

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-100-111

## МОЛНИЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ ПЛЕНКИ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕТКОЙ

А.Г. Гуняева<sup>1</sup>, О.Н. Клименко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** Рассмотрены современные подходы к молниезащите конструкций из полимерных композиционных материалов, выходящих на внешний контур летательных аппаратов. Представлена новая разработка НИЦ «Курчатовский» институт» – ВИАМ – молниезащитное покрытие марки ВМЗП-1, представляющее собой выравнивающую композиционную пленку с интегрированным металлическим слоем, в качестве которого можно использовать металлические перфорированные фольги или металлические вязаные проволочные сетки различной поверхностной плотности. Приведены основные свойства разработанного молниезащитного покрытия марки ВМЗП-1 и результаты испытаний элементарных образцов на молниестойкость.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, молниезащита, металлические перфорированные фольги, металлические вязаные проволочные сетки, композиционные выравнивающие пленки

**Для цитирования:** Гуняева А.Г., Клименко О.Н. Молниезащитное покрытие на основе полимерной композиционной пленки с интегрированной металлической сеткой // Труды ВИАМ. 2025. № 8 (150). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-100-111.

Scientific article

## LIGHTNING PROTECTION COATING BASED ON POLYMER COMPOSITE FILM WITH INTEGRATED METAL MESH

A.G. Gunyaeva<sup>1</sup>, O.N. Klimenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** The article considers modern approaches to lightning protection of structures from PCM that extending to the outer circuit of aircrafts. A The lightning protection coating named VMPZ-1 is new development of the NRC «Kurchatov Institute» – VIAM , which is a leveling composite film with an integrated metal layer that can be used as metal perforated foils or metal knitted wire nets of various surface densities. The basic properties of the developed lightning coating VMZP-1 and the results of testing elementary samples for lightning resistance are given here.

**Keywords:** polymer composite materials, lightning protection, metal perforated foils, metal knitted wire mesh, composite leveling films

**For citation:** Gunyaeva A.G., Klimenko O.N. Lightning protection coating based on polymer composite film with integrated metal mesh. *Trudy VIAM*, 2025, no. 8 (150), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-100-111.

## Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) – одно из стремительно развивающихся направлений современного материаловедения. Само слово «композиционный» означает многокомпонентный с существенно различающимися физическими и/или химическими свойствами, что в свою очередь дает безграничные возможности для проведения эксперимента и получения новых видов материалов с улучшенными характеристиками, в том числе со специальными свойствами.

Благодаря этому преимуществу доля ПКМ в различных отраслях промышленности только увеличивается, и авиационная отрасль, где вопросы весовой эффективности, реализации повышенных упруго-прочностных характеристик и специальных свойств материалов в конструкции остаются актуальными уже много десятилетий [1], – не исключение.

Большую часть жизненного цикла авиационная техника проводит в условиях эксплуатации в атмосфере, и обеспечение безопасности полетов является приоритетной задачей для авиаконструктора [2] и разработчика материалов для деталей и сборочных единиц летательного аппарата. К одному из красивейших и опаснейших атмосферных явлений относится гроза, при которой внутри облаков или между облаками и земной поверхностью возникают электрические разряды молнии различной интенсивности. По статистике, самолет подвергается удару молнии 1–2 раза в год. При попадании молнии в авиационную технику ток проходит через обшивку, самолет работает как клетка Фарадея, отводя разряд. При попадании молнии в самолет возможны локальные повреждения обшивки, временные сбои электроники, а иногда и возгорание топливных баков, что может привести к трагическим последствиям и гибели сотен людей, поэтому вопрос молниезащиты авиационной техники имеет особое значение.

Когда в конструкции авиационной техники применяли только различные виды металлов [3], этот вопрос решался сам собой: металлы – это материалы, хорошо проводящие электрический ток (проводники), поэтому при попадании электрического разряда молнии в металлическую часть самолета ток стекал по внешней аэродинамической поверхности в атмосферу, оставляя при сильном разряде след (прогар).

Однако в настоящее время в конструкции авиационной техники присутствует >50 % ПКМ: стекло- и органопластики, которые относятся к диэлектрикам и не проводят электрический ток, и углепластики, являющиеся полупроводниковыми материалами, но их электропроводности недостаточно, чтобы быстро свести электрический заряд с поверхности летательного аппарата и предотвратить разрушение и деструкцию материала. При попадании разряда молнии в ПКМ происходят «термический шок» (мгновенный перегрев до температуры 30000 °С, что провоцирует расслоение, деструкцию поверхности и хрупкость материала) и электродинамические нагрузки (взрывное расширение плазмы создает ударную волну, вызывая также деляминацию, микротрещины в матрице, потерю прочности и устойчивости конструкции) [4].

