

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ: НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С.Н. Махно, П.П. Горбик

*Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины,
ул. Генерала Наумова, 17, Киев, 03164, Украина
e-mail: stmax@ukr.net*

Приведены данные, характеризующие развитие научного направления, связанного с изучением взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Рассмотрены характеристики перспективных для использования в народном хозяйстве радиопоглощающих материалов.

Вступление

Формирование тематики и развитие научных подходов к изучению взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) с высокодисперсным веществом в Институте химии поверхности НАН Украины проводилось с момента его основания (май 1986 г.) по инициативе директора академика НАН Украины А.А.Чуйко. Указанное направление было нацелено на развитие научных основ создания сред и покрытий с заданными электрофизическими характеристиками. В это же время в средствах массовой информации широко обсуждались заявления о намерениях ученых и военных США создать невидимый для радаров летательный аппарат. Соответствующая программа исследований, а потом и технология создания невидимого для радиолокационных станций летательных аппаратов стала известна под названием «Стелс». Таким образом, исследования в указанной области приобрели четкие очертания «двойного применения».

Развитие исследований взаимодействия ЭМИ с веществом за рубежом

Первые шаги по применению РПМ были сделаны в Германии в конце Второй мировой войны. В результате ночных атак английских самолетов, оборудованных радиолокаторами, резко возросли потери немецких подводных лодок. Именно тогда на их рубки стали наносить радиопоглощающие покрытия и была разработана серийная технология производства мелкодисперсных ферромагнитных наполнителей, используемых в покрытиях. С этого момента проблема уменьшения радиолокационной заметности различных объектов вооружения и военной техники привлекает серьезное внимание промышленно развитых стран [1].

Наиболее значимые результаты в области исследований взаимодействия ЭМИ с веществом получены в США в ходе выполнения работ по программе «Стелс». Практическим воплощением таких исследований в рамках замысла сделать объекты «невидимыми» для средств противовоздушной и противоракетной обороны стали ударно-разведовательный самолет Локхид F117А и стратегический бомбардировщик Нортроп В-2 [2].

Под стелс-технологиями, как правило, подразумевают комплекс технических решений, в результате которых уменьшается уровень сигналов, поступающих от военного объекта на приемные системы, пытающиеся объект обнаружить и уничтожить. Эти сигналы переносятся акустическими и электромагнитными волнами в широком спектре частот. Сегодня стелс-технологии включают в себя следующие основные направления: теорию дифракции на телах сложной формы, разработку и исследование радиопоглощающих материалов, технологию нанесения покрытий и, наконец, радиофизический эксперимент, используемый для контроля в каждом из перечисленных направлений. Одна из важнейших

задач – уменьшение уровня сигналов, возникающих в результате отражения объектом электромагнитных волн, излучаемых радиолокаторами. Поскольку, радиолокационные станции – наиболее "дальнодействующее" средство обнаружения и наведения, настоящий «бум» в прессе по поводу стелс-технологий возник с появлением американского самолета F-117A, созданного, в первую очередь, для успешного преодоления системы ПВО, оборудованной мощными локаторами.

В настоящее время стелс-технология начинается с математического моделирования рассеяния электромагнитной волны на объекте, радиолокационная заметность которого должна быть снижена. Этот шаг принципиален для предварительной оценки достижимого результата и позволяет оптимизировать форму и электрофизические характеристики объекта. Математические и расчетные модели базируются на решении граничных задач дифракции электромагнитных волн на телах сложной формы, имеющих в своем составе специальные материалы и покрытия. Возможности современной вычислительной техники позволяют создавать программное обеспечение для моделирования рассеяния электромагнитной волны даже на таких сложных объектах, как самолеты и корабли, учитывая многообразие подвесного оборудования, щелей, лючков и многих других, казалось бы незначительных, деталей конструкции. Именно численные методы решения задач рассеяния на основе интегральных уравнений, оценка рассеивающих свойств методом краевых волн, а также сочетание этих методов были использованы нами в многочисленных электродинамических моделях объектов со сниженной радиолокационной заметностью [2].

