



УДК 62-758.34

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-10-10

**РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ОТДЕЛОЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ  
СОТОВОЙ СВЯЗИ**

А.А. Беляев

Е.Е. Беспалова

В.В. Лепешкин

**Июнь 2015**

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 62-758.34

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-10-10

*А.А. Беляев<sup>1</sup>, Е.Е. Беспалова<sup>1</sup>, В.В. Лепешкин<sup>1</sup>*

## **РАДИОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТДЕЛОЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ**

*Статья посвящена обсуждению необходимости и возможности создания радиопоглощающих материалов, эффективных в диапазонах рабочих частот наиболее распространенных базовых станций сотовой связи, на основе отделочных строительных материалов. Работы велись в направлении теоретических и экспериментальных исследований образцов радиопоглощающих структур на основе отделочных строительных материалов и выбора радиопоглощающих наполнителей.*

**Ключевые слова:** *радиопоглощающий материал, электромагнитная волна, электромагнитное излучение, базовая станция сотовой связи, здоровье человека, экология.*

*A.A. Belyaev, E.E. Bepalova, V.V. Lepeshkin*

## **RADIO ABSORBING MATERIALS BASED ON FINISHING CONSTRUCTION MATERIALS FOR PROTECTION AGAINST MICROWAVE RADIATION OF BASE STATIONS OF CELLULAR COMMUNICATION**

*This article considers the need and possibility of creation of radio-absorbing materials based on finishing construction materials. These materials have to be effective within the ranges of the most widespread working frequencies of the cellular communication base stations. The works were conducted in the field of theoretical investigations and experimental studies of samples of the radio-absorbing structures based on finishing construction materials and in the direction of choosing of radio-absorbing fillers.*

**Keywords:** *radio-absorbing material, electromagnetic wave, electromagnetic radiation, base station of cellular communication, population health, ecology.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

## Введение

В соответствии со стратегическими направлениями развития материалов и технологии их переработки на ближайшие 20 лет [1] большое внимание в работах [2–4] уделено композиционным и функциональным материалам и их применению в авиа- и ракетостроении. Однако в последнее время композиционные и функциональные материалы, ранее применявшиеся практически только в авиа- и ракетостроении, все шире начинают применяться в быту.

Данная статья посвящена вопросам уменьшения уровня излучения базовых станций сотовой радиосвязи в помещениях, находящихся вблизи этих станций. Базовые станции (БС) – один из основных элементов системы сотовой радиосвязи. Они поддерживают связь с находящимися в зоне их действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта связи БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 до 1880 МГц, а в последнее время и выше. В статье рассматриваются наиболее широко используемые поддиапазоны частот: 860–960 и 1710–1880 МГц.

Антенны БС устанавливаются на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т. д.) или на специально сооруженных мачтах. Исходя из требований построения системы сотовой связи основная энергия излучения (>90%) сосредоточена в довольно узком «луче». Он всегда направлен в сторону от сооружений, на которых находятся антенны и выше прилегающих построек, что является необходимым условием для нормального функционирования системы. Тем не менее из-за относительно коротких длин волн, используемых в сотовой связи (33 и 17 см), возможно их отражение, преломление. Это может приводить к тому, что, отражаясь от поверхности зданий, построек, стен в помещениях, они могут концентрироваться и создавать в жилищах так называемые «горячие пятна». Особенно опасно их сосредоточение в области расположения спальных мест, мест отдыха в квартире и мест длительного пребывания людей.

Согласно накапливающимся данным наибольшую опасность для человека представляет пульсирующее микроволновое излучение. Из принятых в РФ стандартов к последним относятся GSM-900 и CDMA-2000 – это так называемая цифровая техника. Она обеспечивает гораздо лучшее качество связи, обладает лучшей помехозащищенностью, предоставляет пользователю дополнительные сервисные возможности. Поскольку основу цифровой техники составляет представление

информации в виде чередования и комбинации нулей и единиц, то в системе сотовой связи роль единицы выполняет импульс несущей составляющей. Их чередование и количество и приводит к появлению пульсирующего напряжения. Опасность пульсирующего микроволнового излучения в том, что оно способно проявлять так называемое информационное воздействие. Частота передачи сигналов по средним волокнам нервных пучков организма человека составляет 250 Гц, а по тонким: 2000 Гц. Эти частоты совпадают с теми частотами повторения импульсов, которые генерируют базовые станции сотовой связи и, следовательно, их совпадение может быть сопряжено с определенными нарушениями в функционировании нервной системы.