Для обеспечения надежной и эффективной защиты авиационных конструкций, выполненных из ПКМ, от поражающих факторов разрядов молнии в самолетостроении традиционно применяют следующие меры [5]:

- конструкторские решения (токопроводящие металлические сетки (вязаные, просечно-вытяжные), шины различной поверхностной плотности, напыление металлов, заземление, которое обеспечивает путь для тока молнии без накопления заряда на поверхности, защита топливных баков в части предотвращения искр в зонах возможного удара);
- электронная защита (экранирование проводки, устройства защиты от перенапряжений);
- дополнительные меры (статистические разрядники, которые установлены на законцовках крыльев и отводят накопленный электрический заряд, снижая риск удара).

В данной статье рассмотрено конструкторское решение для защиты внешнего контура авиационной техники, выполненного из ПКМ, заключающееся в применении токопроводящих металлических сеток (вязаных, просечно-вытяжных).

В условиях современного отечественного производства изделий из ПКМ, выходящих на внешний контур авиационной техники, с применением молниезащитных металлических сеток используют следующую схему выкладки: пакет заготовки из слоев препрега ПКМ, например на основе равнопрочного углеродного наполнителя; изоляционный слой на основе стеклянной ткани; адгезионный слой на основе полимерного клея (как правило, поверхностной плотностью  $\sim 300 \text{ г/м}^2$ ) для лучшего крепления (укладки); слой металлической сетки необходимой поверхностной плотности (от 70 до 200  $\text{г/м}^2$ ). В большинстве случаев клеевая пленка может быть уложена на металлический слой для формирования качественного антиэрозионного слоя на поверхности изделия. Затем пакет заготовки подвергается отверждению с последующим нанесением системы лакокрасочного покрытия [6].

Разработчики молниезащитных систем создают перспективные альтернативы имеющимся подходам, основываясь на стремлении уменьшить массу конструкции, снизить трудоемкость при производстве и сделать свое изобретение более передовым. Среди зарубежных разработок большую популярность приобрели молниезащитные покрытия на основе полимерных композиционных пленок, в которые могут быть интегрированы металлические сетки или перфорированные фольги различной плотности. Они сочетают легкость полимеров с электропроводностью металлов, обеспечивая безопасный отвод тока молнии [6]. К таким покрытиям относятся: композиционная клейкая пленка Surface Master™ 905 на основе эпоксидного связующего с перфорированной фольгой (алюминий, медь) (компания Solvay); препрег Strike Guard LSP с включениями перфорированных фольг из различных металлов (алюминий, медь, бронза и др.), интегрированных в эпоксидное связующее или клей (компания APCM (Adhesive Prepregs for Composite Manufacturers)); интегрированные системы на основе пленочных клеев Redux и эпоксидных препреговых связующих HexPly с включенной бронзовой, медной или алюминиевой вязаной сеткой или перфорированной фольгой (компания Hexcel Corporation); поверхностная пленка LOCTITE® EA 9845 LC AERO (компания Henkel Corporation); поверхностная молниезащитная пленка 3M™ Scotch-Weld™ AF536 с эпоксидным связующим и молниезащитным проводником; поверхностная пленка TC235LS (компания Toray). Они предназначены для выравнивания и обеспечения антиэрозионной защиты внешней поверхности авиационной техники. Кроме того, доказано, что их использование значительно сокращает трудоемкость и увеличивает весовую эффективность конструкции, а это именно те задачи, на решение которых направлены основные усилия современных разработчиков материалов. Однако в отечественной практике в настоящее время отсутствуют такого типа материалы, так как до определенного момента применение зарубежных материалов было доступно с точки зрения как ценовой политики, так и международной обстановки.

Принцип действия таких покрытий прост: молния ударяет по поверхности самолета, ток мгновенно растекается по металлической сетке, энергия рассеивается по большой площади, тем самым предотвращая локальный перегрев и пробой обшивки из композиционного материала, далее ток отводится к заземленным элементам каркаса (например, через титановые заклепки), переходит на статистические разрядники и с потоком воздуха стекает в атмосферу [7]. Преимущества таких покрытий – масса, гибкость (драпируемость), коррозионная стойкость, ремонтпригодность.

