

А. М. Бахтиярова^{1✉}, Е. Д. Моисеева¹, Д. В. Климова¹, Д. М. Никулин¹

Использование новых термозащитных покрытий в беспилотных авиационных системах

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: bakhtiyarova7207@gmail.com

Аннотация. Беспилотные авиационные системы (БАС) на сегодняшний день используются во многих отраслях, они нашли широкое применение в МЧС. В основном беспилотные авиационные системы используются для мониторинга обстановки, контроля местностей, обеспечения связи в чрезвычайных ситуациях, осуществления пожаротушения и доставки малогабаритных грузов. При близком подлете к местам с высокой температурой, авиационные системы могут выйти из строя за короткий промежуток времени. Данную проблему можно решить, используя защитные покрытия для основных узлов и элементов БАС. В данной статье рассматриваются термозащитные покрытия, способные увеличить время нахождения БАС вблизи источников высокой температуры. Актуальность темы заключается в поиске новых термозащитных материалов, которые могут использоваться в беспилотных авиационных системах. Целью работы является рассмотрение инновационных термостойких и термозащитных материалов, используемых в узлах и элементах БАС, а также представление возможных термозащитных материалов на основе углеродных нанотрубок.

Ключевые слова: нанотрубки, термостойкое и термозащитное покрытие, БАС

A. M. Bakhtiyarova^{1✉}, E. D. Moiseeva¹, D. V. Klimova¹, D. M. Nikulin¹

Use of new thermal protective coatings in unmanned aircraft systems

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: bakhtiyarova7207@gmail.com

Annotation. Unmanned aircraft systems (UAS) are currently used in many industries, they have found wide application in the Ministry of Emergency Situations. Unmanned aircraft systems are mainly used for situation monitoring, terrain control, emergency communications, fire extinguishing and delivery of small-sized cargo. But when flying close to places with high temperatures, aviation systems can fail in a short period of time. This problem can be solved by using protective coatings for the main units and elements of the UAS. This article discusses heat-protective coatings that can increase the time the UAS stays near high temperatures. The relevance of the topic lies in the search for new heat-protective materials that can be used in unmanned aircraft systems. The purpose of the work is to consider innovative heat-resistant and heat-protective materials used in UAS units and elements, as well as to present possible heat-protective materials based on carbon nanotubes.

Keywords: nanotubes, heat-resistant and thermoprotective coating, UAS

Введение

Во время тушения пожаров подразделения МЧС отправляют на место происшествия разведывательные отряды, чтобы оценить ситуацию. Но это создает риск для жизни и здоровья сотрудников спасательных служб, поэтому инженеры

ищут возможность использовать для этой цели беспилотные авиационные системы. С помощью БАС можно предварительно обследовать место происшествия и определить положение источников опасности, оценить ситуацию. Однако, для того чтобы работать в непосредственной близости с источником высокой температуры, беспилотные авиационные системы должны быть термостойкими и обладать специальной защитой [1, 2].

В 2023 году инженеры из Лондона разработали прототип квадрокоптера Fire Drone, покрытие которого было сделано из полиимидного аэрогеля – пористого геля низкой плотности. Аэрогель состоит в основном из воздушных полостей в связке со стекловолокном, за счет этого дрон может летать вблизи источников высоких температур. Ниже показан внешний вид дрона, при этом все его части заключены в термозащитный корпус, включая электромоторы (рис. 1) [3, 4].



Рис. 1. Внешний вид квадрокоптера Fire Drone

В течение 10 минут квадрокоптер может выдерживать температуру эксплуатации до 200 градусов Цельсия. Причем внутри корпуса поддерживается постоянная температура не выше 40 градусов Цельсия благодаря охлаждающей системе. В дроне имеется инфракрасная камера, которая помогает отслеживать и разведывать местность в условиях дыма, поэтому может помочь спасательным и пожарным службам [4, 5].

В 2024 году инженеры центра НТИ на базе МГТУ им. Н. Э. Баумана разработали полимер, выдерживающий высокую температуру в условиях пожара или боевых действий. Они получили технологию синтеза полиэфиримидов и создали образец, имеющий повышенную термостойкость. Температура плавления этого образца достигла 245 градусов Цельсия, и на данный момент является максимальной [5, 6].

Рассмотренные беспилотные авиационные системы состоят из термостойких и термозащитных узлов и элементов.

Данная работа посвящена изучению возможности использования покрытий на основе углеродных нанотрубок для защиты от быстрого перегрева узлов и элементов БАС.

Методы и материалы

В качестве материала для термозащитного покрытия использовался концентрат из углеродных нанотрубок в дистиллированной воде. Перед нанесением термозащитного покрытия, концентрат с углеродными нанотрубками подвергался ультразвуковой обработке, чтобы получить относительно однородную структуру из агломератов трубок. В качестве образца с нанесенным покрытием использовалась термопара, которая помещалась в разогретую до 150 °С муфельную печь через специальное рабочее отверстие, (рис. 2). Далее измерялось время нагревания термопары до температуры 50, 100 и 120 °С.



Рис. 2. Муфельная печь для проведения опыта

Сначала измерения проводились без нанесения покрытия для возможности последующего сравнения полученных в результате исследования результатов.