В настоящее время подавляющее большинство ученых считают, что электромагнитное излучение отрицательно влияет на здоровье человека и является причиной целого ряда заболеваний, в первую очередь онкологических, нервной и сердечно-сосудистой систем. Особенно подвержены воздействию электромагнитного излучения дети, беременные женщины и люди, страдающие аллергией.

Возможное негативное влияние электромагнитного поля (ЭМП) базовых станций сотовой связи на здоровье населения является реальной проблемой, активно обсуждаемой как специалистами и учеными, так и общественностью во всем мире. К настоящему времени сложилась ситуация, когда практически все крупные города и значительная часть территорий вне города «накрыты» электромагнитным излучением сотовой связи. Численность базовых станций только в Москве уже в 2001 году была больше 2300 штук, т. е. 23 БС на 1 км<sup>2</sup>.

Хотя интенсивность излучаемого ЭМП БС мала по сравнению, например, с интенсивностью излучения радиолокатора или телевизионного центра, но ситуация, в которой происходит непрерывное и тотальное облучение населения ЭМП является новой для гигиены и радиобиологии, поэтому однозначного ответа о его потенциальном вреде пока никто дать не может. Возможные последствия могут проявиться через несколько лет продолжительного облучения, и особенно на новом поколении. С учетом недостаточных знаний о возможных последствиях воздействия ЭМП Всемирная организация здравоохранения рекомендует придерживаться предупредительного принципа и избегать ситуаций повышенного риска облучения ЭМП.

Более подробно вопросы вредности излучения БС изложены в работах [5–13]. В данной статье проблему уменьшения уровня СВЧ излучения БС сотовой связи предлагается решать путем введения радиопоглощающих компонентов в отделочные материалы.

## Материалы и методы

Проведены исследования возможности разработки структур на основе обычных отделочных строительных материалов (штукатурка, шпатлевка, грунтовка и краска). Для придания этим материалам экранирующих и радиопоглощающих свойств предложено ввести компоненты, в которых происходит поглощение энергии электромагнитных волн (ЭМВ). Введение металлических элементов может обеспечить экранирование от СВЧ излучения БС только за счет отражения ЭМВ, что приводит к переотражению от стен зданий и возможному фокусированию лучей отраженной волны в определенных точках. Введение же элементов, поглощающих электромагнитную энергию, обеспечит дополнительное уменьшение энергии СВЧ излучения и устранил эффект фокусирования.

Полученные материалы можно использовать при строительстве и отделке жилых и административных комплексов с пониженным уровнем воздействия СВЧ излучения. В первую очередь удобно использовать штукатурки, шпатлевки и в меньшей степени грунтовки и краски. На основе штукатурок и шпатлевок можно создать материалы как экранирующие, так радиопоглощающие, принимая во внимание, что штукатурка наносится довольно толстым слоем ~5–15 мм, а шпатлевка – от 1,5–2 до 5–6 мм. Краски и грунтовки имеют небольшую толщину нанесения ~0,1 мм, а иногда и меньше, поэтому на базе красок и грунтовок можно создать материалы экранирующего типа. Правда, в последнее время в строительной индустрии стали применяться дорогие лакокрасочные покрытия, толщина которых >1 мм, для окрашивания фасадов и отделки офисных помещений. При такой толщине покрытий возможно создание уже достаточно эффективных радиопоглощающих материалов.

В качестве добавок, обеспечивающих поглощение электромагнитной энергии, можно вводить наполнители диэлектрического типа, например, углеродсодержащее волокно определенной длины и концентрации [14–16]. Наполнители такого типа характеризуются удельным сопротивлением и диаметром волокна. Чем меньше удельное сопротивление волокнистого наполнителя, тем больше должна быть длина элементарного волокна и меньше его объемная концентрация. При разработке радиопоглощающих и экранирующих материалов используются, как правило, науглероженное или углеродсодержащее волокно (УСВ) и металлические волокна на основе микропровода из металлов и сплавов. Из вышеуказанных наполнителей самое высокое удельное сопротивление имеют науглероженные волокна и, следовательно, меньшую длину резки по сравнению с углеродными волокнами и микропроводом при

работе материала в одном и том же частотном диапазоне. Малая резка наполнителя позволяет использовать его при создании экранирующих материалов на основе красок и грунтовок. Наполнитель на основе микропровода является наиболее перспективным для экранирующих материалов, но достаточно дорог по сравнению с УСВ.

