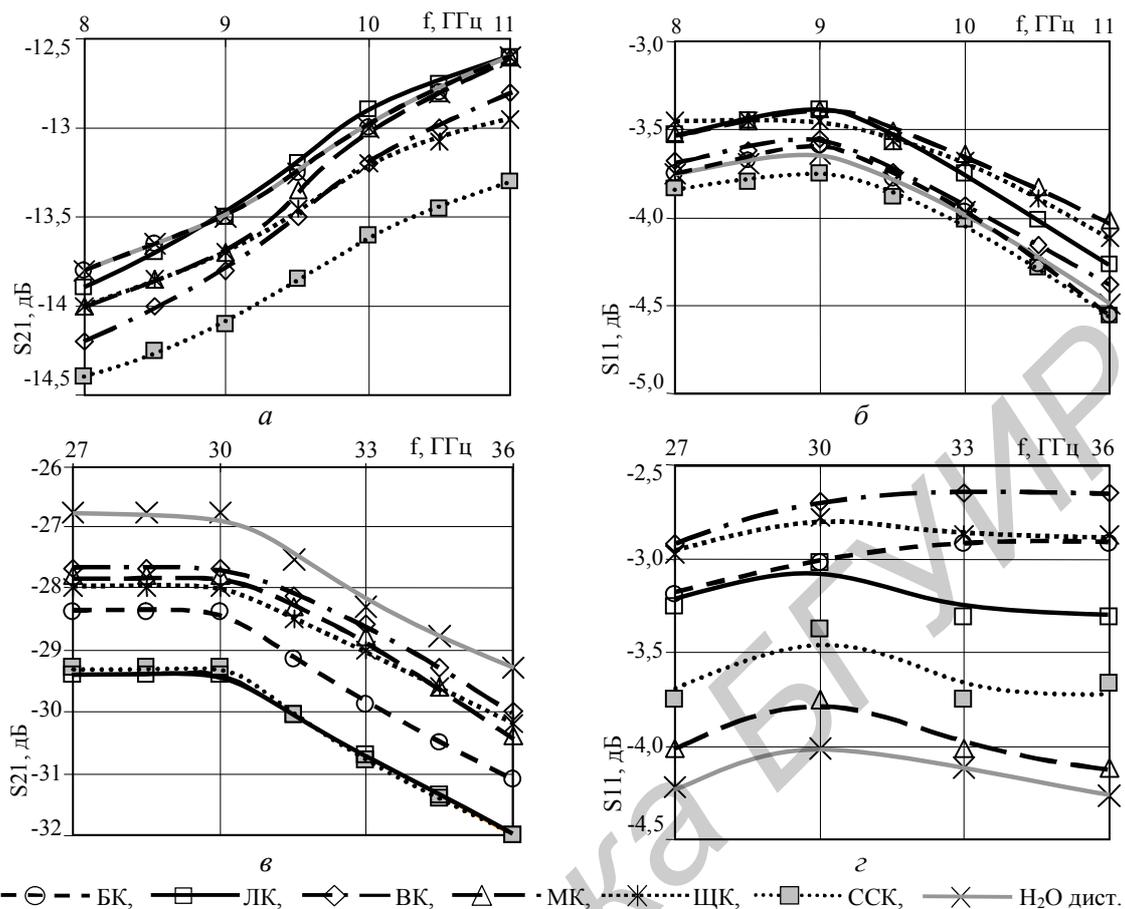


Рис. 1. Зависимость коэффициентов передачи (*a*, *v*) и отражения (*б*, *z*) от частоты для образцов, пропитанных водными растворами кислот

Растворы солей калия

Для пропитки текстильных матриц использовали водные 1,0 М и 0,1 М растворы хлорида калия; 0,4 М и 0,1 М растворы бихромата калия; 1,0 М и 0,1 М растворы гексацианоферрата (III) калия.

Полученные характеристики коэффициентов отражения и передачи для образцов с соевыми наполнителями в частотных диапазонах 8-11 ГГц и 27-36 ГГц отражены на графиках рис. 2, из которых видно, что в диапазоне от 8 до 11 ГГц коэффициент передачи (S_{21}) всех образцов, наполненных растворами солей калия, меньше, чем образца сравнения. При этом замечено, что коэффициент передачи снижается с ростом концентрации раствора (см. рис. 2, *a*). Из вышесказанного следует, что добавление в дистиллированную воду солей калия снижает коэффициент передачи ЭМИ при использовании этих растворов в качестве наполнителей гибких текстильных экранов.

