

УДК 620.171.32

DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-142-145

Влияние нагрева на радиотехнические свойства гибкого радиопоглощающего материала

Н.Х. Гюльмагомедов, Ю.И. Лукашенко

Рассмотрено влияние температурного нагрева на радиопоглощающие свойства образца гибкого радиопоглощающего материала (ГРПМ). Особое внимание уделено способностям материала снижать эффективную площадь рассеяния (ЭПР) образцов техники и сохранять радиопоглощающие свойства при воздействии высокой температуры.

Составлена методика, согласно которой ГРПМ подвергался радиотехническим измерениям до и после теплового воздействия. Для ее отработки использовалась безэховая камера для измерения радиотехнических и отражательных свойств объектов. На базе камеры измерены ЭПР металлического листа в отдельности и металлического листа, накрытого ГРПМ, в диапазоне значений частоты 1...10 ГГц до и после теплового нагрева. Нагрев образца осуществлялся в камере высоких температур с использованием термопар высокого давления для контроля температуры нагрева.

Дополнительно рассчитана теоретическая зависимость ЭПР металлического листа в исследуемом диапазоне значений частоты. По полученным зависимостям оценивалась величина снижения ЭПР металлического листа после накрытия его ГРПМ до и после теплового нагрева. При обработке зависимостей выявлено небольшое ухудшение радиопоглощающих свойств ГРПМ после теплового воздействия. Данное расхождение связано с окислением некоторых материалов, входящих в состав ГРПМ. На основе анализа полученных зависимостей установлено, что радиопоглощающие свойства ГРПМ после нагрева претерпели незначительные изменения. Гибкий радиопоглощающий материал обладает ярко выраженными радиопоглощающими свойствами в исследуемом диапазоне значений частоты. Полученные результаты являются хорошей основой для дальнейшего исследования возможности применения ГРПМ в качестве средства снижения заметности в области самолетостроения и ракетостроения.

Ключевые слова: радиолокация, радиопоглощающий материал, эффективная площадь рассеяния, снижение заметности.

Для цитирования: Гюльмагомедов Н.Х., Лукашенко Ю.И. Влияние нагрева на радиотехнические свойства гибкого радиопоглощающего материала // Вестник МЭИ. 2017. № 4. С. 142—145. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-142-145.

The Effect of Heating Temperature on the Radio-Technical Properties of Flexible Radar-Absorbing Material

N.Kh. Gyul'magomedov, Yu.I. Lukashenko

The effect of heating temperature on the radar-absorbing properties of a flexible radar-absorbing material (FRAM) sample is considered. Special attention is paid to the ability of this material to reduce the radar cross-section (RCS) of various equipment models and to retain the radar-absorbing properties when exposed to high temperatures.

A procedure of subjecting FRAM to radio-technical measurements before and after its exposure to heating was drawn up. An anechoic chamber intended for measuring the radio-technical and reflective properties of objects was used for elaborating the procedure. The anechoic chamber was used to measure the RCS of a metal sheet alone and of the same sheet covered with FRAM in a frequency band of 1--10 GHz, before and after heating it. The sample was heated in a high-temperature chamber with the use of high-pressure thermocouples to monitor the heating temperature. In addition, the theoretical dependence of the metal sheet RCS in the studied frequency band was calculated. The obtained dependencies were used to estimate the extent to which the RCS of a metal sheet covered by FRAM decreased before and after the heating. The results from processing the dependences revealed a slight decrease in the radar absorbing properties of the FRAM after its exposure to heating. This difference is attributed to oxidation of certain materials that make up the FRAM. An analysis of the obtained dependencies has shown that the radar absorbing properties of the FRAM undergone only minor changes after heating. The FRAM has been found to possess pronounced radar absorbing properties in the studied frequency band. The obtained results can serve as a good basis for further investigation of the possibility of using the FRAM as a means for reducing the visibility of flying objects in the field of aircraft and rocket engineering.

Key words: radio detecting and ranging, radar absorbing material, radar cross-section, visibility reduction.

For citation: Gyul'magomedov N.Kh., Lukashenko Yu.I. The Effect of Heating Temperature on the Radio-Technical Properties of Flexible Radar-Absorbing Material. MPEI Vestnik. 2017; 4: 142—145. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-142-145.