Радиопоглощающий материал можно также создать, вводя в связующее на базе штукатурки или шпатлевки магнитный наполнитель, например, порошок феррита. Количество магнитного наполнителя ограничивается изменением физико-механических свойств исходного раствора [17].

Стена здания, штукатурка, шпатлевка и краска для проходящей ЭМВ представляют собой многослойную структуру с диэлектрическими характеристиками каждого слоя, отличающимися друг от друга. Введение в эти слои таких радиопоглощающих компонентов, как сажа, науглероженное волокно, феррит, порошок карбонильного железа, приведет к тому, что при прохождении ЭМВ через эти слои, ее энергия будет убывать. Таким образом, уменьшение энергии ЭМВ при ее прохождении через стену здания (экранирование) происходит частично из-за ее отражения от стены, частично из-за поглощения. Степень отражения ЭМВ от стены и между слоями определяется величиной их диэлектрической и магнитной проницаемости, а поглощения – углами диэлектрических и магнитных потерь. При исследовании процессов, связанных с переменными токами и электромагнитными волнами определенной частоты, величины токов, напряжений, напряженности электрического и магнитного поля выражают комплексными величинами. Это позволяет при выполнении операций с этими величинами с целью расчетов электродинамических параметров математических моделей структур учитывать разность фаз этих величин. Отношение комплексных напряжений и токов или напряженности электрического магнитного поля тоже является величиной комплексной – комплексное сопротивление или проводимость. Наличие потерь энергии ЭМВ в среде определяется комплексным характером величины ее диэлектрической и/или магнитной проницаемости. Для придания отделочному материалу экранирующих и радиопоглощающих характеристик в него вводили нарезанное углеродсодержащее волокно и/или порошок феррита. Относительная диэлектрическая проницаемость композиции материала штукатурки, шпатлевки и краски, наполненных волокном, является комплексной величиной со значительной мнимой частью, которая и определяет ослабление энергии ЭМВ при ее прохождении через среду. Относительная магнитная проницаемость штукатурки и шпатлевки, наполненных порошком феррита, тоже имеет значительную мнимую часть.

Если обозначить комплексные диэлектрическую и магнитную проницаемость среды соответственно  $\varepsilon^* = \varepsilon' + i\varepsilon''$  и  $\mu^* = \mu' + i\mu''$ , где  $\varepsilon'$  и  $\mu'$  – действительные части комплексных диэлектрической и магнитной проницаемости соответственно;  $\varepsilon''$  и  $\mu''$  – мнимые части комплексных диэлектрической и магнитной проницаемости соответственно, а  $i$  – комплексная единица, то коэффициент потерь или поглощения равен  $\alpha = (\sqrt{\varepsilon^* \mu^*})''$  – мнимая часть корня из произведения комплексных проницаемостей. При этом ослабление энергии волны, прошедшей расстояние  $d$  в среде, будет составлять величину  $e^{-4\pi\alpha d/\lambda}$ , где  $\lambda$  – длина волны в свободном пространстве. Коэффициент потерь ( $\alpha$ ) в основном определяется мнимыми частями проницаемостей и их отношением к действительным частям (тангенс угла диэлектрических потерь) [18–20].

Для оценки экранирующих и поглощающих свойств строительных конструкций путем введения в отделочные материалы радиопоглощающих компонентов проведены сравнительные расчеты коэффициента прохождения отдельных элементов математических моделей этих конструкций с радиопоглощающими компонентами и без них, а также – коэффициента прохождения и коэффициента отражения примера математической модели структуры, изображенной схематически на рисунке.

Коэффициент прохождения –  $K_{\text{пр}} = P_{\text{пр}}/P_{\text{пад}}$ , где  $P_{\text{пр}}$  и  $P_{\text{пад}}$  – плотность потока мощности, прошедшей и падающей ЭМВ соответственно; коэффициент отражения –  $K_{\text{отр}} = P_{\text{отр}}/P_{\text{пад}}$ , где  $P_{\text{отр}}$  – плотность потока мощности отраженной ЭМВ.