Благодаря развитию математического аппарата и средств вычислительной техники наносимые на различные элементы самолета радиопоглощающие покрытия в наше время отличаются от тех, которые применялись 10–15 лет тому назад. Современные покрытия имеют переменную по профилю толщину, сложную структуру с меняющимися значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей как по толщине (нормально к поверхности), так и вдоль поверхности обшивки. Решая фундаментальные задачи, связанные с прохождением электромагнитной волны через гетерогенные среды, изучая поведение гетерогенных смесей вблизи порога перколяции, исследователи научились создавать вещества с любым частотным поведением действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, естественно в рамках принципа Крамерса-Кронига. Создание веществ с произвольным законом поведения магнитной проницаемости связано с некоторыми дополнительными ограничениями. Современный конструктор, оптимизируя эффективную поверхность рассеяния (ЭПР) какого-либо фрагмента самолета и подбирая для этой цели диэлектрическую и магнитную проницаемость вещества, распределение его толщины по поверхности фрагмента, может быть уверен, что технологи в дальнейшем воспроизведут требуемые параметры. Отметим также, что проведение соответствующих оптимизаций требует значительного предварительного опыта, поскольку необходимо непрерывно находить компромисс между желанием получить минимальное отражение, толщиной материала, его прочностью и, наконец, аэродинамическими свойствами фрагмента [3].

Фрагменты самолетов, покрытых радиопоглощающим и рассеивающим покрытиями, исследуются в так называемых безэховых камерах. В них моделируются условия, реализуемые в пространстве в реальной ситуации, при которой на объект падает плоская электромагнитная волна и отсутствуют переотражения от подстилающей поверхности. Создание безэховых камер с малым уровнем шумов требует искусной работы, навыками которой российские ученые владеют в такой степени, что экспортируют эти камеры в промышленно развитые страны. После того как основные фрагменты самолета пройдут испытания в безэховых камерах, вносятся технологические поправки, если это необходимо, и осуществляется полный технологический цикл работы на самолете. В процессе ведется непрерывный радиофизический контроль.

Основной характеристикой, определяющей свойства самолета как отражающего электромагнитные излучения объекта, является эффективная поверхность рассеяния. Она характеризует способность преобразовывать падающую электромагнитную волну в

рассеянную волну, распространяющуюся в направлении на приемник. В стелс-технологии в основном рассматривали однопозиционную локацию, когда приемник и передатчик совмещены. Поэтому, при разработке самолета F-117A технологической особенностью была его конструкция, обеспечивающая отражение ЭМИ зеркально по отношению к РЛС. Для цилиндрических фрагментов применялись покрытия, образующие линзы Люнеберга. Все изгибы, кромки, кабины, воздухозаборники покрывались многослойными РПМ.

Все описанные выше технологические разработки осуществляются практически во всех развитых странах. В результате развития стелс-технологий существенно изменена и радиолокационная заметность сверхзвуковых маневренных самолетов. Если в 1980-х годах самолеты типа F-15 имели ЭПР более 10 м^2 то у модернизированного авиационного комплекса ЭПР составляет $1\text{--}1,5\text{ м}^2$, а у перспективных авиационных комплексов пятого поколения, таких как F-22, JSF, – $0,3\text{ м}^2$. Еще меньшее значение ЭПР у модернизированного самолета МИГ-21.

В России уже давно существуют также уникальные технологии, с помощью которых может быть существенно понижена "видимость" любых движущихся объектов – от самолета до автомобиля. Речь идет о генераторах плазмы. Плазма, обволакивая маскируемый объект, делает его малозаметным для излучения радиолокаторов. Даже самый старый и дешевый истребитель, оборудованный генератором плазмы, по своим характеристикам оставит позади широко разрекламированные и дорогие американские самолеты F-117A и B-2, на разработку которых были потрачены большие средства, и их уже снимают с производства. Но в результате проведенных исследований и разработок решен ряд фундаментальных и прикладных проблем стелс-технологии: созданы расчетно-экспериментальная методика и комплексные технологии снижения заметности; предложены новые типы радиопоглощающих материалов и покрытий. Несмотря на то, что достигнуты значительные успехи, это направление пребывает в постоянном развитии.

Разработка радиопоглощающих материалов

Свойства некоторых РПМ, разработанных в ИХП им. А.А. Чуйко НАН Украины, которые в настоящее время могут выпускаться серийно, приведены ниже.