Измерения с покрытием проводились в тех же условиях, что и без нанесения покрытия. Покрытие наносилось на обезжиренную термопару методом окунания ее в концентрат с углеродными нанотрубками после ультразвуковой обработки, после чего покрытие высыхало естественным путем. После каждого измерения термопара охлаждалась до комнатной температуры, очищалась от покрытия и обезжиривалась для следующего эксперимента.

Результаты

Результаты измерений, полученные без покрытия и с покрытием, представлены в табл. 1 и табл. 2.

Таблица 1

Результаты измерения термопары без покрытия

№ п/п	Температура, °C	Время, с
1.	50; 100; 120	8,4; 42,2; 69
2.	50; 100; 120	7,7; 35,5; 55,8
3.	50; 100; 120	8,4; 33,8; 55,1
4.	50; 100; 120	10,1; 39,3; 60,1
5.	50; 100; 120	8,2; 34,9; 56,0
Среднее значение	50	8,56
	100	37,14
	120	59,20

Таблица 2

Результаты измерения термопары с покрытием

№ п/п	Температура, °C	Время, с
1.	50; 100; 120	9,2; 59,4; 112
2.	50; 100; 120	8,3; 48,8; 90,1
3.	50; 100; 120	8,9; 43,1; 68
4.	50; 100; 120	10,8; 46,9; 71,2
5.	50; 100; 120	10,5; 49,6; 92,9
Среднее значение	50	9,54
	100	49,56
	120	86,84

Обсуждение

По данным результатов измерения можно увидеть, что среднее время нагревания термопары после нанесения покрытия увеличилось. Для максимальной температуры 120 °C оно увеличилось в 1,4 раза.

Для детального рассмотрения покрытия из нанотрубок использовался микроскоп Carl Zeiss Scope A1, (рис. 3).

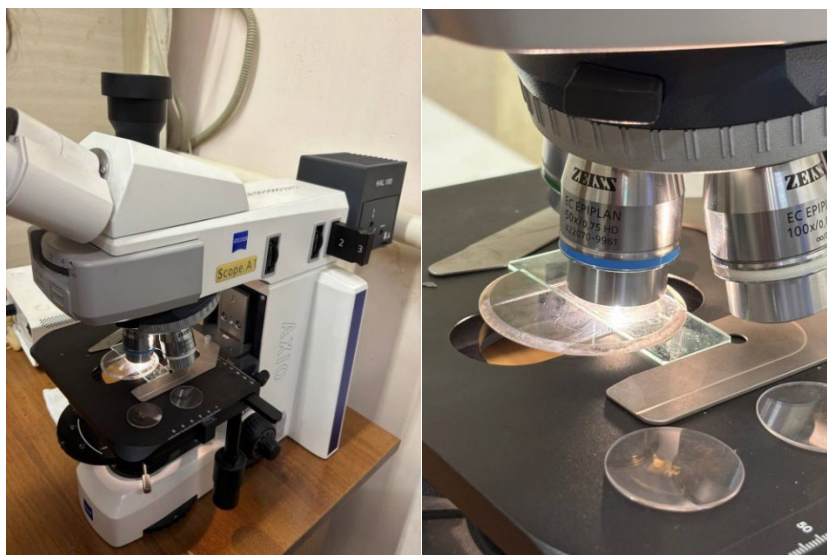


Рис. 3. Анализ нанесенного покрытия на предметном стекле

На рисунке 3 представлена фотография покрытия из нанотрубок на предметном стекле с увеличением 800 крат.



Рис. 3. Вид структуры покрытия, наблюдаемой в микроскопе

При изучении структуры покрытия видно, что агломераты из нанотрубок представляют сетчатую структуру, с огромным числом воздушных каналов

неправильной формы и вследствие плохой теплопроводности воздуха замедляют скорость нагрева (передачи тепла) вглубь материала [7, 8].

Заключение

По данным эксперимента можно сделать вывод, что с использованием покрытия из углеродных нанотрубок можно замедлить рост внутренней температуры тела, заключенного в него. Исходя из вышесказанного нанесение пленок из углеродных нанотрубок на БАС вполне возможно. Это позволит улучшить такие технические характеристики, как дальность и время полета в экстремально высоких температурных условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демичева О.В., Алексеев А.М., Томишко А.Г., Клинова Л.Л., Фетисова О.Е. Многослойные углеродные нанотрубки и их применение: Российский химический журнал. 2008.
2. Беленков Е.А. Трехмерная структура многослойных углеродных нанотрубок: Челябинский физико-математический журнал. 2016.
3. Беленков Е. А. Особенности структуры многослойных нанотрубок: Вестник ЧелГУ. 1998.
4. URL: <https://cnews.ru/link/a616944> (дата обращения: 01.05.2025).
5. Грешняков В.А. Структура и свойства алмазоподобных углеродных нанотрубок: Челябинский физико-математический журнал. 2023.
6. URL: <https://nplus1.ru/news/2023/07/03/the-drone-the-drone-the-drone-is-on-fire> (дата обращения: 01.05.2025).
7. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Рахимов Р.З., Ткачев А.Г., Михалева З.А., Толчков Ю.Н. Ультразвуковая обработка – эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита: Construction materials. 2013.
8. Бессонова А.В., Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Симунин М.М. Методики исследования сорбционных свойств агломератов углеродных нанотрубок: Известия вузов. Электроника, 2011. 88 с.

© А. М. Бахтиярова, Е. Д. Моисеева, Д. В. Климова, Д. М. Никулин, 2025