Снижение радиолокационной заметности летательных аппаратов и образцов наземной военной техники достигается за счет применения специальных сглаживающих форм и покрытия радиопоглощающими материалами (РПМ) локальных участков наиболее сильного вторичного излучения, связанных с геометрооптическим отражением и рассеянием на изломах поверхности [1].

Применение радиопоглощающих материалов и покрытий — мощный резерв понижения радиолокационной заметности. Работа радиопоглощающих материалов сводится к тому, что они преобразуют энергию электромагнитного поля в другие виды энергии (в основном в тепловую). При взаимодействии электромагнитного поля с материалом наблюдается поглощение, рассеяние и интерференция волн. Поглощение ослабляет поле падающей волны за счет перехода электромагнитной энергии в тепловую вследствие диэлектрических и магнитных потерь [1]. Рассеяние происходит в результате преобразования распространяющегося в материале потока электромагнитной энергии определенного направления в потоки различных направлений. Интерференция радиоволн характеризует отражательную способность радиопоглощающего материала в направлении наибольшего вторичного излучения от его поверхности.

Современные материалы обладают хорошими радиопоглощающими свойствами при определенных условиях внешнего воздействия (например, температуры). Выход за рамки данных условий чреват ухудшением свойств. Например, в современных радиопоглощающих материалах используют ферромагнетики, которые не только улучшают радиопоглощающие свойства материалов, но и расширяют диапазон значений частоты [2]. Однако, ферромагнетики имеют очень ограниченные рамки по температуре. Для каждого из них существует температура, выше которой его свойства исчезают и вещество становится парамагнетиком. Сохранение радиопоглощающих свойств в широком диапазоне значений частоты и температуры — сложная техническая задача.

Для ее решения был разработан и испытан гибкий радиопоглощающий материал, изготовленный на основе кремнезёмных волокон, состоящих из аморфных волокон оксида кремния. Он был специально создан для применения при высоких температурах. Для обеспечения радиопоглощающих свойств в материал иглопробивным методом были введены углеродосодержащие вещества. Материал устойчив к окислению, а также воздействию большинства коррозионных растворов и химических веществ.

Основными целями проведения радиотехнических и тепловых испытаний являлись оценки способности ГРПМ:

- снижать ЭПР образцов техники;
- выдерживать высокие температуры без ухудшения радиопоглощающих свойств.

В задачи испытаний входили:

- измерение эффективной площади рассеяния образца ГРПМ до нагрева;

- нагрев ГРПМ;
- замер ЭПР образца ГРПМ после нагрева.

Для проведения испытаний был выбран опытный образец размером 400×400×10 мм. Его нагревали согласно графику температурного нагрева, представленному на рис. 1 и соответствующему одному из возможных режимов нагрева поверхности образцов летательной техники при полете на дозвуковых скоростях. Максимальная температура нагрева составила 500 °С (при 600 с).

Схема проведения измерения ЭПР образца показана на рис. 2. В качестве эталонного образца для сравнения по ЭПР был выбран эталонный металлический лист 300×300 см. Измерения проводили в два этапа:

- измеряли ЭПР металлического листа;
- измеряли ЭПР накрытого ГРПМ металлического листа.

Измерения ЭПР проводили на измерительном стенде для измерения радиотехнических характеристик (РТХ) антенн и отражательных характеристик объектов в диапазоне частот 1...10 ГГц на базе безэховой камеры (БЭК) (см. рис. 2) в два этапа: до нагрева и после него.

Результаты проведенных измерений изображены на рис. 3. Для сравнения также была построена и теоретическая зависимость ЭПР металлического листа [3] от частоты согласно формуле

$$\sigma = 4\pi S^2/\lambda^2,$$

где S — площадь пластины; λ — длина волны.

Экспериментально полученная зависимость ЭПР металлического листа от частоты совпадает с теоретической зависимостью. Но на частотах 2 и 8,5 ГГц есть незначительные выбросы, связанные с особенностью измерения ЭПР на данном измерительном оборудовании. Особенность заключается в необходимости перекоммутации измерительного оборудования под определенные диапазоны значений частоты. Во время проведения измерений были использованы следующие диапазоны значений частоты измерений: 1...2; 2...4; 4...8 и 8...18 ГГц.

