



УДК 678.8

**МОЛНИЕЗАЩИТА И ВСТРОЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДЛЯ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ**

И.Н. Гуляев

кандидат технических наук

А.Г. Гуняева

А.Е. Раскутин

кандидат технических наук

М.Ю. Федотов

К.В. Сорокин

Апрель 2013

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.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ», №4, 2013 г.

И.Н. Гуляев, А.Г. Гуняева, А.Е. Раскутин, М.Ю. Федотов, К.В. Сорокин

МОЛНИЕЗАЩИТА И ВСТРОЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

Рассмотрены аспекты повышения надежности и безопасности применения полимерных композиционных конструкционных материалов в элементах конструкций летательных аппаратов. Освещена проблема защиты от молниевых разрядов конструкций из углепластиков, выходящих на внешнюю поверхность летательного аппарата, изложены принципы создания конструкционных молниезащитных покрытий из полимерных композиционных материалов и приведены результаты исследований по их разработке на основе структурных компонентов полимерных композиционных материалов, которые могут входить в расчетную силовую схему конструкции из углепластика. Молниезащитное покрытие представляет собой слой углепластика на основе тканной армирующего наполнителя и теплостойкого полимерного связующего, модифицированный углеродными наночастицами, основными преимуществами которого в сравнении с применяемыми в настоящее время бронзовыми сетками является: снижение площади поражения с 65 см² до 4 см²; отсутствие увеличения веса конструкции при нанесении молниезащитного покрытия; исключение протекания коррозионных процессов на границе раздела бронзовая сетка-углепластик; включение слоев молниезащитного покрытия в силовую схему конструкции изделия; возможность проведения ремонта молниезащитного покрытия в случае поражения молнией. Также рассмотрены возможности осуществления встроенного контроля в элементах конструкций из полимерного композиционного материала, в том числе ударных воздействий, за счет интегрирования в структуру оптоволоконных сенсоров с брэгговскими решетками. Приведены примеры изготовления подобных материалов, а также приведен опыт применения углепластиков с интегрированными брэгговскими решетками для мониторинга строительных конструкций и в качестве дорожного индикатора нагрузки.

Ключевые слова: *композиционный конструкционный материал, углепластик, полимерные связующие, наночастицы, молниезащитное покрытие, молниестойкость, встроенный контроль, волоконно-оптический сенсор, волоконная Брэгговская решетка, ударное воздействие*

LIGHTNING PROTECTION AND BUILT-IN CONTROL FOR STRUCTURES MADE OF POLYMER COMPOSITES

The research into the aspects of improving the reliability and safety of the polymer composite structural materials in structural elements of aircraft is carried out. The problem of protecting structures against lightning discharges of carbon fiber reinforced plastics onto the outer surface of the aircraft is covered, principles of structural lightning protection coatings made of polymeric composites are stated and the results of research to develop them on the basis of the structural components of the polymeric composite materials which may be incorporated in the estimated power circuit design of carbon fiber is widely covered. Lightning coating is a layer of woven carbon fiber-based heat-resistant reinforcing filler and binder polymer-modified carbon nanoparticles, the main advantages of which in comparison with the currently used bronze grids is: lower area of the lesion with 65 cm^2 to 4 cm^2 , the lack of weight gain during the application design lightning protection coverage, except corrosion processes at the interface of bronze mesh, carbon fiber, incorporating layers of lightning protection coating power circuit design of the product, the ability to repair lightning protection coverage in the event of lightning. Possibilities of internal controls structural elements of the polymer composite material, including impact shock due to integration in the structure of optical sensors with Bragg gratings are presented. Examples of the manufacture of such materials are given, as well as the experiment with integrated fiber Bragg gratings to monitor building structures and as a road load indicator.

Keywords: *composite structural material, carbon fiber, polymer resin, built-in monitoring, fiber optic sensor, fiber Bragg grating, impact*

В XXI веке углепластики становятся основным конструкционным материалом для авиационной техники гражданского назначения. Зарубежные фирмы такие как «Airbus» и «Boeing» работают над задачей повышения объема применения углепластиков до 60% от массы конструкций. Российские авиастроители, также стремятся увеличить объемы элементов конструкций выполняемых из углепластиков в своих новых машинах «ОАО» Сухого» в SSJ NG и корпорация «Иркут» в MC-21. Решение этой задачи вполне реально, учитывая свойства и качество углепластиков, их стоимость, экономичность в производстве и развитие технологий и оборудования. На сегодняшний день фирма

«Airbus» является лидером по применению ПКМ в конструкции самолета A350 – 53% от массы планера.

Увеличение объемов применения углепластиков в силовых и высоконагруженных ответственных конструкциях, требует новых подходов в обеспечении надежности и безопасности эксплуатации авиационной техники.

Важной проблемой, связанной с обеспечением надёжности эксплуатации самолетов, является обеспечения молниезащищенности самолетных конструкций из углепластиков выходящих на внешнюю поверхность аэродинамического контура, доля которых в планере составляет более 30 % масс.

Конструкционные углепластики являются слабыми проводниками (их сопротивление на 3-4 порядка выше, чем у металлов), незащищенные углепластиковые конструкции при поражении молнией получают повреждения, недопустимые по ресурсным и эксплуатационным требованиям. Применение конструкционных углепластиков в конструкции летальных аппаратов возможно только при условии их молниезащищенности [1-3].

Наиболее подвержены ударам молний концевые участки летательных аппаратов (ЛА): носовая часть, законцовки крыльев, руля высоты и стабилизатора, антенны, гондолы двигателей и т. п. В связи с тем, что воздействие молнии на поверхности летательного аппарата неодинаково, всю поверхность планера условно подразделяют на три зоны. Зона *A* (зона прямых разрядов молнии) - это поверхности летательного аппарата, для которых существует высокая вероятность первоначальных (прямых) разрядов молнии и на которые воздействуют токи с максимальными параметрами ($I=200$ кА, $Q = 200$ Кл); Зона *B* (зона смещающихся или скошенных разрядов) – это поверхности летательного аппарата, для которых существует высокая вероятность перемещения разрядов из зоны 1. Интенсивность токов молнии в этой зоне несколько ниже, чем в зоне *A* ($I=200$ кА, $Q = 20$ Кл). Зона *C* - поверхности летательных аппаратов, не вошедшие в зоны *A* или *B*.

При поражении молнией металлических конструкций, повреждения носят, как правило, локальный характер и имеют вид кратеров или сквозных отверстий, образующихся в результате плавления или сублимации сплавов. Например, дюралевая обшивка толщиной 1 мм при прямом попадании молнии получает повреждения в виде сквозного отверстия диаметром 6 мм.

В отличие от металлов, углепластик получает повреждения в виде сквозного пробоя, расщепления и растрескивания на десятки сантиметров от канала разряда, эрозии и расслоения материала и, как следствие, отрыв слоев в потоке воздуха при полете. Такой

характер разрушения объясняется термической природой процесса, обуславливающей взрыв материала продуктами деструкции связующего.

Для современных летательных аппаратов разработаны различные варианты защиты от молнии. Все существующие системы молниезащиты заключаются в обеспечении близких (по отношению к свойствам металлических конструкций) величин поверхностной электро- и теплопроводности. Достигается это путем нанесения на поверхность углепластиковых обшивок сплошных или дискретных металлических молниезащитных покрытий (МЗП). Используются, в частности, молниезащитные системы на основе приклеенной фольги или напыленных металлов (алюминий, медь, никель), медных или алюминиевых шин, сеток. При этом такие параметры, как, например, толщина покрытия, шаг шин, диаметр проволоки и величина ячейки, выбираются в зависимости от возможного характера воздействия молнии на конкретный агрегат [4].

Большинство применяемых до настоящего времени вариантов защиты имеют весьма ограниченные возможности. Практически ни одна из молниезащитных систем не отвечает в полном объеме требованиям норм летной годности по молниестойкости, весовой эффективности, аэродинамическим характеристикам, эксплуатационной надежности.

Во ФГУП «ВИАМ» в течение ряда лет проводятся исследования по созданию молниезащитных покрытий входящих в структуру углепластиков. Данные исследования позволили сформулировать требования к физическим свойствам молниестойкого материала и основные принципы конструктивных МЗП для углепластиков:

1. Дробление канала молнии (увеличение точек привязки);
2. Повышение электропроводности поверхностного слоя;
3. Повышение температуры деструкции матрицы;
4. Создание многовекторности растекания электрического разряда:
 - Включение в работу 2-го слоя ткани;
 - Создание трансверсальной электропроводности;
5. Включение МЗП в расчет прочности и жесткости.

Итогом исследований явилось создание молниезащитных углеродных покрытий, обладающих способностью к дроблению канала молнии, высокими значениями проводящих характеристик, высокой теплостойкостью материала, ограничивающих степень его разрушения.

