

# TECHNICAL SCIENCES

## OPERATING PARAMETERS OF COMPOSITE RADAR ABSORBING POLYETHYLENE-BASED MATERIALS

**Bannyi V.**

*Ph.D. in Physics, Assoc. Prof.  
Gomel State Medical University*

**Tsarenko I.**

*Ph.D. in Material Science, Assoc. Prof.  
Sukhoi State Technical University of Gomel*

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА

**Банний В.А.**

*к.т.н., доцент*

*УО «Гомельский государственный  
медицинский университет»*

**Царенко И.В.**

*к.т.н., доцент*

*УО «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого»*

**DOI: 10.24412/3453-9875-2021-72-1-42-45**

### Abstract

Radar absorbing materials (RAM) are one of the solutions to the problems of electromagnetic ecology, electromagnetic safety and electromagnetic compatibility of radio-electronic equipment. Experimental samples of polyethylene-based (PE) construction sheet RAM has been manufactured by thermal pressing. Electrical, thermo-physical and deformation-strength parameters of monolithic composite RAM were estimated using a complex of physical and physical-mechanical methods. Recommendations for the application of the developed PE-based composite RAM as a means of equipment protection against microwave radiation have been made.

### Аннотация

Радиопоглощающие материалы (РПМ) являются одним из способов решения проблем электромагнитной экологии, электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости радиоэлектронной техники. Методом термического прессования изготовлена опытная партия конструкционного листового РПМ на основе полиэтилена (ПЭ). С применением комплекса физических и физико-механических методов исследования оценены электрические, теплофизические и деформационно-прочностные параметры монолитных композиционных РПМ. Даны рекомендации по применению разработанных композиционных РПМ на основе ПЭ в качестве средств защиты объектов техники от СВЧ-излучения.

**Keywords:** SHF radiation, electromagnetic safety, radar absorbing material, polymeric composite, polyethylene.

**Ключевые слова:** СВЧ-излучение, электромагнитная безопасность, радиопоглощающий материал, полимерный композит, полиэтилен.

**Введение.** СВЧ-диапазоне, охватывающем полосу частот от 3 до 30 ГГц, функционирует значительное количество современных радиоэлектронных систем, бытовой техники, мобильной и спутниковой связи, навигации и радиолокации, радиоастрономии и т.д. Эксплуатация радиотехнических систем СВЧ приводит к повышению естественного уровня электромагнитного фона, вызывает проблемы электромагнитного загрязнения, электромагнитной безопасности и электромагнитной совместимости радио- и электронной техники. Одним из перспективных средств решения указанных проблем являются композиционные радиопоглощающие материалы (РПМ). Существующая номенклатура композиционных РПМ включает множество материалов, изготавливаемых по оригинальным технологиям. Свою нишу среди современных РПМ занимают композиты на основе конструкционных крупнотоннажно выпускаемых

термопластов, в частности, полиэтилена (ПЭ), и функциональных наполнителей (ФН). Такие РПМ привлекают малой удельной массой и технологичностью, обеспечивая электромагнитную совместимость узлов электронной аппаратуры и регулируемый уровень электрических и магнитных потерь при взаимодействии с радиоизлучением.

**Цель работы** состояла в оценке электрических, теплофизических и физико-механических параметров композиционных РПМ на основе ПЭ.

**Объектами исследований** служили листовые композиционные РПМ на основе ПЭ (ГОСТ 16803-070). В качестве ФН использовали магнитные и электропроводящие вещества: дисперсные магнитно-мягкий марганец-цинковый феррит (ММФ, ТУ 6-09-5111-84, марка 2500 НМС), углеродную ткань Бусофит Т-1, стеклосферы.