Коэффициент отражения (S_{11}) исследуемых образцов в этом диапазоне частот немного выше по сравнению с водонаполненным, за исключением текстильной матрицы, пропитанной 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$. Этот образец показал значительно более хорошие радиопоглощающие и ослабляющие свойства, чем образец сравнения. Значение коэффициента передачи на 31 % меньше, чем образца, пропитанного дистиллированной водой, при равных коэффициентах отражения (S_{21} до минус 17,8 дБ, S_{11} до минус 4,4 дБ). Концентрация растворов на коэффициент отражения влияет слабо, за исключением гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$, более концентрированный раствор которого дает на 0,6 дБ меньший коэффициент отражения (рис. 2, *б*). Следует отметить, что исследованные материалы имеют лучшие характеристики по сравнению с аналогичными по толщине экранами из трикотажных полотен с металлическими нитями. У последних в диапазоне 8-12 ГГц коэффициент передачи достигает только минус 9 дБ при коэффициенте отражения до минус 6 дБ [7, с. 280]).

На более высоких частотах (26-37 ГГц) разницы между коэффициентами передачи более и менее концентрированных растворов практически не наблюдается. Минимальный коэффициент передачи имеет образец, пропитанный 1 М раствором гексацианоферрата (III) калия $K_3[Fe(CN)_6]$ (S_{21} до минус 31 дБ). В качестве поглощающего ЭМИ материала в этом диапазоне лучшим оказался водонаполненный образец, т.к. материалы с растворами солей калия имеют значительно большее отражение. Причем, как и следовало ожидать, чем больше концентрация раствора, тем больше коэффициент отражения имеют исследованные образцы, поскольку отражение зависит от электропроводности, а электропроводность растворов электролитов возрастает с увеличением их концентрации.

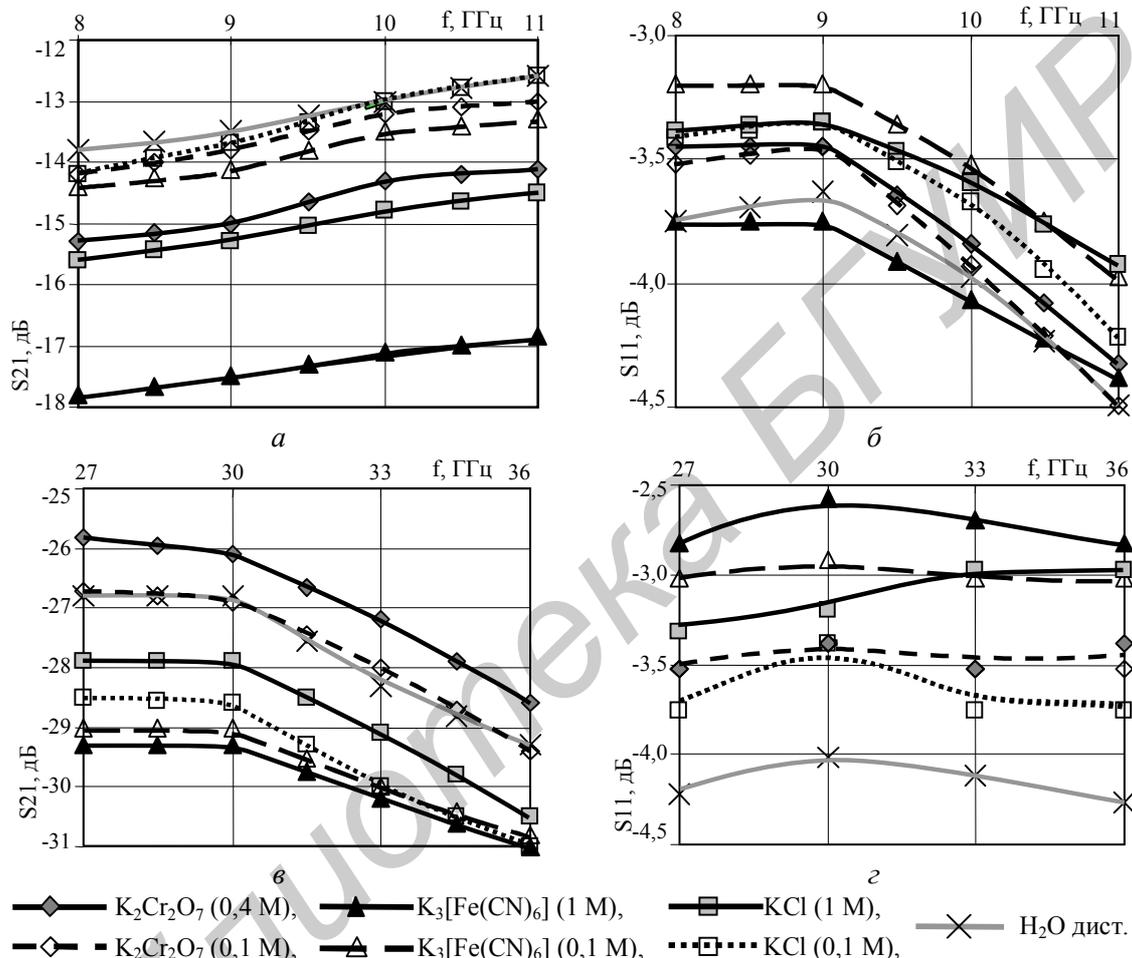


Рис. 2 Зависимость коэффициентов передачи (а, в) и отражения (б, г) от частоты для образцов с растворами различных солей калия

