



# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов  
XVII Международной конференции студентов, аспирантов  
и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 21 – 24 апреля 2020 г.

**Том 7. IT - технологии и электроника**

# PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Abstracts  
XVII International Conference of Students  
and Young Scientists

RUSSIA, TOMSK, April 21 – 24, 2020

**Volume 7. IT - technologies and Electronics**



Национальный  
исследовательский  
Томский  
государственный  
университет



MINISTRY OF SCIENCE AND EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

# **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

Abstracts

XVII International Conference of students, graduate students  
and young scientists

**April 21–24, 2020**

**Russia, Tomsk**

**Volume 7. Information Technologies and Electronics**

Tomsk

Tomsk State University Publishing House  
control system and radioelectronics

2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XVII Международной конференции студентов, аспирантов  
и молодых ученых

**21–24 апреля 2020 г.**

**Россия, Томск**

**Том 7. IT-технологии и электроника**

Томск  
Издательство Томского государственного университета  
систем управления и радиоэлектроники  
2020

УДК 501:004 (063)  
ББК 72:32.81л0  
П27

*Редакционная коллегия:*

И. А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент;  
Г. А. Воронова, кандидат химических наук, доцент;  
С. А. Поробова

**Перспективы развития фундаментальных наук** : сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 21–24 апреля 2020 г., Россия, Томск. В 7 т. Т. 7. IT-технологии и электроника / Нац. исслед. Том. политехн. ун-т, Нац. исслед. Том. гос. ун-т, Том. гос. архитектурно-строит. ун-т, Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, Том. нац. исслед. мед. центр РАН ; под ред. И.А. Курзиной, Г.А. Вороновой. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2020. – 143, [3] с.

ISBN 978-5-86889-871-6 (т. 7)

ISBN 978-5-86889-864-8

Сборник содержит труды участников XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук», представленные на секции «IT-технологии и электроника».

Для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей, специализирующихся в области интеллектуальных систем управления, автоматизированных систем обработки информации и управления, информационной безопасности, наноэлектроники, получения и исследования наноматериалов, оптоэлектроники и нанофотоники, плазменной эмиссионной электроники, интеллектуальной силовой электроники, СВЧ-электроники, систем радиолокации, телевидения, радиосвязи, радиометрии и распространения волн радиочастотного и акустического диапазонов, а также импульсных и радиочастотных измерениях.

УДК 501:004 (063)  
ББК 72:32.81л0

Научное издание  
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**  
Сборник научных трудов XVII Международной конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых

Подписано в печать 15.06.20. Формат 60x84/8.

Усл. печ. л. 16,97. Тираж 100. Заказ 129.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018.