Преимущества МЗП на основе углеродного наполнителя, содержащего наноразмерные частицы [5-7]:

1. Снижение площади поражения с 65 см^2 (отслоение бронзовой сетки) до 4 см^2 (эрозия связующего);
2. Отсутствие увеличения веса конструкции при нанесении МЗП на основе углеродного наполнителя с УНЧ (при нанесении бронзовой сетки привес составляет $80\text{-}310 \text{ г/м}^2$);
3. Исключение протекания коррозионных процессов на границе раздела Бронзовая сетка-Углепластик;
4. Включение слоев МЗП с УНЧ в силовую схему конструкции изделия (механические свойства МЗП с УНЧ аналогичны свойствам углепластика силовой части конструкции, а МЗП из бронзовой сетки используется только для молниезащиты);
5. Возможность проведения ремонта МЗП с УНЧ в случае поражения молнией (восстановить сплошность МЗП из бронзовой сетки невозможно).

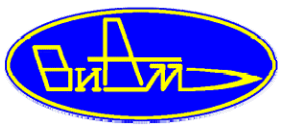
Другим новым направлением повышения безопасности и надежности эксплуатации углепластиковых конструкций является переход от традиционных материалов к материалам нового типа - информкомпозитам. Информкомпозиты – материалы с интегрированными сенсорами. Одними из видов перспективных сенсоров являются волоконно-оптические датчики. Это датчики физических величин на основе решеток показателя преломления Брэгга. Являясь датчиками деформации, они так же могут выполнять роль датчиков температуры [8-9].

В странах ЕС и США успешно реализован целый ряд пилотных проектов по внедрению и эксплуатации систем контроля состояния механизмов, агрегатов и конструкций, подвергающихся механическим и тепловым нагрузкам различного характера с применением волоконных брэгговских решеток (ВБР). В частности, такие системы прошли успешные испытания для контроля состояния автомобильных и железнодорожных мостов, линий электропередач; для измерения распределения механических нагрузок в конструктивных материалах лопастей вертолетов и крыльев самолетов. Во многих случаях (особенно если речь идет о распределенных измерениях в условиях повышенной взрыво- и пожароопасности, об удаленной регистрации стационарных и динамических процессов) отмечается отсутствие альтернативных способов измерения. Уже сейчас авиационными властями США принято решение, что с 2017 года в стране не будет эксплуатироваться ни один самолет, который не будет иметь в конструкции крыла оптоволоконные датчики с брэгговскими решетками.

Во ФГУП «ВИАМ» проводятся исследования по созданию и совершенствованию информкомпозитов, в том числе с интегрированными оптоволоконными сенсорами на

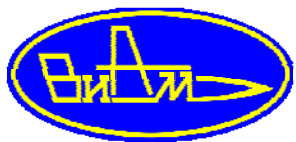
основе решеток Брэгга [10-13]. Разработана технология изготовления углепластика с интегрированными оптоволоконными сенсорами, позволяющая сохранить стабильность работы датчика при изготовлении и эксплуатации. Проведены исследования чувствительности опто-волоконной системы, в том числе в процессе ударного воздействия на углепластик.

Разработанная система встроенного контроля на основе оптоволоконных Брэгговских решеток опробована для контроля деформаций в строительных конструкциях и для мониторинга нагрузки на дорожное полотно.



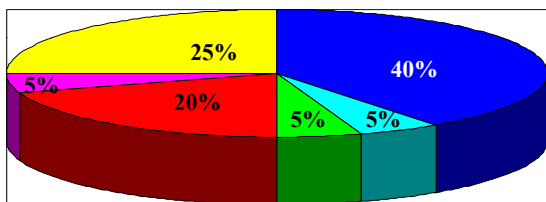
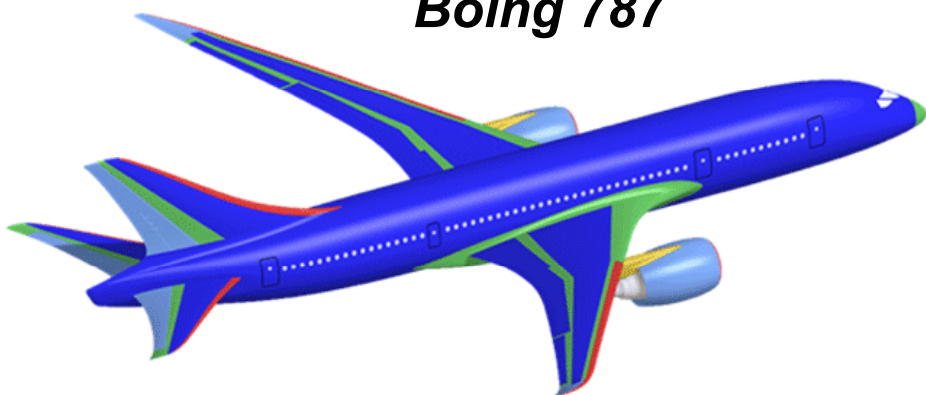
***«Молниезащита и встроенный контроль
для конструкций из ПКМ»***

Докладчик: к.т.н. Гуляев И.Н.



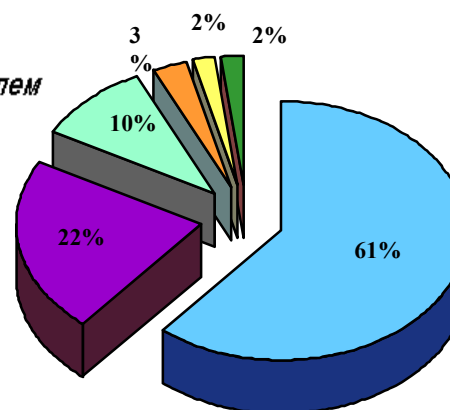
Применение ПКМ в гражданской авиационной технике

Boing 787



- углепластик
- углепластик с сотовым наполнителем
- стеклопластик
- алюминиевые сплавы
- сталь/титановые сплавы

Airbus A380

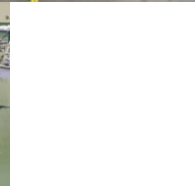


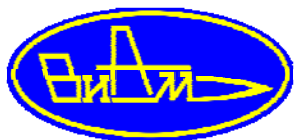
- - Стеклопластик
- - КМ, армированный кварцевым волокном
- - Углепластик
- - АI сплавы
- - GLARE
- - Стали и титановые сплавы