При расчете коэффициентов прохождения и отражения использовали расчетные формулы, приведенные в работе [18]. Диэлектрическую и магнитную проницаемость отделочных материалов рассчитывали на основе формул, полученных в работе [19] методами, описанными в статьях [21–25]. В этих формулах учитывается диэлектрическая проницаемость отделочных материалов, объемная концентрация радиопоглощающих компонентов, их геометрические и электрофизические параметры. Расчеты проводили в частотных диапазонах сотовой связи: 850–1000 и 1700–1880 МГц. Результаты расчетов коэффициентов прохождения и отражения различных вариантов структур штукатурки приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчетов коэффициентов прохождения/отражения различных вариантов структур штукатурки**

Условный номер варианта	Количество наполнителя	Значения коэффициентов, %*, при частоте, МГц						
		850	900	950	1710	1750	1800	1880
1	Без наполнителя	89,5/10,5	88,5/11,5	87,8/12,2	69,5/30,5	68,6/31,4	68,0/32,0	67,0/33,0
2	20% феррита	83,5/10,5	78,5/11,5	75,8/12,5	45,5/24,2	46,5/25,0	47,0/25,2	48,0/25,4
3	40% феррита	78,5/9,2	76,5/9,7	73,8/10,1	35,5/18,2	34,5/18,9	33,6/19,2	33,0/19,4
4	0,1% УСВ+20% феррита	16,5/70,0	16,0/66,5	15,8/62,5	8,0/46,4	7,0/47,0	6,0/49,2	5,5/52,1
5	0,5% УСВ	10,4/46,0	9,0/34,8	8,8/55,1	3,0/72,4	2,9/68,2	2,7/66,2	2,5/69,1
6	1,0% УСВ	4,3/95,0	4,0/95,2	3,8/95,0	3,0/86,4	2,9/84,0	2,7/82,2	2,5/81,1

\* Величина % соответствует объемному содержанию.

Анализируя, результаты расчетов, приведенных в табл. 1, видно, что применение феррита эффективно только при содержании не менее 40%, но практически при введении >20% структура теряет свою прочность и становится значительно тяжелее. Применение углеродсодержащего волокна эффективно даже при его небольшом количестве, которое не может привести к изменению физико-механических, весовых и противопожарных характеристик по сравнению с обычной штукатуркой. При выборе содержания наполнителя следует выбирать его оптимальное количество, при котором энергия прошедшей волны достаточно уменьшается, но при этом энергия отраженной волны достаточно убывает, чтобы устранить фокусирование отраженных лучей и резонансы в помещении. С этой точки зрения вариант 5 наиболее оптимален.

Пользуясь тем, что штукатурка имеет достаточную толщину и ее можно разбить на два слоя, а также использовать шпатлевку как радиопоглощающий слой, введя в нее радиопоглощающий наполнитель, можно оптимально подобрать содержание наполнителя по слоям, которое обеспечит минимальное прохождение волны при минимальных отражениях от стенки. Пример расчета такой радиопоглощающей структуры приведен в табл. 2. Эта структура близка к изображенной на рисунке, но штукатурку наносят в два слоя, при этом в слой, прилегающий к стене, и в шпатлевку вводится сравнительно небольшое количество волокна УСВ – например, 0,5% (объемн.), а в слой штукатурки, прилегающий к шпатлевке, – значительно больше, например, 2% (объемн.).

Таблица 2

**Расчет содержания радиопоглощающего наполнителя по слоям**

Коэффициент	Значения коэффициентов, %, при частоте, МГц							
	850	900	950	1000	1710	1750	1800	1880
Прохождения	85	78	70	51	47	42	38	33
Отражения	10	9	8	8	5	4,5	4,2	4,0

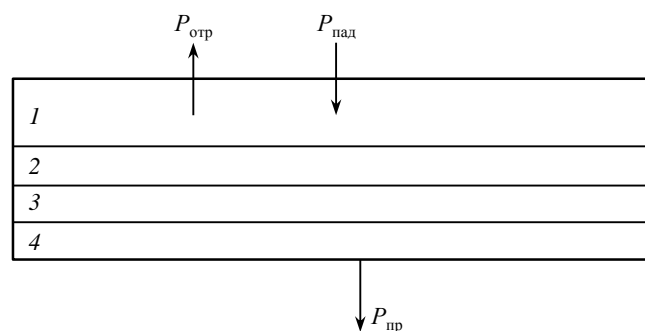


Схема математической модели структуры из строительных материалов:  
 1 – стена здания толщиной 500 мм; 2 – штукатурка толщиной 10 мм; 3 – шпатлевка толщиной 3 мм; 4 – краска толщиной 0,1 мм

Для проверки теоретических расчетов изготовили образцы и провели их исследования. На базе обычной штукатурки изготовлены следующие структуры.