ISBN 978-5-86889-871-6 (т. 7)  
ISBN 978-5-86889-864-8

**СОДЕРЖАНИЕ**

ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF CYSTIC FIBROSIS OF THE LUNGS WITH IMPROVED DEEP LEARNING TECHNIQUES <b>N.J. Francis, N.S. Francis, M. Saqib</b>	8
BRONCHOPULMONARY SEGMENTATION OF THE LUNGS BY USING TERNARY NET WEIGHTS IN MASK-R NEURAL NETWORK <b>N.S. Francis, N.J. Francis, M. Saqib</b>	11
ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА ДИПОЛЬНОГО ТИПА С КОНЦЕВЫМ ПИТАНИЕМ <b>С.А. Алексейцев</b>	14
COMPARISON OF QUASISTATIC AND ELECTRODYNAMIC ESTIMATIONS OF THE RADIATED EMISSION FROM TWO COUPLED WIRES OVER A GROUND PLANE <b>Alhaj hasan Adnan</b>	17
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК FLIP-CHIP СВЕТОДИОДОВ <b>Н.К. Афанасьев, А.А. Томашевич</b>	20
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА КОМБИНАЦИЕЙ АЛГОРИТМОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОИСКА И ПРЫГАЮЩИХ ЛЯГУШЕК <b>М.Б. Бардамова</b>	23
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ, ИНДУЦИРОВАННЫХ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАНАЛЬНЫХ ВОЛНОВОДОВ В ПОВЕРХНОСТНО ЛЕГИРОВАННОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ <b>А.Д. Безпальный</b>	26
РАСПОЗНАВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРОВ МЕТОДОМ ВИАЛЫ-ДЖОНСА <b>С.И. Беляев</b>	29
ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ НА ОСНОВЕ ИОННО-ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ С ВЫВОДОМ ПУЧКА В АТМОСФЕРУ <b>С.Ю. Дорошкевич</b>	32
МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ОТ УГРОЗ В КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ <b>А.С. Дыхова, Д.Ю. Попова, А.К. Новохрестов</b>	35
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НС ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОРОШКАХ НЕЛИНЕЙНЫХ КРИСТАЛЛОВ СКАНДОБОРАТОВ <b>А.Я. Жамус, Д.М. Ежов, А.А. Горевячева</b>	38
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ N-НОРМ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТРОЙСТВА С ОДНОКРАТНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ <b>А.В. Жечева, Е.С. Жечев</b>	41
ПАРАМЕТРЫ ПУЧКОВОЙ ПЛАЗМЫ, СОЗДАВАЕМОЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ СРЕДНЕГО ВАКУУМА <b>А.А. Зенин, Е.М. Сорокина</b>	44
АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <b>А.А. Иванов, А.В. Демаков</b>	47
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕИДЕАЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УЗЛОВ ВХОДНОГО БЛОКА ИЗМЕРИТЕЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ <b>М.А. Канина</b>	50
СБОР ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ РАДИОСИСТЕМЫ <b>М.М. Кануж</b>	53
ПОТЕНЦИАЛ ИЗОЛИРОВАННОЙ МИШЕНИ, ОБЛУЧАЕМОЙ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В СРЕДНЕМ ВАКУУМЕ, ПРИ НАЛИЧИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА ВБЛИЗИ МИШЕНИ <b>К.И. Карпов, Д.Б. Золотухин</b>	56

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЖАЛОБ ПАЦИЕНТОВ ИЗ ДОКУМЕНТА «ОСМОТР ЛЕЧАЩИМ ВРАЧОМ» <b>Е.В. Кашеева</b>	59
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ АРХИТЕКТУР ДЛЯ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ЕГО ПОДПИСИ <b>А.А. Коновалов, Б.С. Лодонова, Я.А. Усольцев</b>	62
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ФОРМЫ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА ПО ВИДЕОПОТОКУ <b>А.В. Куртукова, Л.С. Шилов, А.М. Федотова</b>	65
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ОТЗЫВОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ <b>Н.С. Мамеев</b>	68
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ECLIPSE THEIA ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ЯЗЫКА REFLEX <b>К.В. Марченко</b>	71
ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ $Al_2O_3$ -Ti КОМПОЗИТА НА ВОЗМОЖНОСТЬ СПЕКАНИЯ ЕГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫМ МЕТОДОМ В ФОРВАКУУМЕ <b>Г.Ф. Марчук, В.Т. Чан</b>	74
АНАЛИЗ ЗАДЕРЖЕК ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ КАБЕЛЬ – ПЛАТА С МОДАЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ <b>А.В. Медведев</b>	78
АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ ОТЧЕТОВ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЕКЛАМНЫХ КАМПАНИЙ <b>М.Г. Москалев</b>	81
КОРПОРАТИВНЫЙ ШЛЮЗ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЕРВЕРНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <b>Д.А. Овчинников</b>	84
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ <b>А.В. Казаков, А.В. Медовник, Н.А. Панченко</b>	87
ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИКА В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <b>Ю.В. Парфентьев</b>	90
ЧЕТЫРЕХЛУЧЕВАЯ ФАР С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ КОНЦЕВОГО ТИПА <b>Ю.Н. Паршин</b>	93
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОТДЕЛА КАДРОВ УНИВЕРСИТЕТА ПАТТИМУРЫ, АМБОН - ИНДОНЕЗИЯ <b>В.Э. Паттираджаване</b>	96
СИСТЕМА ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ПОРТФОЛИО НА ОСНОВЕ ЗАГРУЖЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ <b>Ф.Д. Пираков</b>	99
ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА $Al_2O_3$ -Ti КОМПОЗИТА НА ОДНОРОДНОСТЬ ЕГО СПЕКАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРВАКУУМНОГО ПЛАЗМЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИСТОЧНИКА <b>А.А. Поддубнов, А.Е. Петров, В.Т. Чан</b>	102
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО ИХ ОТНОШЕНИЮ К АСПЕКТАМ ПРОДУКТА <b>К.Ю. Попова</b>	105
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УСТАНОВКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ В КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ <b>В.И. Пустынников</b>	108
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТРАГИРОВАННОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА В ФОРВАКУУМНОМ ДИАПАЗОНЕ ДАВЛЕНИЙ <b>А.В. Казаков, С.Е. Разумов, Н.А. Панченко</b>	111