Airbus A350

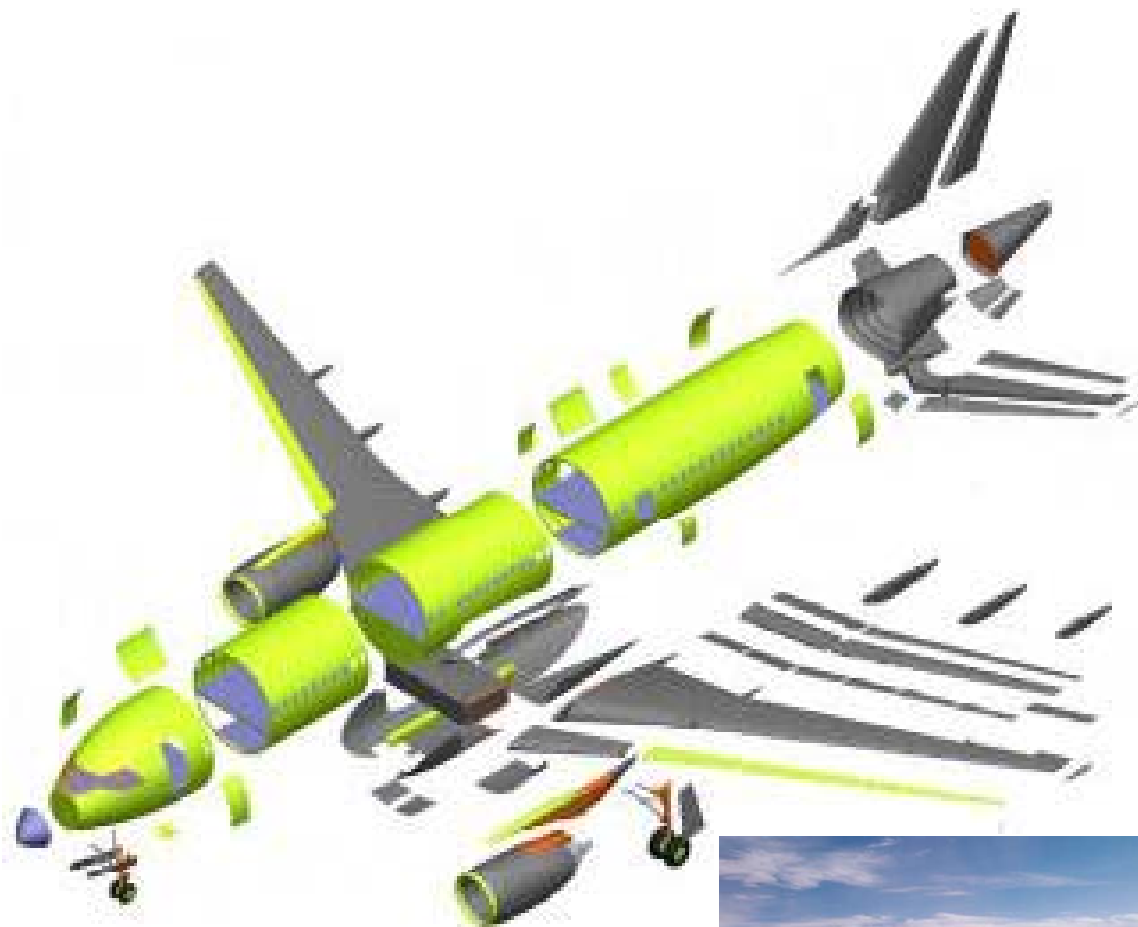
**ПКМ – 53%
от массы
планера**





Применения ПКМ в российской гражданской авиационной технике

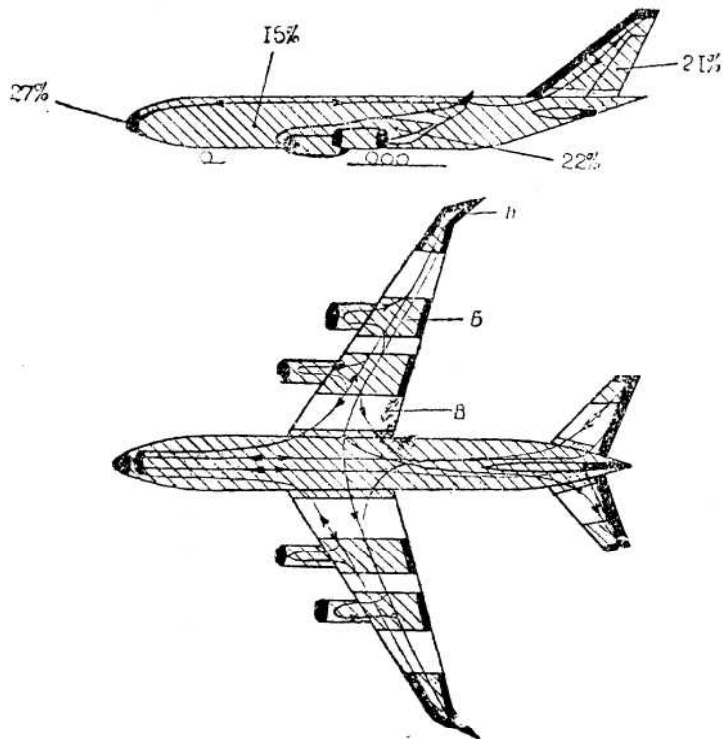
Проекты SSJ NG и MC 21



Повышение надежности и безопасности полетов!



Поражаемость молнией конструкции планера самолета



Образец алюминиевого сплава толщиной 2 мм после воздействия токов молнии с параметрами $I=200$ кА, $Q = 200$ Кл (зона А)

- - Зона А - прямых первоначальных разрядов молнии;
- Зона В - с высокой вероятностью перемещения разряда;
- - Зона С - в которой не отмечаются точки первоначального контакта молнии – пути протекания тока молнии по корпусу самолета.



Образец алюминиевого сплава толщиной 2 мм после воздействия токов молнии с параметрами $I=200$ кА, $Q = 20$ Кл (зона В)

Способы защиты конструкций из ПКМ от попадания молниевое разряда:

- нанесение на поверхность углепластиковых обшивок сплошных или дискретных металлических МЗП;
- алюминиевая фольга или напыленные металлы (алюминий, медь, никель);
- медные и алюминиевые шины;
- бронзовая сетка.





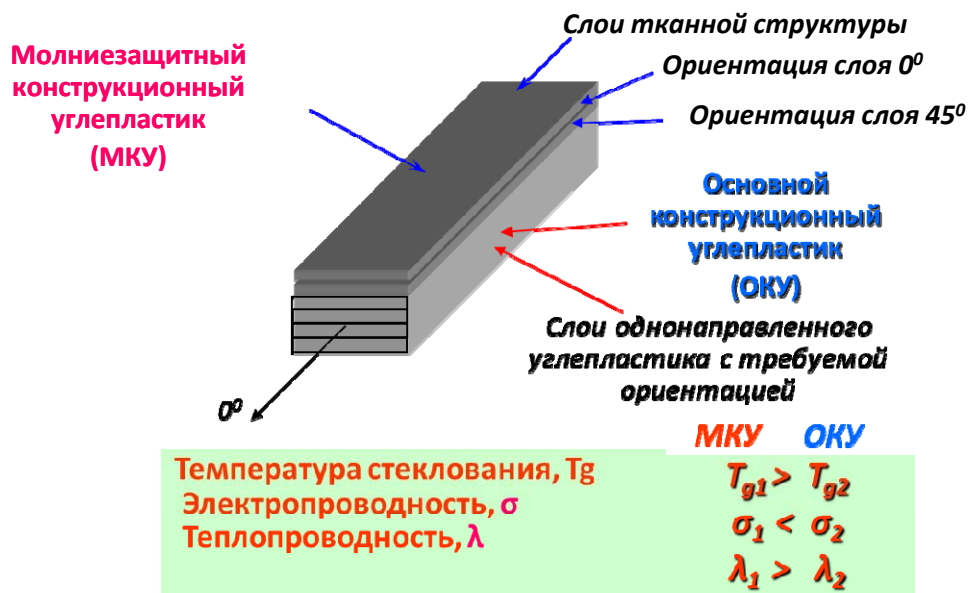
Принципы создания конструкционных молниезащитных покрытий для ПКМ

Принципы создания конструкционных МЗП для углепластиков:

1. Дробление канала молнии (увеличение точек привязки);
2. Повышение электропроводности поверхностного слоя;
3. Повышение температуры деструкции матрицы;
4. Создание многовекторности растекания электрического разряда:
 - Включение в работу 2-го слоя ткани;
 - Создание трансверсальной электропроводности;
5. Включение МЗП в расчет прочности и жесткости.

Преимущества МЗП на основе углеродного наполнителя, содержащего наночастицы:

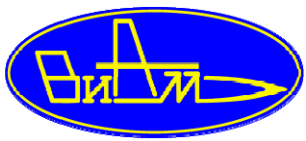
1. Снижение площади поражения с 65 см^2 (отслоение бронзовой сетки) до 4 см^2 (эрозия связующего);
2. Отсутствие увеличения веса конструкции при нанесении МЗП на основе углеродного наполнителя с УНЧ (при нанесении бронзовой сетки привес составляет $80\text{-}310 \text{ г/м}^2$);
3. Исключение протекания коррозионных процессов на границе раздела Бронзовая сетка-Углепластик;
4. Включение слоев МЗП с УНЧ в силовую схему конструкции изделия (механические свойства МЗП с УНЧ аналогичны свойствам углепластика силовой части конструкции, а МЗП из бронзовой сетки используется только для молниезащиты);
5. Возможность проведения ремонта МЗП с УНЧ в случае поражения молнией (восстановить сплошность МЗП из бронзовой сетки невозможно).



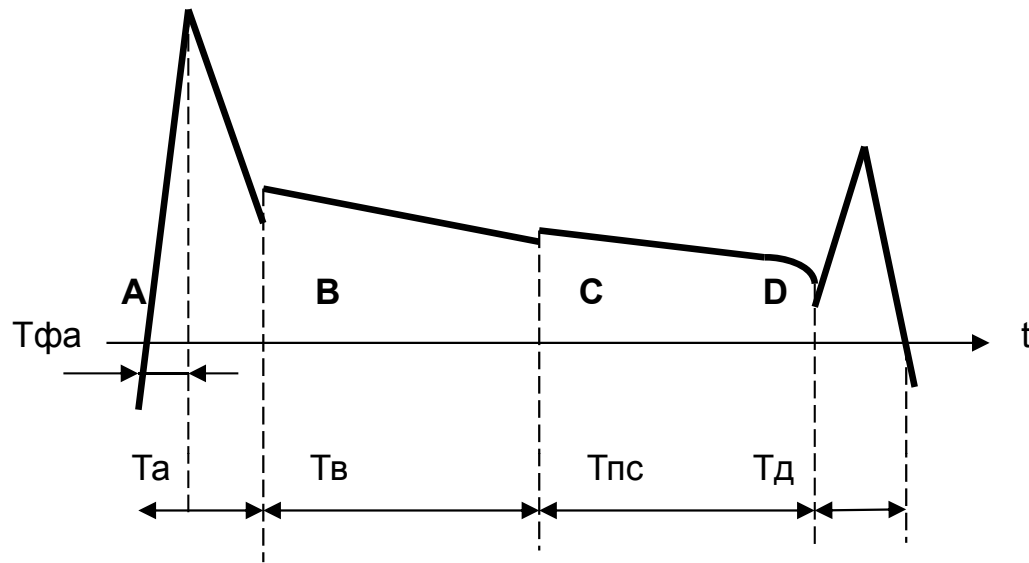


Свойства молниезащитных слоев градиентного угленанокомпозита, содержащих наномодификаторы на отечественных и зарубежных равнопрочных тканях