Методом термического прессования изготовлены экспериментальные образцы конструкционного листового РПМ. Образцы РПМ выполнены в соответствии с принципами размерно-рецептурной и структурной оптимизации по критерию наилучшего радиопоглощения [1-4]. С применением комплекса физических методов исследования оценены электрические и теплофизические характеристики монолитных композиционных РПМ. Электро- и теплофизические характеристики РПМ определяли по стандартным методикам. Для измерения электрического сопротивления образцов РПМ использовали вольтметр универсальный цифровой В27А; для измерения тангенса угла диэлектрических потерь и электропроводности – измеритель Е7-8. Микрокалориметрический анализ осуществляли на дифференциальном сканирующем микрокалориметре ДСМ-3А. Испытания по определению температуры размягчения термопластов по Вика (ГОСТ 15088-2014) проводили в воздушной среде на приборе FWV «Fritz Heckert».

Поглощение энергии электромагнитного излучения (ЭМИ) композиционным РПМ, как правило, сопровождается выделением значительного количества тепловой энергии, которая может быть разрушительна для материала [5-7]. Поэтому целесообразно было исследовать теплофизические

параметры образцов разработанных композиционных материалов, прежде всего, теплопроводность и теплостойкость. Результаты исследований электрических и теплофизических параметров РПМ представлены в таблице 1, где для сравнения приведены аналогичные параметры РПМ марки ХВ-10,6 (ТУ 6-00-5761783-322-89), промышленно выпускаемого ООО «Гелиус» (г. Владимир, Россия).

Методом ДСК установлены температуры фазовых переходов РПМ на основе ПЭ и ММФ, полученных методом термического прессования. ММФ различной дисперсности был введен в полимерную матрицу на стадии смешения порошкообразных составляющих. Установлено (табл. 1), что наполнение ПЭ дисперсным ММФ (50 % масс) с размером частиц 63–100 мкм, в одном случае, и 160–200 мкм – в другом, приводит к незначительному изменению температуры плавления и кристаллизации связующего термопластичных образцов РПМ. Иная картина наблюдается при более «жестких» условиях переработки и изготовления композиционных РПМ, в частности, для melt-blown нетканых РПМ [8, 9]. В этом случае взаимодействие наполнителя и связующего значительно влияет на фазовые и релаксационные переходы последнего.

Таблица 1

Электро-, теплофизические и деформационно-прочностные параметры листовых РПМ

Параметры	Наименование образцов					
	Промышленный ХВ-10,6, ТУ 6-00-5761783-322-89; h=3,2 мм	Экспериментальные, h = 3 мм				
		ПЭ 16803-070	ПЭ + ММФ (50 %, 63-100 мкм)	ПЭ + ММФ (50 %, 160-200 мкм)	ПЭ+ММФ (50 %, 160-200 мкм) + 10 % стеклосферы	ПЭ+ММФ (50 %, 160-200 мкм) + углеткань
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,39	0,92	1,49	1,55	1,67	1,47
T <sub>пл.</sub> °С	–	108,0	108,4	105,1	–	–
T <sub>кр.</sub> °С	–	90,4	90,4	90,5	–	–
Теплостойкость по Вика, °С	–	92	93	97	96	95*
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,78	0,28	0,42	0,37	–	–
Электропроводность, Ом <sup>-1</sup> ·м <sup>-1</sup>	–	10 <sup>-15</sup>	4 10 <sup>-6</sup>	1,72 10 <sup>-3</sup>	9,3 10 <sup>-4</sup>	1,29 10 <sup>-4</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,07	0,0005	0,37	–	0,02	–
Отн. удлинение при разрыве, %	30,0	70,3	33,3	30,3	–	–
Модуль упругости, МПа	–	123,1	175,8	164,2	–	–
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	–	13,8	11,0	8,0	–	–
Ударная вязкость по Шарпи с надрезом, кДж/м <sup>2</sup>	–	4,4	1,3	1,7	–	–

\* ГОСТ 15088-2014 Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика – настоящий стандарт не распространяется на ячеистые пластмассы при испытании в жидкой среде и на армированные термопласты.