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ ДИФРАКЦИОННОЙ РАСХОДИМОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ <b>Д.К. Романенко, М.Н. Гаппарова, А.В. Сокольников</b>	114
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО ОТКЛИКА НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕРХКОРОТКОГО ИМПУЛЬСА ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ МОДАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ВЫРЕЗЕ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ <b>М.А. Самойличенко, А.М. Заблоцкий</b>	117
ТРАНСЛЯЦИЯ СПЕЦИФИКАЦИЙ С ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА В СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ЯЗЫК D0SL <b>Д.Р. Серов</b>	120
ИЗМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ УГРОЗ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЯМИ 17 ПРИКАЗА ФСТЭК <b>М.В. Солодков</b>	123
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ЛОПАСТНЫХ ИЗДЕЛИЙ <b>К.И. Хан, М.А. Кажмаганбетова</b>	126
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПОЛОСКОВОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА <b>Е.Б. Черникова, А.А. Квасников</b>	129
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ БАРЬЕРНЫХ КОНТАКТОВ К АРСЕНИДУ ГАЛЛИЯ <b>А.Н. Шалев, О.Н. Минин</b>	132
ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ С ПЛАЗМЕННЫМ КАТОДОМ ПУТЕМ ОТКЛОНЕНИЯ ПУЧКА ВЕДУЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ <b>В.И. Шин, П.В. Москвин, С.Ю. Дорошкевич</b>	135
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИИ И ЕЕ НОСИТЕЛЯМ <b>С.И. Штыренко</b>	138
ОЦЕНКА РАБОТЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО РАСПОЗНАВАНИЮ НОТ <b>А.Ю. Якимук</b>	141

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭКРАНИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

А.А. Иванов, А.В. Демаков

Научный руководитель: доцент, к.т.н., М.Е. Комнатнов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: [anton.ivvv@gmail.com](mailto:anton.ivvv@gmail.com)

**ANALYTICAL MODEL FOR ESTIMATING SHIELDING EFFECTIVENESS  
OF MULTILAYER COMPOSITE MATERIALS**

A.A. Ivanov, A.V. Demakov

Scientific Advisor: assistant professor, Ph.D., M.E. Komnatnov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [anton.ivvv@gmail.com](mailto:anton.ivvv@gmail.com)

***Abstract.** The paper presents an analytical model for estimating shielding effectiveness of multilayer composite materials. This model was validated on the example of single-layer and two-layer structures. The results obtained by the presented model and in a computational experiment using a coaxial cell are in good agreement.*

**Введение.** Экранирующие конструкции (ЭК) широко используются для защиты узлов и блоков радиоэлектронных средств (РЭС) от воздействия излучаемых электромагнитных помех. В качестве материалов для изготовления ЭК применяются металлы и их сплавы, которые отличаются высокой эффективностью экранирования (ЭЭ), однако обладают значительной массой. С целью уменьшения массы при разработке ЭК применяются многослойные полимерные композиционные материалы (КМ) [1]. Традиционно, экранирующие свойства КМ определяются при помощи измерений по стандартам MIL-STD-285, IEEE-STD-299, ASTM ES7 и ASTM D 4935. Однако зачастую выполнение подобных измерений невозможно, в особенности на ранних этапах проектирования РЭС. В таких случаях для предварительной оценки ЭЭ наиболее предпочтительно использовать аналитические модели, поскольку они не требуют значительных вычислительных ресурсов [2]. Однако существующие модели [3–5] позволяют вычислить ЭЭ только для многослойных экранов, выполненных из металла. Целью данной работы является разработка аналитической модели для оценки ЭЭ многослойных полимерных КМ.