На частотах ниже 2 ГГц видно, что значение ЭПР самой металлической пластины и с ГРПМ приближенно совпадают. Это связано с тем, что длина волны на данных частотах соизмерима с размерами металлического листа и большая часть падающей электромагнитной волны огибает лист [4].

Из анализа полученных результатов можно сделать выводы:

- исследуемый образец ГРПМ обладает ярко выраженными радиопоглощающими свойствами. Благодаря использованию радиопоглощающего материала удалось снизить ЭПР металлического листа более чем на 10 дБ в среднем;

- максимальное значение ЭПР в исследуемом диапазоне значений частоты от металлического листа, накрытого ГРПМ, составляет 6,5 дБ на частоте 2,6 ГГц;

- радиотехнические характеристики ГРПМ после нагрева претерпели незначительные изменения. Максимальное отклонение между результатами измерений образца до и после нагрева составило 9 дБ на частоте 4,5 ГГц.

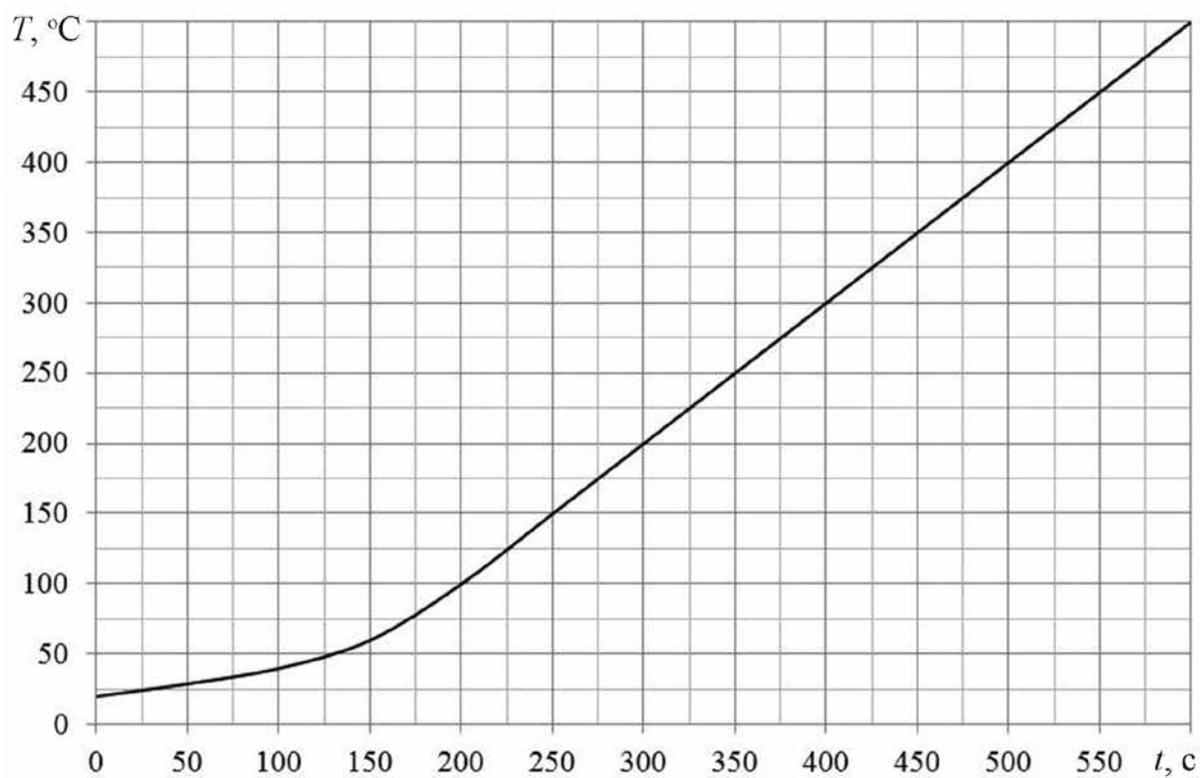


Рис. 1. График температурного нагрева образца

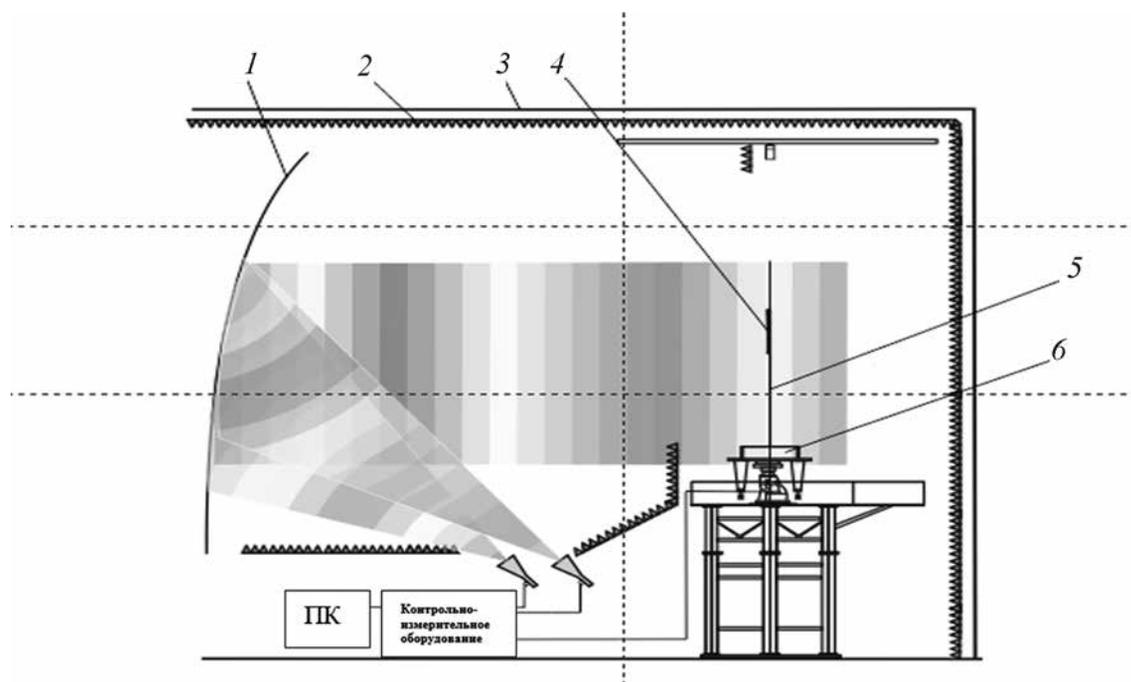


Рис. 2. Схема измерения ЭПР образцов:

1 — зеркало рефлектора; 2 — поглощающие пирамиды; 3 — металлический экран камеры; 4 — исследуемый объект; 5 — радио-прозрачная стойка; 6 — поворотное устройство