Свойства	Ткань УТ-900-3к			Ткань Porcher Ind. Арт. 3692		
	без н.ч.	с н.ч.	квоты превосходства [%]	без н.ч.	с н.ч.	квоты превосходства [%]
Предел прочности при сжатии, МПа	620	710	15	680	750	10
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	40	48	20	48	56	17
Температура стеклования, ОС	180	200	11	180	200	11
Водопоглощение за 30 суток	1,12	0,52	300	-	-	-
Молниестойкость, балл	3	9	200	4	9	125
Предел прочности при растяжении, МПа	580	590	2	930	940	1
Модуль упругости при растяжении, ГПа	72	72	0	68	68	0



Методика испытания образцов на молниестойкость



Импульс тока при молниевом разряде

Компонента А - импульс главного разряда
максимальное значение тока $I_r = 200 \text{ кА} \pm 5\%$
длительность фронта $T_{фа} = 50 \text{ мкс}$
средняя крутизна тока $K = 4 \text{ кА}$
длительность импульса $T = 175 \text{ мкс}$

Компонента С - постоянная составляющая тока:

максимальное значение тока $I_{п} = 700 \text{ А}$
длительность импульса тока на уровне $0,5I_{п}$ $T_{0,5пс} = 30 \text{ мс}$
длительность импульса тока на уровне $0,1I_{п}$ $T_{0,1пс} = 85 \text{ мс}$
переносимый заряд $q = 21 \text{ Кл} \pm 5\%$

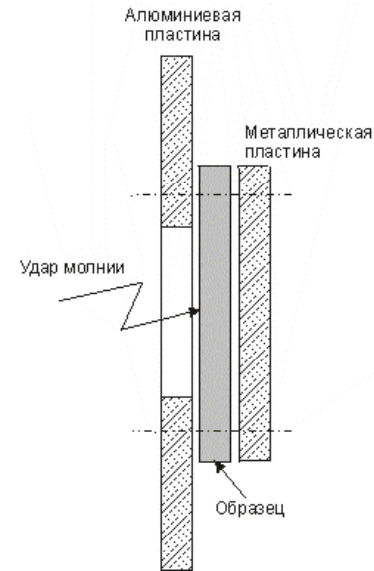
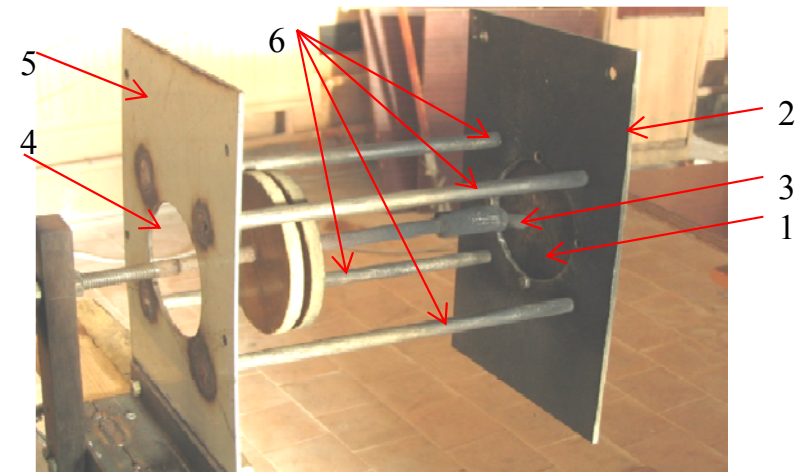


Схема
нагрузки
образцов током
молнии

Устройство коаксиального подвода
тока молнии к образцу



1 – образец углепластика; 2 – алюминиевая пластина; 3 – разрядный промежуток; 4 – токоподводящий электрод; 5 – заземленная металлическая пластина; 6 – токопроводящие стержни.

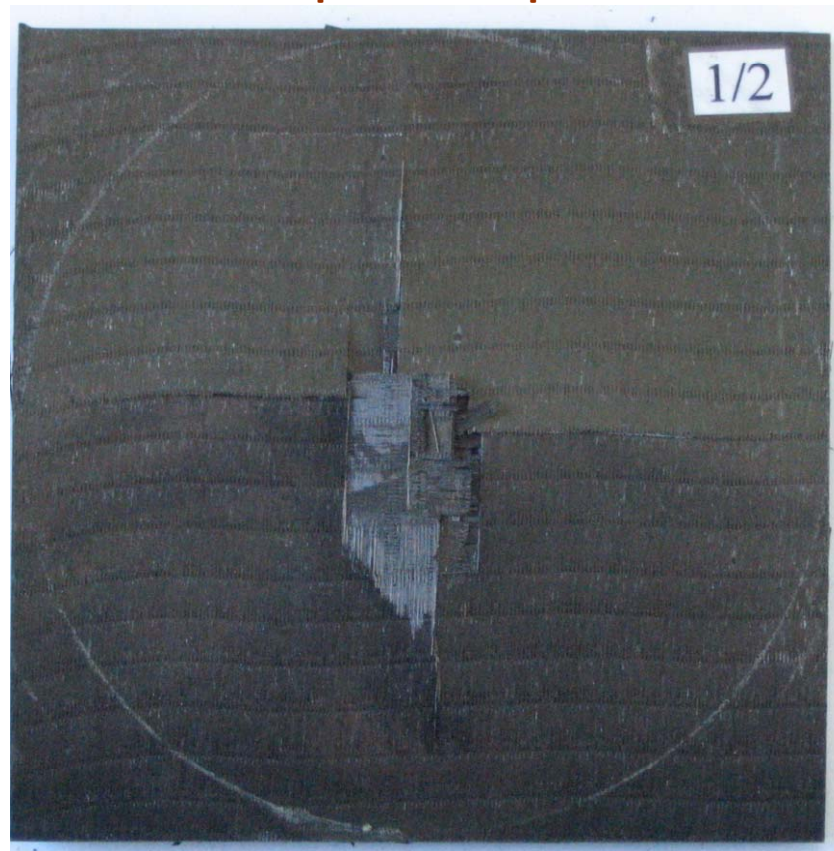


Типичные зоны поражения образцов основного конструкционного углепластика

лицевая сторона

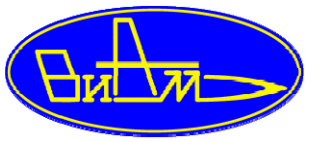


обратная сторона



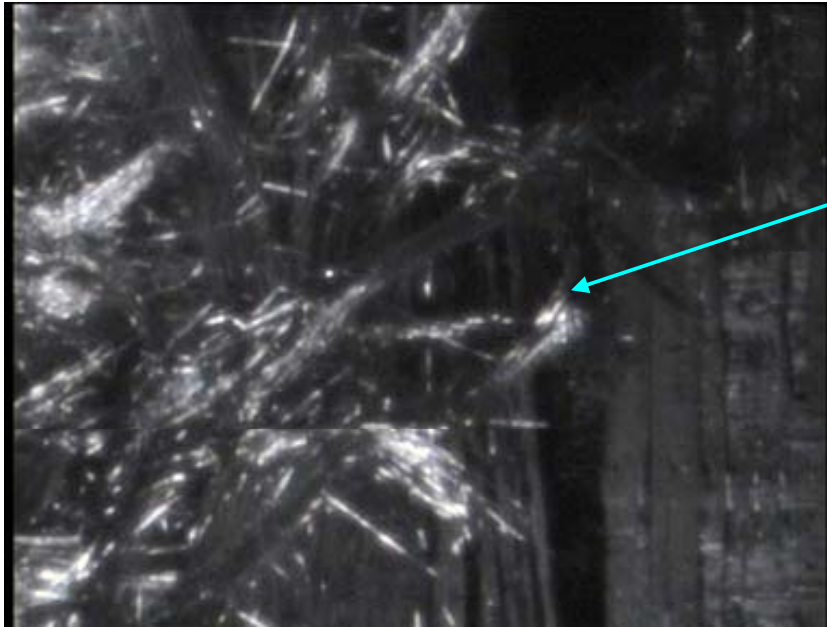
**Типичные зоны поражения углепластика при воздействии тока с
параметрами $I=200$ кА, $Q=20$ Кл :**

- сквозной пробой материала;**
- отслоение и унос поверхностных слоев;**
- сквозные трещины;**
- расслоение материала, определенное методом УЗК.**



Типичные зоны поражения образцов основного конструкционного углепластика (увеличение x10)