**Аналитическая модель.** Согласно [4] плоский экран толщиной  $t$  при падении на него плоской электромагнитной волны может быть представлен в виде отрезка двухпроводной линии передачи (ЛП) длиной  $t$  с волновым сопротивлением  $Z$  и комплексной постоянной распространения  $k$ . Тогда, исходя из эквивалентности телеграфных уравнений и уравнений Максвелла для гармонических колебаний, ЭЭ может быть вычислена из напряжений и токов в ЛП. При этом если электромагнитный экран выполнен из  $i$  слоев, то он может быть представлен в виде  $i$  отрезков ЛП, соединенных последовательно (рис. 1). В этом случае, для расчета напряжений и токов удобно использовать  $A$ -формулу записи параметров четырехполюсников. Для набора из  $i$ -отрезков ЛП  $A$ -параметры могут быть определены как [3]

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \prod_{n=1}^i \begin{bmatrix} \cosh(k_n t_n) & Z_n \sinh(k_n t_n) \\ \frac{\sinh(k_n t_n)}{Z_n} & \cosh(k_n t_n) \end{bmatrix}.$$

Предполагая, что каждый слой КМ является однородным и изотропным, волновое сопротивление и постоянная распространения в  $i$ -ом слое могут быть вычислены как [6]

$$Z = Z_0 \sqrt{\mu_r / \epsilon_r},$$

$$k = j2\pi f \sqrt{\mu_r \epsilon_r} c^{-1},$$

где  $Z_0 = 120\pi$  Ом,  $c$  – скорость света в свободном пространстве,  $f$  – частота источника воздействия,  $\mu_r$  и  $\epsilon_r$  – относительные магнитная и диэлектрическая проницаемости  $i$ -го слоя КМ.

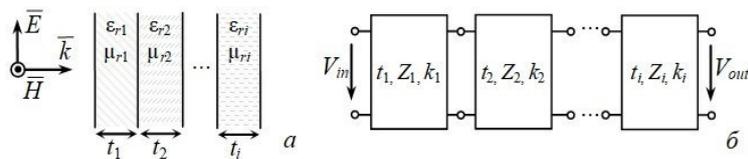


Рис. 1. Экран из многослойного КМ (а) и его эквивалентная схема (б)

Исходя из телеграфных уравнений с учетом отражений на границах между слоями КМ, ЭЭ многослойного экрана (рис. 1а) может быть вычислена как [3]

$$SE = 20 \lg \left| \frac{V_{in}}{V_{out}} \right| = 20 \lg \left| \frac{a_{21} Z_0^2 + a_{22} Z_0 + a_{11} Z_0 + a_{12}}{2 Z_0} \right|,$$

где  $V_{in}$ ,  $V_{out}$  – входное и выходное напряжения в эквивалентной схеме (рис. 1б).

**Тестирование модели.** Для тестирования модели вычислена ЭЭ четырех однослойных КМ ( $t=2$  мм) со следующими параметрами: 1)  $\mu_r = 20$ ,  $\epsilon_r = 1$ ; 2)  $\mu_r = 8$ ,  $\epsilon_r = 1$ ; 3)  $\mu_r = 1$ ,  $\epsilon_r = 15$ ; 4)  $\mu_r = 1$ ,  $\epsilon_r = 10$ . Сравнивались результаты, полученные по этой модели и в рамках вычислительного эксперимента с использованием электродинамической модели коаксиальной камеры [7]. Полученные результаты представлены на рис. 2. Видно, что зависимости хорошо согласуются, а отличие не превышает 0,8 дБ.

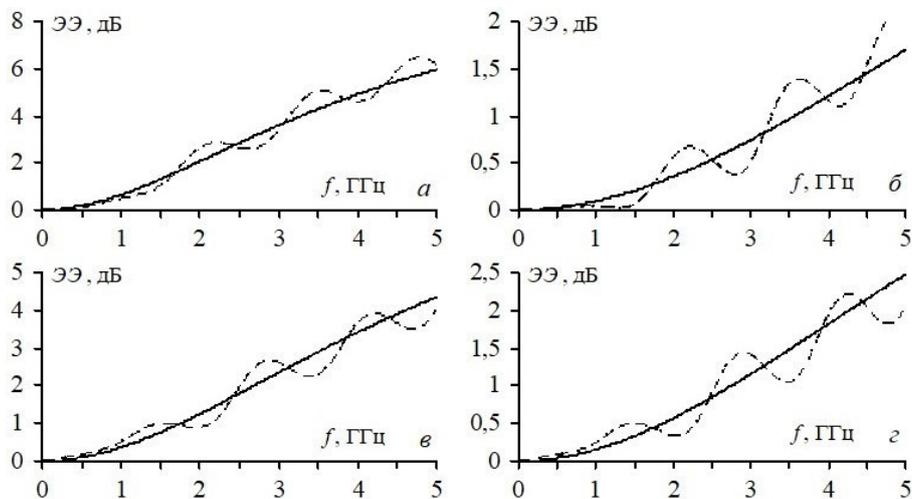


Рис. 2. Частотные зависимости ЭЭ для КМ: 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (з), полученные по аналитической модели (—) и с помощью электродинамической модели коаксиальной камеры (---)