*Образец №1*

- 1% (объемн.) цемента марки М-500;
- 3% (объемн.) песка;
- 1% (объемн.) магнитного наполнителя.

*Образец №2*

- 1% (объемн.) цемента марки М-500;
- 2,5% (объемн.) песка;
- 1,5% (объемн.) магнитного наполнителя.

*Образец №3*

- 1% (объемн.) цемента марки М-500;
- 2,5% (объемн.) песка;
- 1,5% (объемн.) магнитного наполнителя;
- 0,1% (объемн.) волокнистого наполнителя на основе УСВ с длиной резки 3 мм.

*Образец №4*

- 1% (объемн.) цемента марки М-500;
- 4% (объемн.) песка;
- до 1% (объемн.) волокнистого наполнителя на основе УСВ определенной длины резки.

Все образцы изготавливали в виде плит размером 400×400 мм разной толщины и концентрации наполнителя – всего 17 вариантов. *Первый и второй варианты* образцов готовили по технологии обычного штукатурного раствора; *третий–седьмой варианты* – в приготовленный штукатурный раствор вводили волокнистый наполнитель. Перед введением наполнителя в штукатурный раствор его перемешивали с поверхностно-

активным веществом (ПАВ), это необходимо сделать для равномерного распределения наполнителя в растворе. При прямом введении наполнителя в раствор происходит комкование наполнителя и не достигается его равномерное распределение.

Изготовлены также образцы на основе шпатлевки «Святозар», в которую вводили волокнистый наполнитель УСВ – плиты размером 300×300 мм и толщиной 1,5 и 3 мм каждого варианта.

*Восьмой и девятый варианты* – шпатлевка «Святозар» с УСВ длиной резки 3 мм и объемной концентрацией 0,5% при толщине слоя 1,5 и 3 мм.

*Варианты 10 и 11* – шпатлевка «Святозар» с УСВ длиной резки 3 мм и объемной концентрацией 1% при толщине слоя 1,5 и 3 мм.

На основе грунтовки и краски «Святозар» изготовлены структуры с волокном УСВ, которое после термообработки малыми дозами вводится в краску или грунтовку, следующего состава:

- варианты 12 и 13 с 0,05% наполнителя;
- варианты 14 и 15 с 0,1% наполнителя;
- варианты 16 и 17 с 0,2% наполнителя.

При исследовании радиотехнических характеристик (РТХ) образцов структур (коэффициенты прохождения и отражения) использовали радиотехническую аппаратуру, применяемую при разработке и исследованиях материалов радиотехнического назначения: СВЧ анализатор цепей векторный N5230A/C-420 фирмы Agilent Technologies и измерительные антенные устройства П6-23.

На изготовленных образцах проведены измерения коэффициентов прохождения и отражения в основных рабочих диапазонах станций сотовой связи: 850–950 и 1710–1880 МГц.

Коэффициент отражения характеризует экранирующие свойства материала, а коэффициент прохождения – как экранирующие, так и поглощающие свойства и определяется отношением

$$K_{\text{пр}} = 1 - |R|^2 - |S|^2,$$

где  $|R|^2$  – коэффициент отражения от материала ( $K_{\text{отр}}$ );  $|S|^2$  – коэффициент поглощения материала.

Оценку коэффициента прохождения всех вариантов изготовленных образцов производили в частотном диапазоне работ базовых сотовых станций: 850–950 и 1750–1850 МГц.