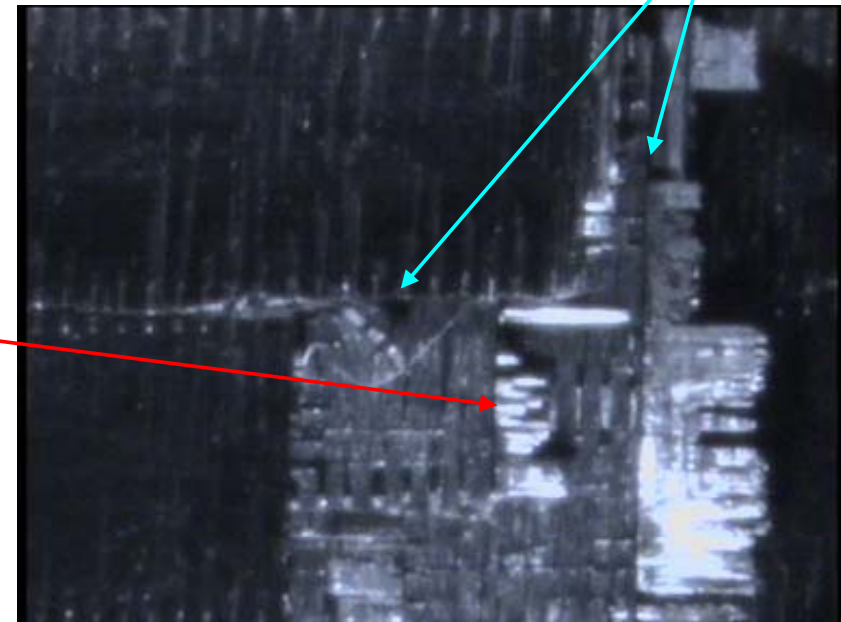
б)



Разрушение волокна
вблизи эпицентра удара

Сквозной пробой и
расщепление слоев

в)



Трещины



Типичные зоны поражения образцов из конструкционных стекло- и органопластика



Образец стеклопластика толщиной 2,5 мм
после воздействия токов молнии с параметрами
 $I=200$ кА, $Q = 20$ Кл (зона В)



Образец органопластика толщиной 2,5 мм после
воздействия токов молнии с параметрами $I=200$ кА,
 $Q = 20$ Кл (зона В)



Типичные зоны поражения образцов молниезащитного конструкционного углепластика



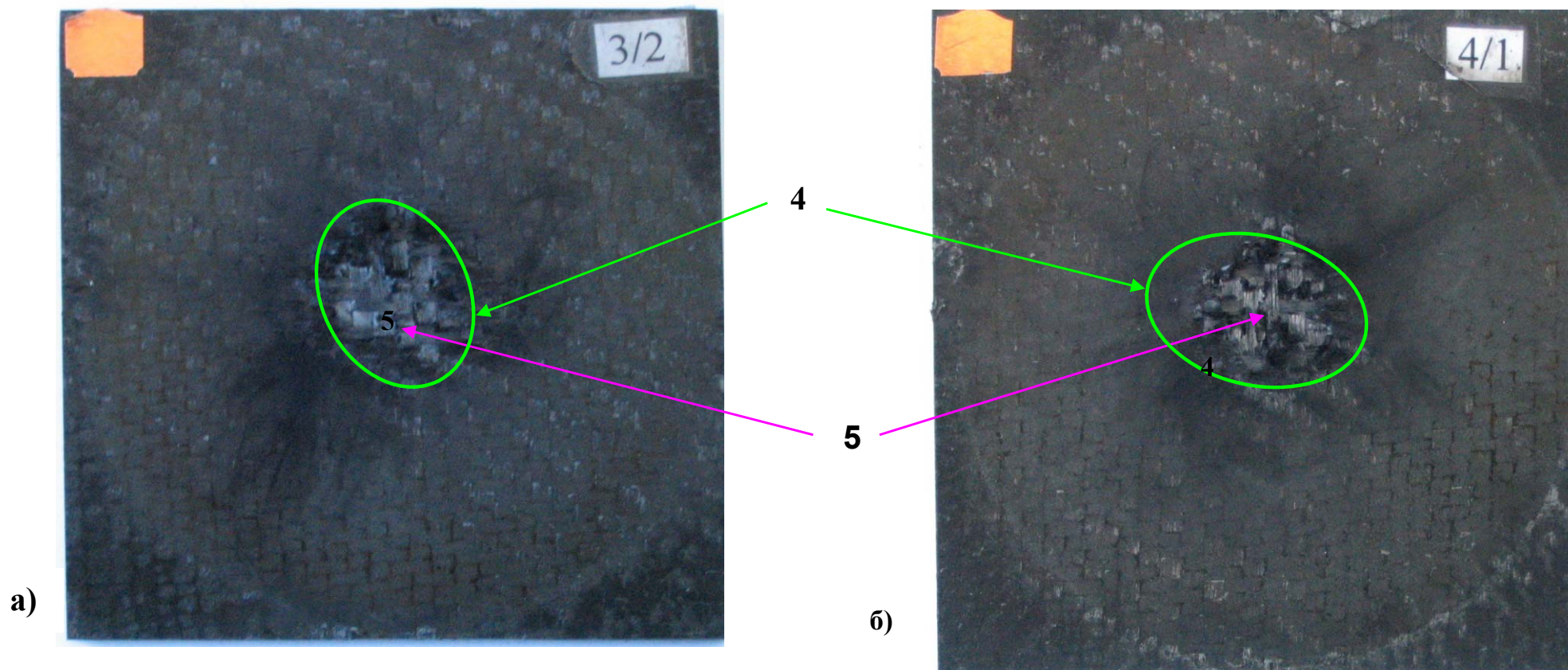
Образец углепластика с МЗП без наномодификатора после воздействия токов молнии с параметрами $I=200$ кА, $Q = 20$ Кл (зона В)



Обратная сторона образца углепластика эрозия связующего (сквозных прогаров) вдоль волокон углеродного наполнителя



Типичные зоны поражения образцов (образец с МЗП)



Типичные зоны поражения углепластика с МЗП при воздействии тока с параметрами $I=200$ кА, $Q=20$ Кл :

4-расслоение материала, определенное методом УЗК;

5- обессмоливание и отслоение верхнего слоя ткани.



Сравнение ПКМ без и с молниезащитным покрытием (МЗП)

Воздействие зарядов молний с параметрами $I=200$ кА и $Q=20$ Кл

Сквозной пробой
образца площадью
 16 см^2

Разрушение
поверхностного и
последующих слоёв
конструкций
площадью 75 см^2

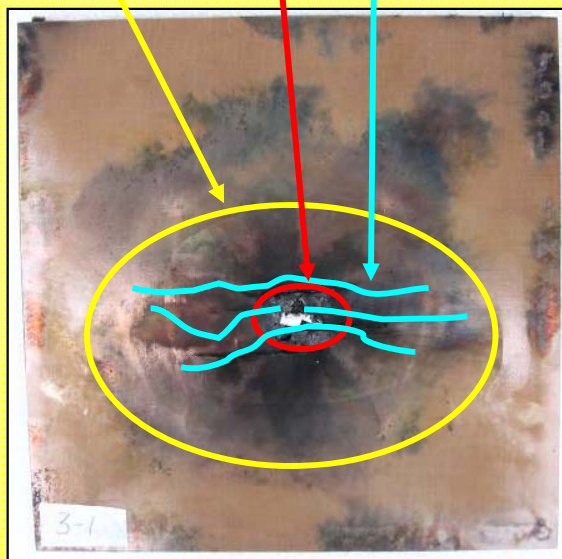


Углекомпозит без МЗП

Выгорание бронзовой сетки и
разрушение углеродного материала на
площади 12 см^2

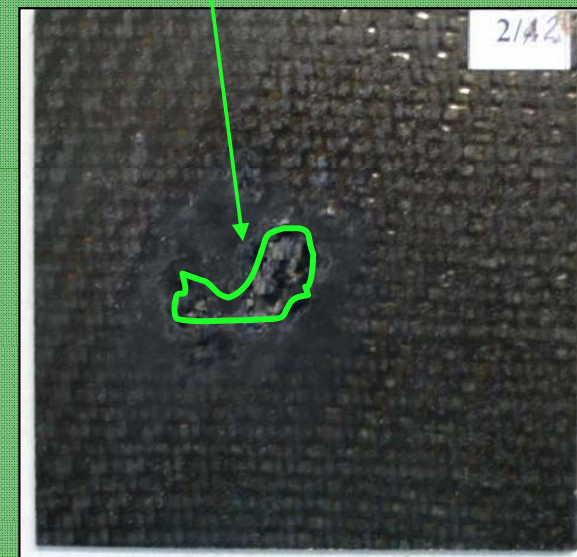
Отслоение
бронзовой сетки на
площади 65 см^2

Растрескивание и
разрывы бронзовой
сетки



Углекомпозит с
традиционным МЗП
(бронзовая сетка)