Далее, с помощью предложенной аналитической модели и электродинамической модели коаксиальной камеры, выполнены вычисления ЭЭ двухслойных композитных материалов ( $t_1=t_2=1$  мм) со следующими параметрами: 1)  $\mu_{r1}=20$ ,  $\epsilon_{r1}=1$ ,  $\mu_{r2}=1$  и  $\epsilon_{r2}=20$ ; 2)  $\mu_{r1}=2$ ,  $\epsilon_{r1}=4$ ,  $\mu_{r2}=1$  и  $\epsilon_{r2}=8$ . Полученные частотные зависимости ЭЭ представлены на рис. 3. Видно, что зависимости полностью согласуются, а отличие не превышает 0,1 дБ.

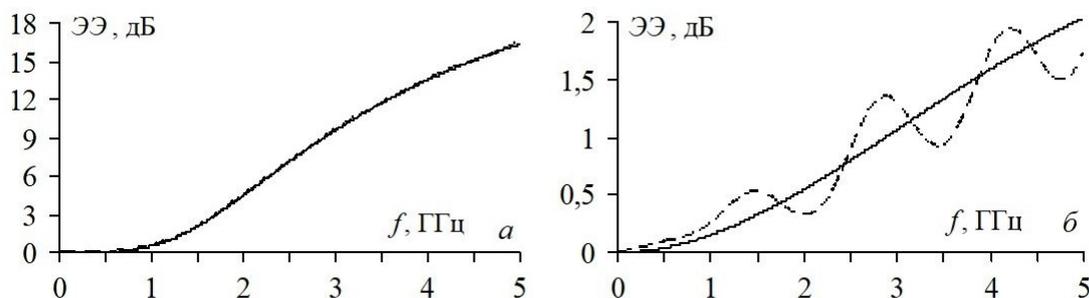


Рис. 3. Частотные зависимости ЭЭ двухслойных КМ: 1 (а) и 2 (б), полученные по аналитической модели (—) и в результате вычислительного эксперимента (---)

**Заключение.** Разработана аналитическая модель для оценки ЭЭ полимерных многослойных экранирующих КМ. Выполнены вычисления ЭЭ шести материалов с различными электрофизическими параметрами. Показано хорошее согласование между результатами, полученными предложенной моделью и с помощью электродинамической модели коаксиальной камеры. Результаты данного исследования могут быть применены для создания высокоэффективных ЭК современных РЭС.

Разработка аналитической модели выполнена в рамках гранта РФФИ № 19-79-10162 в ТУСУРе, вычислительный эксперимент выполнен в рамках гранта РФФИ №18-38-00619.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bremner P.G. et al. Shielding effectiveness – when to stop blocking and start absorbing // IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat., Signal & Power Integr. (EMC SIPI). – 2019. – P. 1–8.
2. Комнатнов М.Е., Газизов Т.Р., Дементьев А.С. Моделирование эффективности экранирования металлической пластиной для бортовой аппаратуры космического аппарата // Доклады ТУСУР. – 2011. – № 2 (24). – Ч. 1. – С. 133–136.
3. Shi D., Gao Y., Shen Y. Determination of shielding effectiveness of multilayer shield by making use of transmission line theory // Int. Symp. Electromagn. Compat. Electomagn. Ecolg. – 2007. – P. 1–3.
4. Schulz R.B., Plantz V.C., Brush D.R. Shielding theory and practice // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 1988. – Vol. 30, No. 3. – P. 187–201.
5. Lu M. Analysis of shielding effectiveness of multi layer planar shields to normally incident plane waves // Journal of Microwaves. – 1999. – Vol. 15, No. 2. – P. 1–4.
6. Collin R.E. Field theory of guided waves. 2nd edition. – NY: Wiley – IEEE Press, 1990. – 864 p.
7. Demakov A.V., Komnatnov M.E. Development of an improved coaxial cell for measuring the shielding effectiveness of materials // IOP Conference series: materials science and engineering. – 2020. – Vol. 734. – P. 1–7.