Результаты оценки коэффициента прохождения приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты прохождения образцов в диапазоне частот базовых сотовых станций**

Условный номер варианта образца	Состав образца	Толщина образца, мм, или количество слоев	Коэффициент прохождения, %, при частоте, МГц					
			850	900	950	1750	1800	1850
1	20% цемента М-500 60% песка 20% феррита	10	95	85	80	45	44	42
2	20% цемента М-500 50% песка 30% феррита	10	80	75	70	34	30	28
3	20% цемента М-500 50% песка 30% феррита+0,1% (объемн.) УКН-5000	15	16	14	12,6	8	7	6
4	20% цемента М-500 80% песка Наполнитель: 0,5% (объемн.) УКН-5000	5	32	32	32	63	18	16
5	20% цемента М-500 80% песка Наполнитель: 0,5% (объемн.) УКН-5000	10	20	20	20	13	11	10
6	20% цемента М-500 80% песка Наполнитель: 0,1% (объемн.) УКН-5000	5	20	19	18	16	13	11
7	20% цемента М-500 80% песка Наполнитель: 1% (объемн.) УКН-5000	10	4	3,8	3,6	3,1	2,8	2,5
8	Шпатлевка «Святозар»+ +0,5% (объемн.) УКН-5000	1,5	12,6	11,7	11,1	10	8	7
9	То же	3	2,5	2,5	2	1,6	1,4	1,3
10	Шпатлевка «Святозар»+ +1,0% (объемн.) УКН-5000	1,5	4	4	3,2	2,8	2	2
11	То же	3	0,2	0,2	0,16	0,13	0,11	0,11
12	Краска «Святозар»+ +0,05% (объемн.) УКН-5000	2 слоя	96	96	95	93	92	92
13	То же	4 слоя	92	91	90	89	86	85
14	Грунтовка «Святозар»+ +0,1% (объемн.) УКН-5000	2 слоя	92	91	89	89	86	86
15	То же	4 слоя	85	85	83	83	82	80
16	Грунтовка «Святозар»+ +0,2% (объемн.) УКН-5000	2 слоя	85	84	82	81	81	78
17	То же	4 слоя	76	74	71	68	68	65

**Результаты**

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований подтвердили возможность создания радиопоглощающих материалов на базе строительных отделочных материалов.

Выявлено, что наиболее эффективным является использование штукатурок и

шпатлевок в силу их значительной толщины и возможности введения в них значительного количества магнитного и диэлектрического наполнителей или их комбинации.

Теоретически и экспериментально показано, что, применяя штукатурки и шпатлевки в многослойных структурах, можно получить ослабление проникающего СВЧ сигнала в диапазонах работы БС в 10 и более раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» //Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Беляев А.А., Кондрашов С.В., Лепешкин В.В., Романов А.М. Радиопоглощающие материалы //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 348–352.
5. Радиационная медицина. Т. 4. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений /Под ред. Ю.Г. Григорьева, В.С. Степанова. М.: Изд. АТ. 1999. 304 с.
6. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. М. 1999. 145 с.
7. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи».
8. Григорьев Ю.Г. Сотовая связь: радиобиологические проблемы и оценка опасности //Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. №5. С. 500–513.
9. Гаврилов А.А., Нестеров Е.К., Оленьев В.В., Сомов А.Ю. Добровольный и вынужденный экологический риск при воздействии электромагнитного излучения, создаваемого системами сотовой связи //Известия Академии промышленной экологии. 2002. №2. С. 43–46.
10. Nata M. Empirical formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services //IEEE Trans. On Vehicular Technology. 1980. V. 29. P. 317–325.
11. Григорьев О.А., Меркулов А.В., Темников А.Г. Оценка электромагнитной