Как и следовало ожидать, введение ММФ в полимер увеличивает теплопроводность композита и, соответственно, повышает температуру его размягчения (табл. 1). Для определения температуры размягчения образец композита обычно медленно нагревают под действием небольшой нагрузки до заданного значения деформации, соответствующая ему температура и есть температура размягчения. Наиболее распространенным из методов определения температуры размягчения пластиков является метод Вика, который использован в настоящей работе. Теплоустойчивость по Вика оказалась выше для образцов ПЭ + ММФ с более крупными частицами ФН, что, по-видимому, объясняется более высокой теплоемкостью последних. С этим согласуется повышенная теплопроводность композита с размером частиц ФН 63–100 мкм, в сравнении с аналогичными образцами с дисперсностью частиц ММФ 160–200 мкм. Высокой теплопроводности способствует более плотная и равномерная упаковка в композите мелких теплопроводящих частиц ФН.

Эффективность поглощения и рассеяния энергии ЭМИ СВЧ диапазона композитными РПМ обеспечивается введением в полимерную матрицу ФН заданной дисперсности [1, 6, 10]. С другой стороны, размеры частиц ФН и адгезия к полимерному связующему определяют прочностные характеристики композита. Поэтому необходимо было провести сравнительное исследование механических характеристик высоконаполненных образцов композитных РПМ, предназначенных для изготовления конструктивных изделий.

Определены зависимости «напряжение – деформация» при растяжении образцов, а также разрушающее напряжение при растяжении, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости при растяжении, ударная вязкость по Шарпи с надрезом и др. (табл. 1).

Исследованы образцы двух типов: 1) сформированные литьем под давлением в виде двойных лопаток из порошкообразных смесей ПЭ + ММФ (50 % масс, размер частиц 63–100 мкм и 160–200 мкм)

(табл. 1); 2) тоже – из предварительно гранулированных смесей ПЭ + ММФ (40 % масс, размер частиц менее 50 мкм). Гранулируемая смесь подвергалась «жестким» термомеханическим воздействиям в процессе ее переработки на двухшнековом экструдере. Для этих двух типов образцов максимальное разрушающее напряжение при растяжении составило – 16,5 и 46,4 МПа, максимальная деформация при разрыве – 36,1 и 16,1 % и модуль упругости – 198,1 и 1106,8 МПа, соответственно.

Во всех случаях наполнение полиэтилена ФН различной дисперсности приводило к снижению его деформационно-прочностных показателей при растяжении. Этот эффект проявлялся тем сильнее, чем больше был размер частиц наполнителя. Напротив, ударная вязкость композита возрастала при увеличении размера частиц ФН (табл. 1). Очевидно, разрушение композитов при ударе происходит тем легче, чем больше площадь межфазных границ «полимер–наполнитель».

Определены электрофизические параметры композиционных РПМ (табл. 1). Результаты измерений электропроводности и тангенса угла диэлектрических потерь композиционных материалов свидетельствуют, что они относятся к полупроводниковым материалам с электронным типом проводимости, т.е. их удельное сопротивление соответствует области  $10^{-4}$ – $10^{+10}$  Ом·см, характерной для полупроводников [11, 12]. Этому и следовало ожидать, зная электрофизические характеристики компонентов, составляющих композит. ПЭ – типичный диэлектрик. Его тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 50 Гц значительно ниже единицы (табл. 1), также мала, но отлична от нуля электропроводность, удельное электрическое сопротивление достигает  $10^{15}$  Ом·см. ММФ, являющийся одним из ФН РПМ, представляет собой магнитную керамику с незначительной электронной электропроводностью, вследствие чего его относят к электронным полупроводникам.

Некоторые физические свойства ФН – марганец-цинкового ММФ и КЖ – приведены в таблице 2 [11, 12].