Радиопоглощающий материал "П-МТЗЛ"

Сверхвысокочастотный (СВЧ)–поглощающий, звуко-, теплоизолирующий материал типа "П-МТЗЛ". Нетоксичный. Может использоваться в строительстве экологически безопасных от влияния СВЧ-излучения жилых домов и служебных помещений. Температурный диапазон эксплуатации – от минус 50 до плюс 90 °С, относительная влажность воздуха от 0 до 98 %. Внешний вид – гибкий, волокнистый материал. Основные физико-механические свойства материала "П-МТЗЛ" приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства материала "П-МТЗЛ"

Поверхностная плотность, г/м ²	350–960
Толщина, мм	8–15
Предел прочности на разрыв полосы 50x100мм, кгс	88–294
Влажность нормированная, %	3–12
Теплопроводность, Вт/м·К	0,045–0,048
Коэффициент звукопоглощения на частоте 4000 Гц, %	40–52
Коэффициент поглощения излучение СВЧ-диапазона, dB	18–25

Радиопоглощающий материал "Цепор"

СВЧ–поглощающий, звуко-, теплоизолирующий материал типа "Цепор". Нетоксичен, стойкий к кислотным и щелочным средам, растворителям и морской воде. Температурный диапазон эксплуатации – от минус 40 до плюс 100 °С, относительная –

влажность воздуха от 0 до 98 %. Внешний вид материала – твердый пористый материал. Основные физико-механические свойства материала "Цепор" приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства материала "Цепор"

Эффективная плотность, г/м ³	0,5–1,1
Толщина, мм	10–25
Предел прочности при сжатии, МПа	7–8
Влажность нормированная, %	2–5
Теплопроводность, Вт/мК	0,06–0,1
Коэффициент звукопоглощения на частоте 4000 Гц, %	40–50
Коэффициент поглощения излучение СВЧ-диапазона, dB	18–20

Широкополосный радиопоглощающий материал "ПУХ-Л1"

Материал предназначен для создания эффективных радиопоглощающих элементов облицовки безэховых камер, экранированных помещений, и других инженерных сооружений, защиты обслуживающего персонала от воздействия электромагнитного излучения СВЧ диапазона, а также тепло- и звукоизоляции.

В качестве облицовочного материала "ПУХ-Л1" применяется путем заполнения полых радиопрозрачных негорючих контейнеров различной формы. Для биологической защиты персонала используется в качестве изготовленных экранов и пошива легкой, теплой одежды. Материал нетоксичен, механических нагрузок не несет. Температурный диапазон эксплуатации от минус 50 до плюс 70 °С при относительной влажности воздуха от 0 до 98 %. Внешний вид материала – волокнистая масса в виде матов вспушенной ваты с плотностью 5 кг/м³. Коэффициент поглощения излучение СВЧ-диапазона – 25–35 dB.

Преимуществом указанных материалов является широкополосность, невысокая стоимость, относительно низкий удельный вес, возможность управлять параметрами при изготовлении и во время эксплуатации, химическая стойкость (к морской воде, кислым и щелочным средам, растворителям), экологичность технологии изготовления.

Разработанные материалы демонстрировались на международных выставках и могут поставляться на контрактной основе.

Выводы

Развитие наукоемких технологий, в частности «двойного назначения», является основой создания ряда перспективных для народного хозяйства многофункциональных материалов: звуко-, теплоизолирующих и поглощающих электромагнитное излучение в широком диапазоне частот. Такие материалы остаются актуальными, в частности, для строительства защищенных от электромагнитного смога домов.

Литература

1. Лагарьков А.Н., Погосян М.А. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий// Вестн. Рос. АН. – 2003. Т. 73, № 9. –С. 848–857 .
2. Масалов С.А., Рыжак А.В., Сухаревский О.И., Шкиль В.М. Физические основы диапазонных технологий типа "Стелс". – Санкт-Петербург: ВИКУ им. А.Ф.Можайского. –1999. –163 с.
3. Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В. Физические основы технологии Stealth. Санкт-Петербург: Изд. ВВМ . – 2007. –283 с.

ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ: ДЕЯКІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ

С.М. Махно, П.П. Горбик

*Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України,
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна
e-mail: stmax@ukr.net*

Приведено дані, що характеризують розвиток наукового напрямку, пов'язаного з взаємодією електромагнітного випромінювання з речовиною. Наведені характеристики перспективних для використання в народному господарстві радіопоглинаючих матеріалів.

INTERACTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION WITH MATTER: SOME DIRECTIONS OF RESEARCHES DEVELOPMENT AND PROSPECT OF PRACTICAL APPLICATION

S.N. Makhno, P.P. Gorbyk

*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,
17 General Naumov Str. Kyiv, 03164, Ukraine
e-mail: stmax@ukr.net*

The data characterizing the development of scientific direction connected with studying of electromagnetic radiation interaction with matter are reported. The properties of radioabsorbing materials are considered that are perspective for use in the national economy.