Эрозия связующего верхнего слоя МЗП на
площади 16 см^2



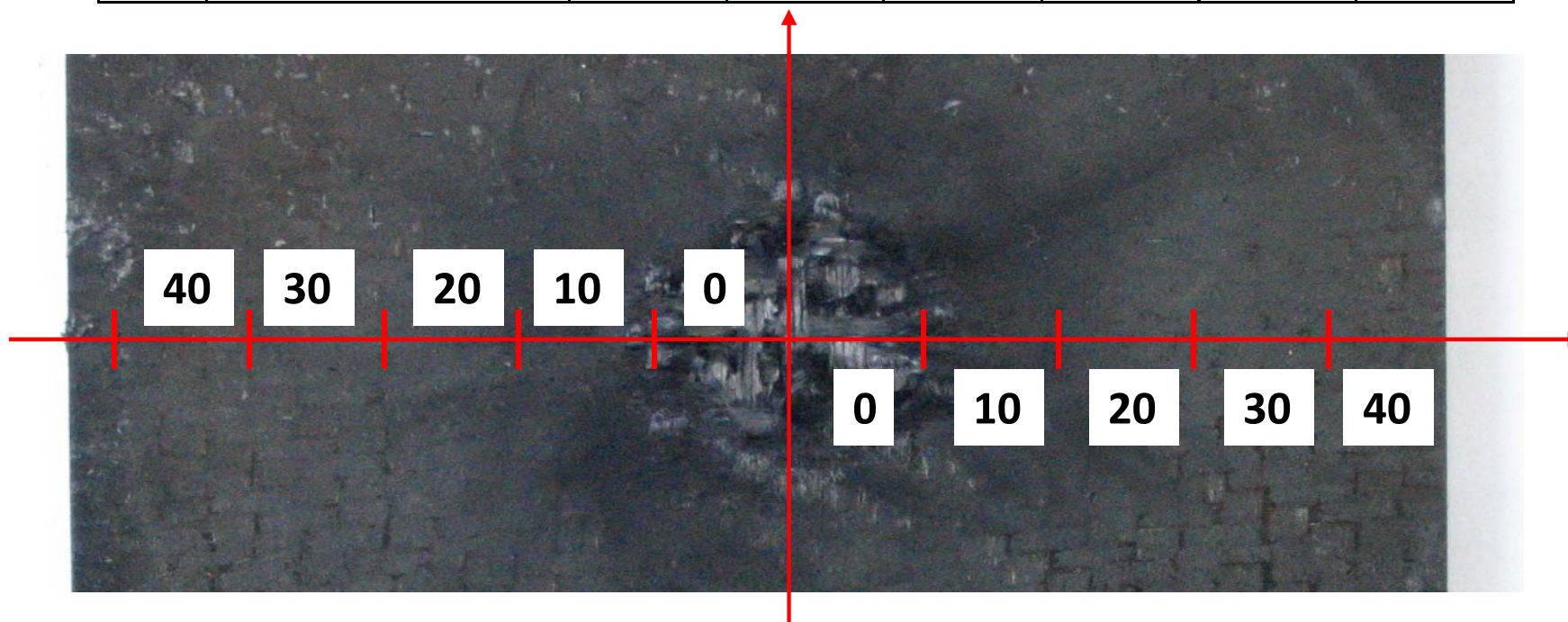
Углекомпозит с МЗП
(содержащий наночастицы)

Повышение электропроводности
поверхностного слоя и создание
трансверсальной электро- и
теплопроводности.



Сохранение прочности молниезащитного слоистого градиентного углепластика в различных участках зоны поражения

№ п/п	Параметры тока при высоковольтных испытаниях	Сохранение прочности, %					
		Расстояние от эпицентра поражения, мм					
		0	10	20	30	40	50
1	I=200 кА, Q=20Кл	65	78	84	97	98	100
2	I=200 кА, Q=200Кл (единичный образец)	63	76	80	97	98	100
3	I=200 кА, Q=0Кл	85	-	-	95	100	100

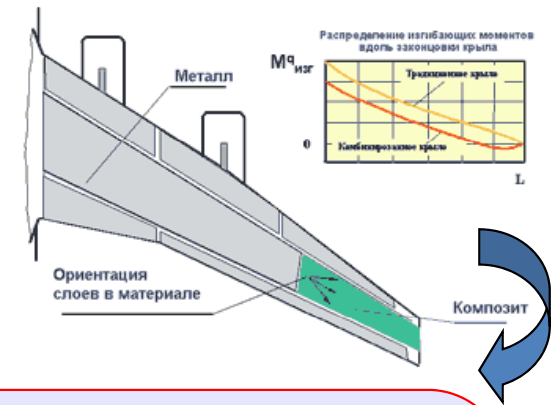




Интеллектуальные полимерные композиционные материалы для умных конструкций

Самоадаптирующиеся полимерные композиционные материалы.

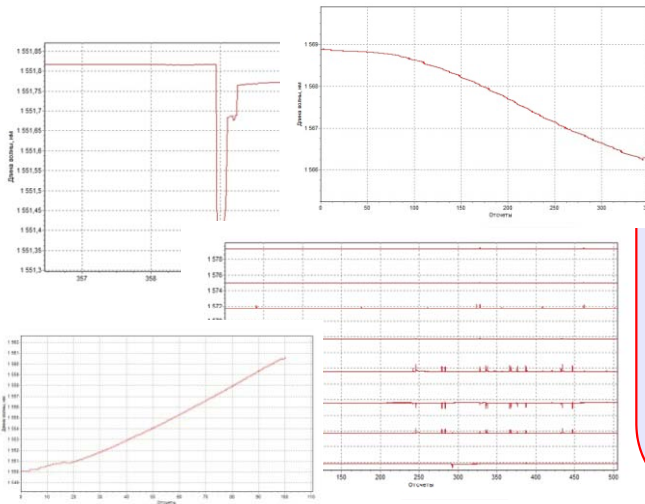
Материал осуществляет перераспределение нагрузок в конструкциях в зависимости от условий эксплуатации



Информкомпози́ты – материалы с интегрированными сенсорами .

Материалы для изготовления «умных» конструкций с функцией мониторинга за деформациями , температурой .

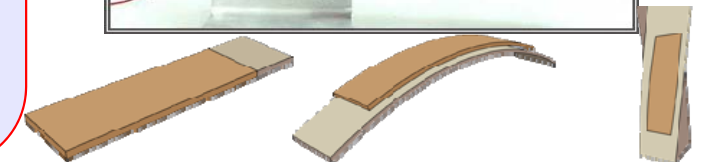
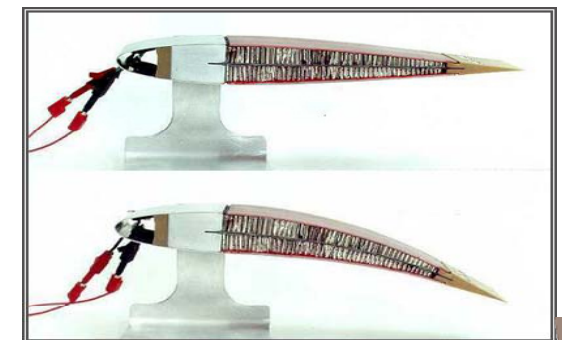
Обладает высокой чувствительностью к деформации 0,0001%, помехозащищенностью и отсутствием коррозии



Механокомпозиты – материалы с обратной противодействующей связью.

Материалы для изготовления «умных» конструкций с функциями мониторинга за деформациями, температурой и активного противодействия внешним силам на основе актюаторных элементов.

Могут быть применены для замены механических узлов (рули, заслонки), для активного гашения вибраций и перераспределения механических напряжений в конструкциях.