- обстановки в районах размещения базовых станций системы сотовой связи /В сб. материалов II Международной конф. «Электромагнитные поля и здоровье человека». М. 1999. С. 114–115.
12. Григорьев О.А. Электромагнитная безопасность городского населения: характеристика современных источников ЭМП и оценка их опасности /В сб. статей Электромагнитные поля и население. М.: Изд-во РУДН. 2003. С. 76–93.
  13. Бабина Ю.В. Электромагнитные излучения: будем ли мы платить за их вредные воздействия //Экос-информ. 1999. №12. С. 26–35.
  14. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов //Российские нанотехнологии. 2013. Т. 8. №3–4. С. 24–42.
  15. Романов А.М., Беляев А.А., Широков В.В. Особенности оптимизации резонансных радиопоглощающих материалов немагнитного типа //Труды ВИАМ. 2014. №11. Ст. 05 (viam-works.ru).
  16. Агафонова А.С., Беляев А.А., Кондрашов Э.К., Романов А.М. Особенности формирования монолитных конструкционных радиопоглощающих материалов на основе композитов, наполненных резистивным волокном //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. С. 56–59.
  17. Краев И.Д., Образцова Е.П., Юрков Г.Ю. Влияние морфологии магнитного наполнителя на радиопоглощающие характеристики композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2014. №S2. С. 10–14.
  18. Бреховских А.М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. С. 53–56.
  19. Оделевский В.И. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем. М. 1947. 144 с.
  20. Кинг Р., Смит Г. Антенны в слоистых средах. Т. 1. М.: Мир. 1984. С. 408–413.
  21. Шульдешов Е.М., Лепешкин В.В., Романов А.М. Метод неразрушающего контроля комплексной диэлектрической проницаемости входных слабо наполненных слоев градиентных радиопоглощающих полимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 11 (viam-works.ru).
  22. Широков В.В., Романов А.М. Исследование диэлектрических характеристик стеклосотопласта волноводным методом //Авиационные материалы и технологии. 2013. №4. С. 62–68.
  23. Беляев А.А., Романов А.М., Широков В.В., Шульдешов Е.М. Измерение диэлектрической проницаемости стеклосотопласта в свободном пространстве

//Труды ВИАМ. 2014. №5. Ст. 6 (viam-works.ru).

24. Беляев А.А., Широков В.В., Романов А.М. Исследование диэлектрических характеристик монолитных стеклопластиков радиотехнического назначения //Композитный мир. 2014 (в печати).
25. Широков В.В. Особенности применения языков программирования высокого уровня для расчета радиотехнических параметров материалов специального назначения //Труды ВИАМ (в печати).

#### REFERENCES LIST

1. Kablov E.N. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 7–17.
2. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
3. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
4. Beljaev A.A., Kondrashov S.V., Lepeshkin V.V., Romanov A.M. Radiopogloshhajushhie materialy [Radio absorbing materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №5. S. 348–352.
5. Radiacionnaja medicina. T. 4. Gigienicheskie problemy neionizirujushhih izluchenij [Radiation medicine. V. 4. Hygienic problems of non-ionizing radiations] /Pod red. Ju.G. Grigor'eva, V.S. Stepanova. M.: Izd. AT. 1999. 304 s.
6. Grigor'ev Ju.G., Stepanov V.S., Grigor'ev O.A., Merkulov A.V. Jelektromagnitnaja bezopasnost' cheloveka [Electromagnetic safety of the person]. M. 1999. 145 s.
7. Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy SanPiN 2.1.8/2.2.4.1190–03 «Gigienicheskie trebovanija k razmeshheniju i jekspluatacii sredstv suhoputnoj podvizhnoj radiosvjazi» [Sanitary and epidemiologic rules and Sanpin's standards 2.1.8/2.2.4.1190–03 «Hygienic requirements to placement and operation of means of overland mobile radio

communication».]