Заключение

В результате выполнения измерений и анализа их результатов можно сформулировать следующие выводы: разбавленные (0,1 М) растворы кислот и солей по своим свойствам слабо отличаются от воды; т.е. на подавление ЭМИ большое влияние оказывает растворитель (дистиллированная вода), который обладает высоким поглощением ЭМИ.

Далее приведены самые эффективные из исследованных гибкие экраны ЭМИ на основе полиакрилонитрильного полотна толщиной 2 мм с различными наполнителями.

1. Материалы, поглощающие ЭМИ:

- наполнитель – 1 М раствор гексацианоферрата (III) калия, коэффициент передачи до минус 17,8 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,4 дБ в диапазоне 8-11 ГГц;

- в диапазоне частот 27-36 ГГц наилучшим радиопоглотителем является образец, пропитанный дистиллированной водой, коэффициент передачи до минус 29,3 дБ при коэффициенте отражения до минус 4,3 дБ.

2. Материалы, ослабляющие ЭМИ:

- наполнитель – 1 М раствор гексацианоферрата (III) калия, коэффициент передачи до минус 17,8 дБ в диапазоне 8-11 ГГц, до минус 31 дБ в диапазоне 27-36 ГГц.

В работе удалось достичь высоких показателей экранирования ЭМИ гибкими и тонкими материалами, которые по сравнению с аналогичными по толщине экранами из трикотажных полотен с металлическими нитями имеют преимущество в поглощении ЭМИ, имеют меньшую удельную массу, а также значительно проще и дешевле в изготовлении, что обуславливает технико-экономическую эффективность их внедрения.

Полученные данные необходимы для дальнейших исследований в области экранирования. Также эти результаты могут использоваться для изготовления гибких электромагнитных экранов, применяемых в различных сферах:

- в военной области для снижения радиолокационной заметности объектов и повышения их помехозащищенности;
- в области экологической защиты живых организмов от вредного воздействия ЭМИ путем создания специальной одежды, накидок, других средств индивидуальной защиты;
- в области защиты информации для подавления электромагнитного канала утечки информации;
- для защиты устройств обработки и хранения информации от воздействия ЭМИ;
- в измерительной и контрольной аппаратуре;
- в других областях науки и техники.

INFLUENCE OF NATURE AND CONCENTRATION OF VARIOUS FILLERS FOR FLEXIBLE EMR SHIELDS UPON THEIR SHIELDING CHARACTERISTICS IN SHF BAND: I. SOLUTIONS OF ACIDS AND POTASSIUM SALTS

S.V. HALUSHKA, ALI ALHAMRUNI MUHAMED, N.V. NASONOVA, A.A. POZNYAK

Abstract

The effectiveness characteristics of flexible shielding materials based on textile matrixes impregnated with aqueous solutions of organic acids, boric acid and potassium salts of various concentration in the frequency bands 8-11 и 27-36 GHz are studied. Diluted solutions (0,1 M) of acids and salts slightly differ from distilled water as the EMR suppression is produced due to high dielectric losses of water. The smallest transmission coefficient was obtained for the sample with a 1 M solution of potassium ferricyanide (III) – down to minus 17,8 dB in the frequency band of 8-11 GHz and down to minus 31 dB in the frequency band of 27-36 GHz because of its high reflective properties.

Список литературы

1. *Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М. и др.* Поглотители электромагнитного излучения. Применение в вооруженных силах: монография. Минск, 2006.
2. *Лыньков Л.М., Богуш В.А., Колбун Н.В. и др.* // Докл. БГУИР. 2004. Т. 2, №5. С. 152-167.
3. *Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Борботько Т.В. и др.* // Вестник ПГУ. 2004. №12. С. 30-34.
4. *Головатая С.В., Ковальчук Н.В., Насонова Н.В. и др.* // Докл. БГУИР. 2010. №8(54). С. 71-77.
5. *Ковальчук Н.В., Насонова Н.В., Мухамед Али Альхамруни и др.* // Докл. БГУИР. 2011. №8(62). С. 27-33.
6. *Колбун Н.В., Лыньков Л.М., Терех И.С.* // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. матер. III МНТК. В 2-х томах. Т. 1. – Новополоцк. 2004. С. 65-67.
7. *Богуш В.А., Борботько Т.В., Гусинский А.В. и др.* Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. Минск, 2003.