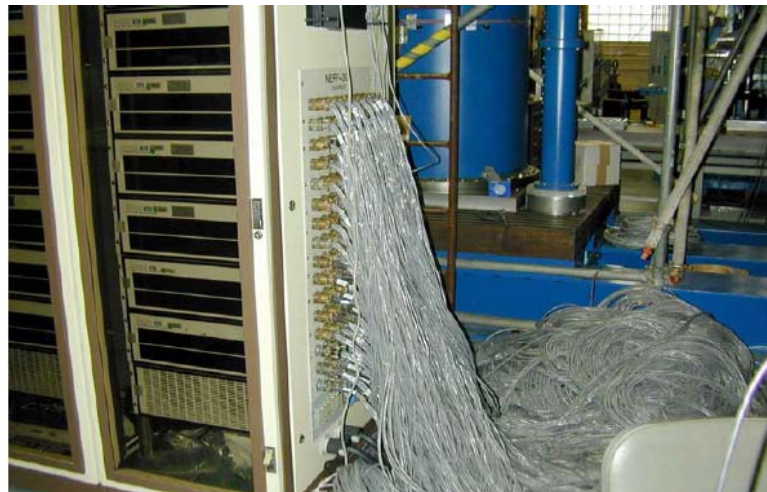


«Разработка методов встроенного контроля и оценки ресурсных характеристик высоконагруженных элементов конструкции планера самолета из полимерных композиционных материалов в процессе эксплуатации»



Source: NASA Langley
Composite wing IVHM testing

Авиационными властями США принято решение, что с 2017 года в стране не будет эксплуатироваться ни один самолет, который не будет иметь в конструкции крыла оптоволоконные датчики с брэгговскими решетками



400 электрических тензодатчиков



3000 оптоволоконных сенсоров на брэгговских решетках

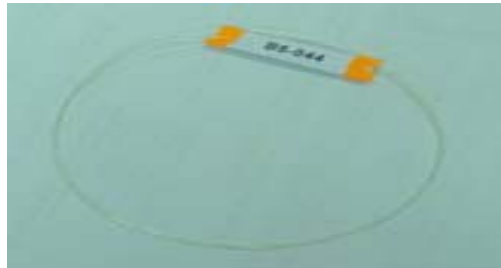
Основные достоинства волоконно-оптических сенсорных систем:

- ✓ Абсолютная электромагнитная помехоустойчивость
- ✓ Взрыво-/пожаро-безопасность
- ✓ Минимальное энергопотребление при значительной удаленности от точки измерений
- ✓ Высокая технологичность, возможность интегрирования в материал конструкции на стадии изготовления
- ✓ Высокая коррозионная стойкость и работоспособность в агрессивных внешних условиях
- ✓ Высокая степень защищенности информации от несанкционированного доступа



ПКМ с функцией встроенного контроля на основе ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Технологическая схема изготовления ПКМ с функцией самодиагностики



Оптическое волокно с ВБР
(диаметр волокна 200 мкм,
диаметр сердцевины 9 мкм,
период ВБР от 300 до 600 нм)



Раскрой препрега



Выкладка препрега и укладка
оптического волокна с ВБР



Формование датчика

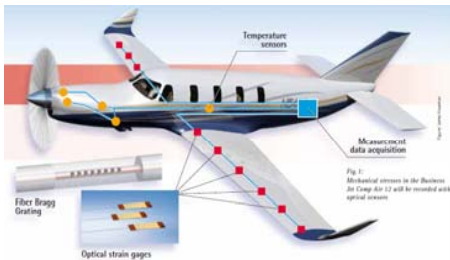


ПКМ с функцией
самодиагностики

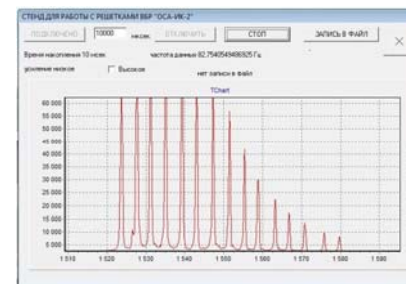


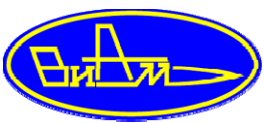
Устройство регистрации
I-MON 512E

ФГУП «ВИАМ» разработал технологию изготовления ПКМ с функцией самодиагностики с включением оптических волокон, позволяющую сохранить стабильность работы датчика при изготовлении и эксплуатации. Применение датчиков при изготовлении высоконагруженных конструкций изделий авиационного машиностроения, строительной индустрии и в других отраслях промышленности позволяет осуществлять:

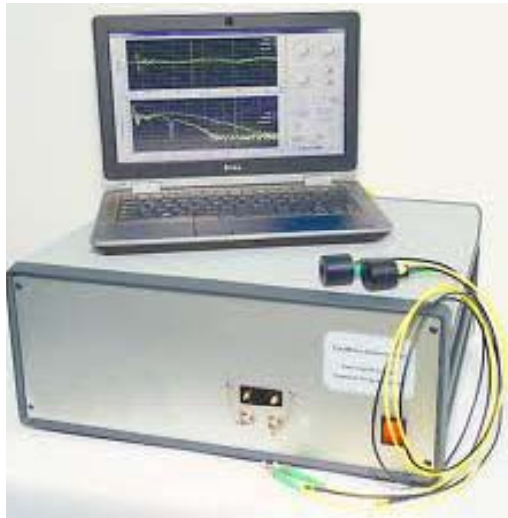


- Непрерывный контроль напряженно-деформированного состояния конструкций в процессе эксплуатации
- Контроль ударных воздействий, вибраций конструкций
- Контроль температуры

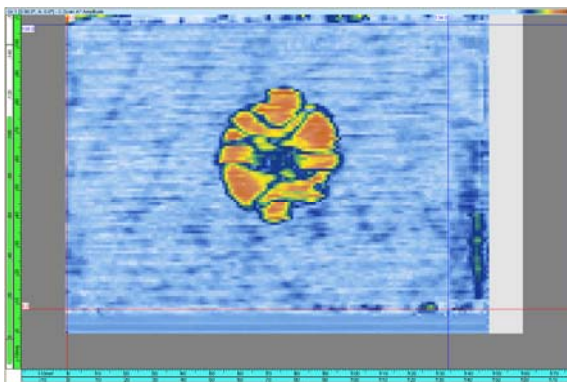
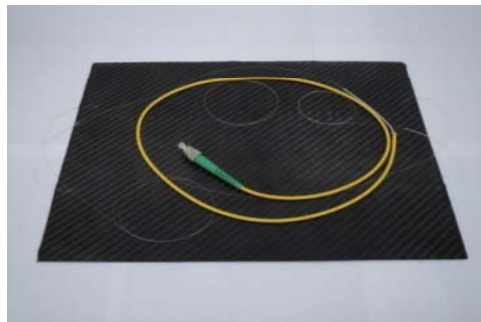




Углепластик с интегрированной в структуру опто-волоконной системой

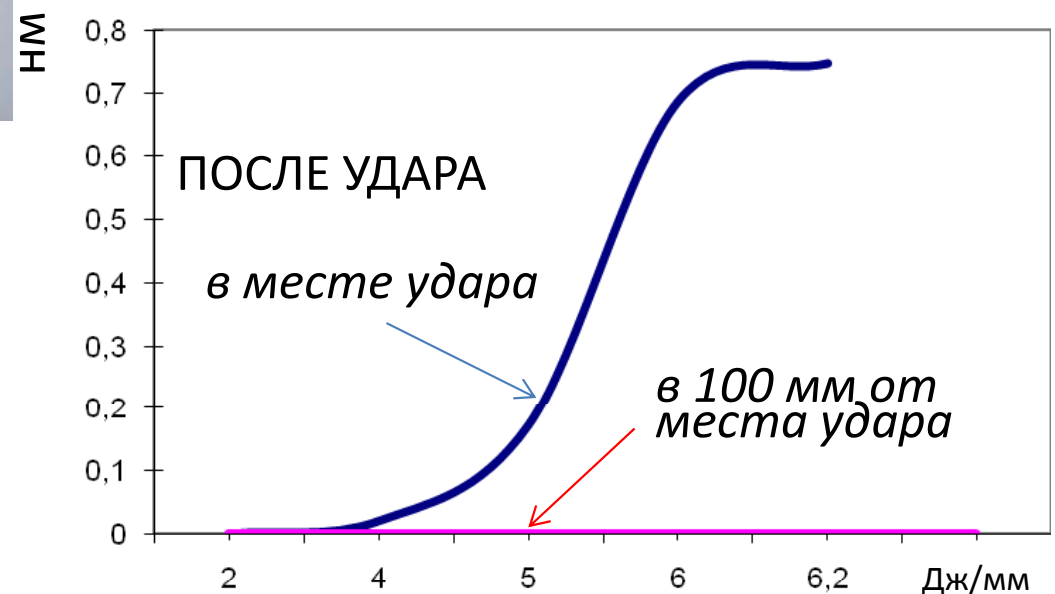
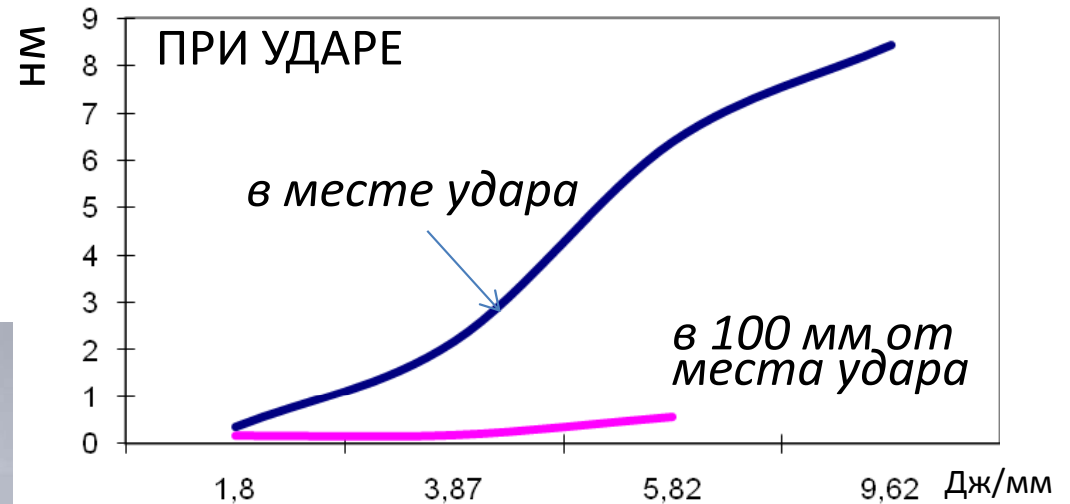