Таблица 2

Физические свойства ММФ и КЖ

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельное сопротивление, Ом·см	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)	Предельная рабочая температура, °С
ММФ	3–5	10–10 <sup>7</sup>	10 <sup>-2</sup>	70–120
КЖ	7,8	9,8 10 <sup>-6</sup>	73	1316

Электрофизические параметры композита не аддитивны параметрам компонентов, но всегда поддаются объяснению. Следует отметить, что некоторые электрофизические параметры зависят от внешних факторов, в частности, температуры и частоты ЭМИ. Так, тангенс угла диэлектрических потерь, являясь функцией от частоты, позволяет классифицировать один и тот же материал в одних случаях как проводник, в других – как диэлектрик (в зависимости от частоты). Это создает дополнительные сложности в прогнозировании свойств РПМ, но в то же время открывает новые перспективы в создании РПМ с управляемыми характеристиками.

**Заключение.** Результаты выполненных исследований свидетельствуют, что разработанные РПМ имеют высокие теплофизические и физико-механические характеристики и пригодны для эксплуатации в составе электронной и радиотехники в качестве конструктивных элементов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Bannyi V.A., Makarevich A.V., Pinchuk L.S. Radioabsorbing composite materials based on thermoplastics: production technology and structural optimization principles // Proc. of 33rd European Microwave

Conference (EuMC2003). – Munich, Germany, 2003. – P. 1123-1126.

2. Bannyi V.A. Physico-technological peculiarities of forming of radioabsorbing materials based on composite thermoplastics // Proceeding of 16<sup>th</sup> International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON-2006), 2<sup>nd</sup> Microwave & Radar Week in Poland, Krakow, 22–26 May 2006. – P. 1–3.

3. Bannyi V., Kovtun V., Mihovski M. Interaction of radiowaves with a polymer composite electromagnetic screen // NDT Days. – 2018. – Vol. 1. – No 5.

4. Банний В.А., Игнатенко В.А., Азаренок А.С., Евтухова Л.А. Современные материалы и способы защиты биологических объектов от воздействия электромагнитных полей и излучений // Проблемы здоровья и экологии, 2018, №2 (56), с. 4-10.

5. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ю.К. Ковнеристый, И.Ю. Лазарева, А.А. Раваев – М.: Наука, 1982. – 164 с.

6. Алексеев А.Г., Гусева О.М., Семичев В.С. Композиционные ферромагнетики и электромагнитная безопасность. Санкт-Петербург, НИИХ СПбГУ, 1998, 296 с.

7. Банний В.А., Царенко И.В. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена // Вестник Гомельского государственного университета им. П.О. Сухого, 2009, №3, с. 3-6.

8. Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В.А. Гольдаде, А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук и др. – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.

9. Пат. 7364 ВУ, МКП 7 А41D31/00, G21F3/02. Радиопоглощающий материал для верхней одежды / Банний В.А., Пинчук Л.С., Макаревич А.В. – № а20011080; Заявл. 19.12.2001; Опубл. 30.06.2003 // Афіційны бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці. – 2005. – №3.

10. Банний В.А., Царенко И.В., Красюк С.И. Модифицированные углеродным наполнителем радиопоглощающие композиционные материалы на основе полиэтилена / Тезисы докладов XII Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» // Гомель, 2018, стр. 101-102 (22-23 ноября 2018 г. – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого).

11. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы – Л.: Энергия, 1969. – 408 с.

12. Физическая энциклопедия: В 5 т. / Под ред. А.М. Прохорова. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.

## EVALUATION OF THE RESULTS OF CONTROL THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE FLOW CONVERTER OF OIL DENSITY

**Emets S.**

*Associated Professor, Candidate of technical sciences,  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa*

**Akhmatvaliev R.**

*Master's student,  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa*

**Ignateva L.**

*Master's student,  
Ufa State Petroleum Technological University, Ufa*

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТИ

**Емец С.В.**

*Доцент, кандидат технических наук,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

**Ахматвалиев Р.Г.**

*Магистрант,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

**Игнатьева Л.И.**

*Магистрант,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа*

DOI: 10.24412/3453-9875-2021-72-1-45-47

### Abstract

This article is devoted to the problem of improving the accuracy of accounting for oil when pumping it with the use of oil custody transfer metering system, using the readings of the flow converters of density. The basic concepts in determining the results of control the metrological characteristics of the density converter and the method for determining the intercontrol interval are considered.