В связи с общей тенденцией по развитию материалов отечественного производства в самолетостроении в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ проведены работы по созданию полимерного пленочного покрытия с интегрированным металлическим слоем, которому присвоена марка ВМЗП-1, обладающего функцией молниезащиты и являющегося аналогом импортного материала типа LOCTITE® EA 9845 LC AERO.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

### Материалы и методы

Полимерное пленочное покрытие с интегрированным металлическим слоем марки ВМЗП-1 (рис. 1) в составе ПКМ применимо в качестве выравнивающего поверхностного слоя, для защиты от молниевых разрядов и снятия статического электричества с внешней аэродинамической поверхности летательных аппаратов, работающих в диапазоне температур от  $-60$  до  $+120$  °С, кратковременно до  $+150$  °С, и совместимо в едином цикле формования [8] с препрегами линейки материалов на основе связующего ВСЭ-1212 (препрегами углепластиков типа ВКУ-29, ВКУ-39, ВКУ-25, применяемых в мотогондоле двигательных установок ПД-8 и ПД-14) [9].



Рис. 1. Внешний вид полимерного пленочного покрытия с интегрированным металлическим слоем марки ВМЗП-1

В качестве интегрированной металлической медной сетки (см. таблицу) в молниезащитном полимерном пленочном покрытии могут использоваться [10]:

- вязаные и вязано-паяные сетки из медной металлической проволоки;
- просечно-вытяжные (перфорированные) медные металлические фольги.

#### Вязаные и вязано-паяные сетки из медной металлической проволоки и просечно-вытяжные (перфорированные) медные металлические фольги

Материал	Производитель	Марка	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>
Вязанные и вязано-паяные медные сетки	ООО «НПЦ «УВИКОМ», г. Мытищи	СМПК-0,08	85
		СМПК-0,10	146
		СМПК-0,12	155
Просечно-вытяжные (перфорированные) металлические фольги	АО «ДКЗ», г. Дубна	СФМ-051-84	73,3
		СФМ-051-76	107,4
		СФМ-076-79	141,6
		СФМ-051-70	195,3
	ООО «Ультра», г. Магнитогорск (Магнитогорский завод прецизионных сеток)	Streck Air R2 CuFA-51-73	73
		Streck Air R2 CuFA-51-107	107
		Streck Air R2 CuFA-76-142	142
		Streck Air R2 CuFA-76-195	195

Вязаные и вязано-паяные сетки из металлической проволоки (рис. 2) – это хорошо зарекомендовавшее себя и применяющееся на протяжении многих лет традиционное решение для обеспечения молниезащиты композиционных авиационных конструкций, где требуется гибкость (драпируемость) и минимальная масса [11]. Их основное отличие от стандартных тканых сеток – уникальная структура, обеспечивающая повышенную стойкость к ударным нагрузкам и термоциклированию.

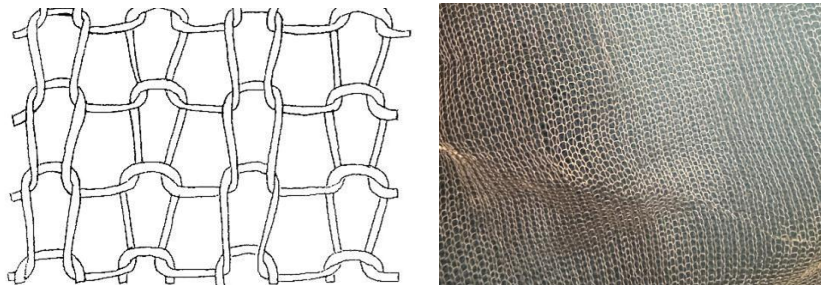


Рис. 2. Вид вязаных и вязано-паяных сеток из металлической проволоки

Вязаный тип сетки изготавливают из металлических проволочных нитей диаметром 0,05–0,20 мм, которые на высокоскоростных станках между собой формируют петли, на выходе получается эластичное полотно с ячейками размером 1–5 мм. В вязано-паяном типе сетки после вязки узлы точно спаиваются медным припоем, образуется жесткий каркас с фиксированными размерами [12]. Основными преимуществами вязаных и вязано-паяных медных сеток являются:

- драпируемость (могут растягиваться на 30–50 %, повторяя форму сложных криволинейных поверхностей (носовая часть, кромки крыльев));
- ударная вязкость (петлистая структура поглощает энергию удара, например, града или щебня без разрыва);
- термостойкость (вязано-паянные сетки сохраняют целостность при повышенных температурах (300–400 °С));
- хорошая электропроводность и распределение тока (спаянные узлы создают непрерывные пути для тока молнии, увеличивая скорость отвода заряда, и минимизируют разрушение композита).