8. Grigor'ev Ju.G. Sotovaja svjaz': radiobiologicheskie problemy i ocenka opasnosti [Cellular communication: radio biological problems and danger assessment] //Radiacionnaja biologija. Radiojekologija. 2001. T. 41. №5. S. 500–513.
9. Gavrilov A.A., Nesterov E.K., Olen'ev V.V., Somov A.Ju. Dobrovol'nyj i vynuzhdennyj jekologicheskij risk pri vozdejstvii jelektromagnitnogo izluchenija, sozdavaemogo sistemami sotovoj svjazi [Voluntary and forced ecological risk at influence of the electromagnetic radiation created by cellular systems] //Izvestija Akademii promyshlennoj jekologii. 2002. №2. S. 43–46.
10. Hata M. Empirical formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services //IEEE Trans. On Vehicular Technology. 1980. V. 29. P. 317–325.
11. Grigor'ev O.A., Merkulov A.V., Temnikov A.G. Ocenka jelektromagnitnoj obstanovki v rajonah razmeshhenija bazovyh stancij sistemy sotovoj svjazi [Assessment of electromagnetic situation in areas of placement of base stations of cellular system] /V sb. materialov II Mezhdunarodnoj konf. «Jelektromagnitnye polja i zdorov'e cheloveka». M. 1999. S. 114–115.
12. Grigor'ev O.A. Jelektromagnitnaja bezopasnost' gorodskogo naselenija: harakteristika sovremennyh istochnikov JeMP i ocenka ih opasnosti [Electromagnetic safety of urban population: characteristic of modern sources of EMP and assessment of their danger] /V sb. statej Jelektromagnitnye polja i naselenie. M.: Izd-vo RUDN. 2003. S. 76–93.
13. Babina Ju.V. Jelektromagnitnye izluchenija: budem li my platit' za ih vrednye vozdejstvija [Electromagnetic radiations: whether we will pay for their harmful effects] //Jekos-inform. 1999. №12. S. 26–35.
14. Kablov E.N., Kondrashov S.V., Jurkov G.Ju. Perspektivy ispol'zovanija uglerodsoderzhashhijh nanochastic v svjazujushhijh dlja polimernyh kompozicionnyh materialov [Perspectives of use of carbon-containing nanoparticles in binding for polymeric composite materials] //Rossijskie nanotehnologii. 2013. T. 8. №3–4. S. 24–42.
15. Romanov A.M., Beljaev A.A., Shirokov V.V. Osobennosti optimizacii rezonansnyh radiopogloshhajushhijh materialov nemagnitnogo tipa [Features of optimization of resonance radio absorbing materials of non-magnetic type] //Trudy VIAM. 2014. №11. St. 05 (viam-works.ru).
16. Agafonova A.S., Beljaev A.A., Kondrashov Je.K., Romanov A.M. Osobennosti formirovanija monolitnyh konstrukcionnyh radiopogloshhajushhijh materialov na osnove kompozitov, napolnennyh rezistivnym voloknom [Features of forming of monolithic

- constructional radio absorbing materials on the basis of the composites filled with resistive fiber] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №3. S. 56–59.
17. Kraev I.D., Obrazcova E.P., Jurkov G.Ju. Vlijanie morfologii magnitnogo napolnitelja na radiopogloshhajushhie harakteristiki kompozicionnyh materialov [Influence of morphology of magnetic filler on radio absorbing characteristics of composite materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2014. №S2. S. 10–14.
  18. Brehovskih A.M. Volny v sloistyh sredah [Waves in layered environments]. M.: Izd-vo AN SSSR. 1957. S. 53–56.
  19. Odelevskij V.I. Raschet obobshhennoj provodimosti geterogennyh system [Calculation of the generalized conductivity of heterogeneous systems]. M. 1947. 144 s.
  20. King R., Smit G. Antenny v sloistyh sredah [Aerials in layered environments]. T. 1. M.: Mir. 1984. S. 408–413.
  21. Shul'deshov E.M., Lepeshkin V.V., Romanov A.M. Metod nerazrushajushhego kontrolja kompleksnoj dijelektricheskoj pronicaemosti vhodnyh slabo napolnennyh sloev gradientnyh radiopogloshhajushhih polimernyh kompozicionnyh materialov [Method of non-destructive testing of complex dielectric permittivity of the entrance poorly filled layers of gradient radio absorbing polymeric composite materials] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 11 (viam-works.ru).
  22. Shirokov V.V., Romanov A.M. Issledovanie dijelektricheskikh harakteristik steklosotoplasta volnovodnym metodom [Research of dielectric characteristics of glass-fiber-reinforced honeycomb by the waveguide method] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №4. S. 62–68.
  23. Beljaev A.A., Romanov A.M., Shirokov V.V., Shul'deshov E.M. Izmerenie dijelektricheskoj pronicaemosti steklosotoplasta v svobodnom prostranstve [Measurement of dielectric permittivity of glass-fiber-reinforced honeycomb in free space] //Trudy VIAM. 2014. №5. St. 6 (viam-works.ru).
  24. Beljaev A.A., Shirokov V.V., Romanov A.M. Issledovanie dijelektricheskikh harakteristik monolitnyh stekloplastikov radiotekhnicheskogo naznachenija [Research of dielectric characteristics of monolithic fibreglasses of radio engineering assignment] //Kompozitnyj mir. 2014 (v pečati).
  25. Shirokov V.V. Osobennosti primenenija jazykov programirovanija vysokogo urovnja dlja rascheta radiotekhnicheskikh parametrov materialov special'nogo naznachenija [Features of application of programming languages of high level for calculation of radio engineering parameters of materials of special purpose] //Trudy VIAM (v pečati).