Образец углепластика с опто-волоконной системой на основе ВБР

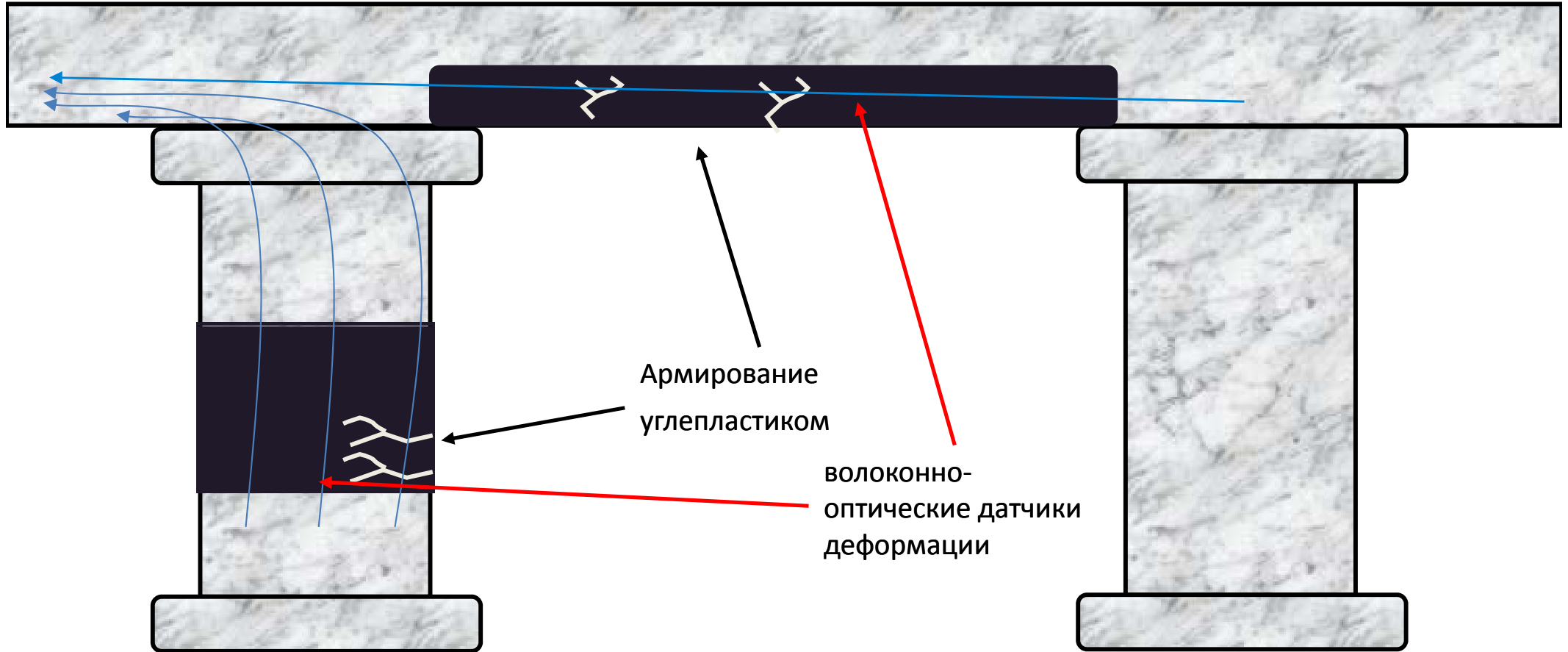


ВБР регистрируют ударное воздействие на расстояние до 100-150 мм

Изменение длины волны в брэгговских решетках в зависимости от интенсивности ударного воздействия



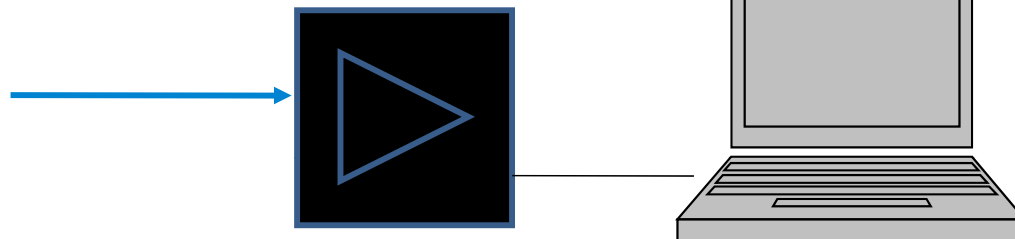
Осуществление мониторинга строительных конструкций



Армирование
углепластиком

волоконно-
оптические датчики
деформации

удаление до 15 - 20 км



Обеспечивает:

Точность: 0,001 % деформации

периодичность: непрерывный мониторинг

Общий вид углепластика с введенными волоконно-оптическими сенсорными элементами на основе брэгговских решеток под ребром плиты в помещении



Дорожное полотно армированное углепластиком с
введенными волоконно-оптическими сенсорными
элементами



ЛИТЕРАТУРА

1. Гуняев Г.М., Митрофанова Е.А., Ярцев В.А., Соболевская Е.Г. «Молниестойкость углепластиковых конструкций» / В сб. Авиационные материалы на рубеже XX-XXI веков. М.: ВИАМ. 1994. С. 595-599.
2. Гуняев Г.М., Митрофанова Е.А., Ярцев В.А., Сорина Т.Г., Соболевская Е.Г., Ларионов В.П., Агапов В.Г., Сергиевская И.М. «Молниезащита высокомодульных полимерных композиционных материалов // Авиационная промышленность. 1985. №10. С. 44-48.
3. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Раскутин А.Е., Комарова О.А., Гуняева А.Г. Конструкционные полимерные угленаноккомпозиты – новое направление материаловедения // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2011 г. № 12 С. 2-9.
4. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Раскутин А.Е., Гуняева А.Г. Молниестойкость современных полимерных композитов //Авиационные материалы и технологии. 2012. № 2. С.36-42.
5. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Раскутин А.Е., Начинкина Г.В., Гуняева А.Г., Куприенко В.М. Молниезащитные покрытия для конструкционных углепластиков, содержащие наночастицы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 3. С. 24-35.
6. Гуняев Г.М., Чурсова Л.В., Комарова О.А., Гуняева А.Г. Конструкционные углепластики, модифицированные наночастицами /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 277-286.
7. Каблов Е.Н., Гуняев Г.М. Наноматериалы – прорыв в материаловедении микромира //«75 лет. Авиационные материалы/Избранные труды «ВИАМ»». -М.: ФГУП «ВИАМ», 2007. С. 225-232
8. Гуняев Г.М., Машинская Г.П., Железина Г.Ф., Гуляев И.Н., Соловьева Н.А., Шалин Р.Е. «Сенсоры для интеллектуальных и самоадаптирующихся композитов» /Научно-технический сборник «Авиационные материалы и технологии». Выпуск «Полимерные композиционные материалы», Москва, ВИАМ, 2002, с.45-49
9. Е.Н. Каблов, Г.А. Морозов, Д.В. Сиваков, И.Н. Гуляев Встроенный контроль: от датчиков до информкомпозитов //«75 лет. Авиационные материалы/Избранные труды «ВИАМ»». -М.: ФГУП «ВИАМ», 2007. С. 331 -341
10. Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Федотов, М.Ю, Сорокин, К.В., Гончаров В.А. Методы исследования конструкционных композиционных материалов с

интегрированной электромеханической системой //Авиационные материалы и технологии. 2010. № 4. с.3-6.

11. Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Сорокин К.В., Федотов М.Ю, Дианов Е.М., Васильев С.А., Медведков О.И. Применение оптического волокна в качестве датчиков деформации в полимерных композиционных материалах //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 3. С. 10-15.
12. Kablov E.N., Sivakov D.V., Gulyaev I.N., Sorokin K.V., Fedotov M.Y., Dianov E.M., Vasil'ev S.A., Medvedkov O.I. Application of optical fiber as strain gauges in polymer composite materials //Polymer Science - Series D. 2011.T. 4. № 3. С. 246-251.
13. Гуляев И.Н., Гуняев Г.М., Раскутин А.Е. Полимерные композиционные материалы с функциями адаптации и диагностики состояния /В сб.: Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-техн. сб. (приложение к журналу «Авиационные материалы и технологии»). М.: ВИАМ. 2012. С. 242 – 253