Исходя из перечисленных преимуществ, вязано-паяные медные сетки в авиации применяют для зон прямого удара молнии (носовой обтекатель, законцовки крыльев и стабилизаторов, пилоны двигателей) и радиопрозрачных зон, так как сетки с шагом ячейки >3 мм не экранируют радиоволны. Обычные вязаные сетки применяют на второстепенных поверхностях.

Просечно-вытяжные (перфорированные) металлические сетки (фольги) (рис. 3) – это современное решение для обеспечения молниезащиты композиционных авиационных конструкций в зонах прямого разряда молнии, где очень важна стабильность структуры покрытия [13]. Их применяют в современных лайнерах (Boeing, Airbus, Embraer) как эталон надежности. Просечно-вытяжные (перфорированные) металлические сетки (фольги) производят из цельного листа меди, а не из сплетенных проволок, что дает им уникальное преимущество для экстремальных зон воздействия тока молнии на самолет. Технология производства такого типа сеток заключается в следующем: тонкий медный лист (0,05–0,3 мм) пробивается ромбовидными или шестиугольными ножницами, создавая сквозные щели, далее лист растягивается в перпендикулярных направлениях, формируя ячеистую структуру с узлами связи, в зонах растяжения медь упрочняется, повышая сопротивление усталости [10].

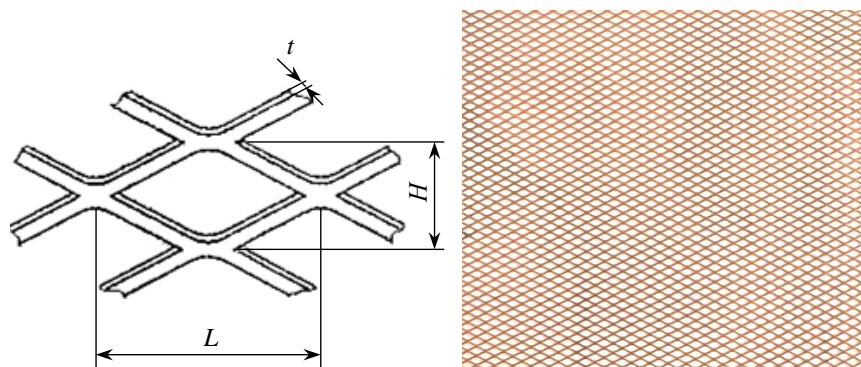


Рис. 3. Вид просечно-вытяжных (перфорированных) металлических сеток (фольг):  $H$ ,  $L$  – длина короткой и длинной ромбовидной диагонали;  $t$  – исходная толщина материала

Основными преимуществами просечно-вытяжных (перфорированных) металлических сеток (фольг) являются:

- цельная структура (отсутствует риск расплетания или разрыва узлов, в отличие от вязаных сеток);
- высокая жесткость (сохраняет форму при выкладке на криволинейные поверхности);
- теплорассеивание (сплошные узлы связи эффективно отводят тепло (до 50 % эффективнее плетеных аналогов));
- коррозионная стойкость (отсутствие микрощелей снижает риск точечной коррозии);
- электропроводность за счет непрерывных токовых путей.