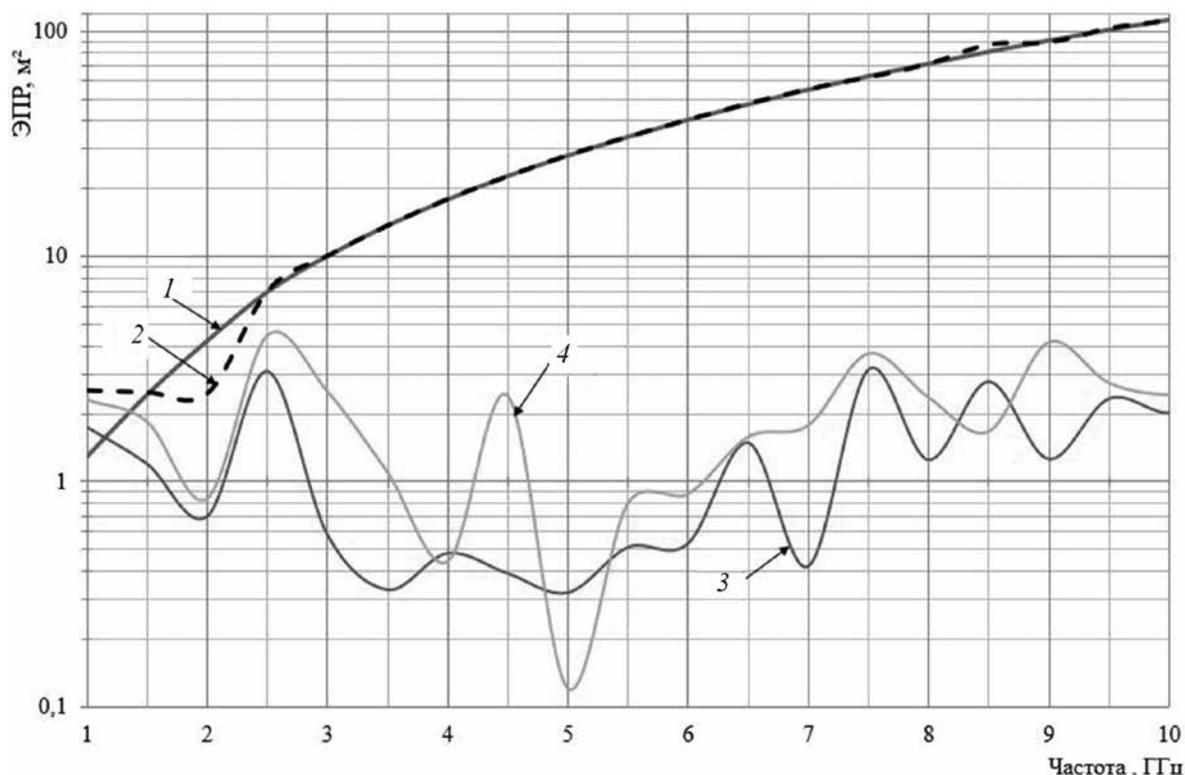


Рис. 3. Зависимость ЭПР образцов от частоты:

1, 2 — металлический лист (теоретическая и экспериментальная зависимости); 3, 4 — ГРПМ + металлический лист (до и после нагрева)

Полученные результаты являются хорошей основой для дальнейшего исследования возможности применения ГРПМ, работающего в широком диапазоне значений частоты и температуры в качестве средства снижения заметности в области самолето- и ракетостроения.

Дальнейшим развитием направления исследования является испытание образцов ГРПМ различной геометрической конфигурации из разных направлений облучения при разных поляризациях.

Литература

1. **Вакин С.А., Шустов Л.Н.** Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М.: Сов. Радио, 1968.
2. **Рабкин Л.И.** Высокочастотные ферромагнетики. М.: Физматлит, 1960.
3. **Кобак В.О.** Радиолокационные отражатели. М.: Сов. Радио, 1975.
4. **Уфимцев Т.Я.** Метод краевых волн в физической теории дифракции. М.: Сов. Радио, 1962.

References

1. **Vakin S.A., Shustov L.N.** Osnovy Radioprotivodeystviya i Radiotekhnicheskoy Razvedki. M.: Sov. Radio, 1968. (in Russian).

2. **Rabkin L.I.** Vysokochastotnye Ferromagnetiki. M.: Fizmatlit, 1960. (in Russian).

3. **Kobak V.O.** Radiolokatsionnye Otrazhateli. M.: Sov. Radio, 1975, (in Russian).

4. **Ufimtsev T.Ya.** Metod Kraevykh Voln v Fizicheskoy Teorii Difraktsii. M.: Sov. Radio, 1962. (in Russian).

Сведения об авторах

Гюльмагомедов Несреддин Ханмагомедович — аспирант кафедры радиотехнических приборов и антенных систем НИУ «МЭИ», e-mail: nesred@rambler.ru
Лукашенко Юрий Иванович — кандидат технических наук, профессор кафедры радиотехнических приборов и антенных систем НИУ «МЭИ»

Information about authors

Gyul'magomedov Nesreddin Kh. — Ph.D.-student of Radio Devices and Antenna Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: nesred@rambler.ru

Lukashenko Yuriy I. — Ph.D. (Techn.), Professor of Radio Devices and Antenna Systems Dept., NRU MPEI

Статья поступила в редакцию 19.01.2017