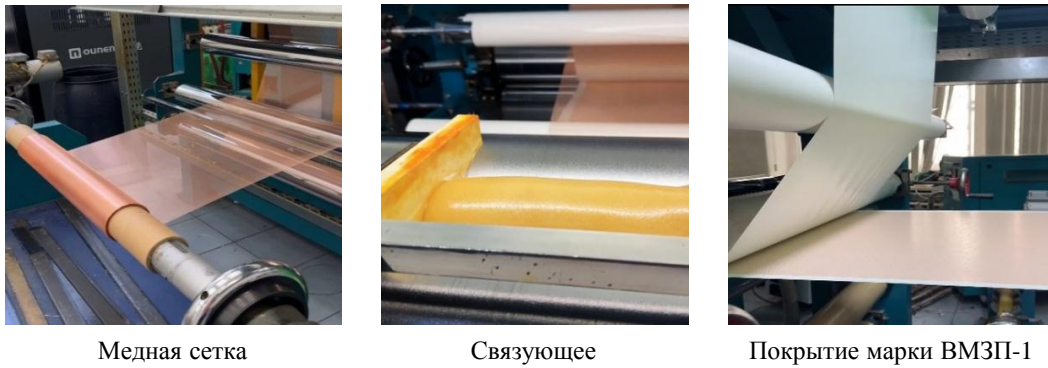
Основные недостатки – ограниченная эластичность (такие сетки не подходят для сильно криволинейных поверхностей) и сложность резки, так как требуется лазерная или гидроабразивная обработка, что может спровоцировать деформацию кромок.

Зоны применения в авиации просечно-вытяжных (перфорированных) металлических сеток (фольг) – это экстремальные зоны прямого удара молнии (носовой обтекатель, передние кромки крыльев, законцовки стабилизаторов), радиопрозрачные зоны и спутниковые антенны.

Просечно-вытяжные (перфорированные) металлические сетки (фольги) производства АО «ДКЗ» и ООО «Ультра» являются прямыми аналогами импортных сеток марки Dexmet (США), которые применяют в современных лайнерах и до 2020 г. использовали в гражданских изделиях отечественной авиационной техники.

Для полимерной основы молниезащитного покрытия марки ВМЗП-1 специально разработано расплавленное эпоксидное связующее марки ВСЭ-78, обеспечивающее необходимые значения температуры стеклования в отвержденном состоянии (175–176 °С), что гарантирует рабочую температуру  $\geq 120$  °С, обладающее более длительной жизнеспособностью (по сравнению с другими экспериментальными композициями), а также необходимым уровнем вязкости [14], который не позволит связующему (в составе полимерного пленочного покрытия с интегрированной металлической сеткой) вытекать из сетки и равномерно растекаться по поверхности препрегов при их совмещении с покрытием [15].

Покрытие марки ВМЗП-1 изготавливают на специализированной установке методом совмещения (прикатки) металлического слоя сетки (фольги) с расплавленным эпоксидным связующим, бумажной подложкой и полиэтиленовой защитной пленкой (рис. 4); покрытие поставляется в рулоне. Выпущена вся необходимая нормативная документация на материал, в том числе технические условия (ТУ 22.21.42-255-07545412–2025).



Медная сетка

Связующее

Покрытие марки ВМЗП-1

Рис. 4. Изготовление молниезащитного полимерного пленочного покрытия марки ВМЗП-1

Основные характеристики молниезащитного полимерного пленочного покрытия с интегрированным металлическим слоем марки ВМЗП-1:

Массовая доля связующего в покрытии, %	55±10
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> , покрытия с сеткой марки:	
СФМ 051-84, Streck Air R2 CuFA-51-73, МЭ-0,08/1, МЭ-0,08/2, СМПК	116–456
СФМ-076-79, Streck Air R2 CuFA-76-142	185–525
СФМ-051-70, Streck Air R2 CUFA-76-195	238–578
Время гелеобразования связующего в покрытии при температуре 150±2 °С, мин	25±10
Рабочая температура, °С	От –60 до +120 °С, кратковременно до +150 °С
Режим хранения при температуре, °С:	
20±3	20 сут (в том числе время выкладки 10 сут)
–(18±3)	6 мес. со дня изготовления
Режим переработки	Ступенчатый с конечной температурой отверждения 180 °С, покрытия совместимы с препрегами на основе эпоксидного связующего ВСЭ-1212

В мотогондоле двигательных установок ПД-8 и ПД-14 для защиты от молниевых разрядов ранее применяли импортные материалы – медную перфорированную фольгу фирмы Dexmet (США) [4]. Однако в связи с высокой стоимостью, длительными сроками поставки и впоследствии с невозможностью приобретения данного класса материалов по причине санкционной политики остро встал вопрос импортозамещения и подбора альтернативного варианта молниезащитного покрытия. Поскольку на тот момент отсутствовали прямые аналоги применяемых полимерных пленочных покрытий с металлическим слоем, начали использовать пленочные клеи ВК-36 и ВК-36А (с поверхностной плотностью 300 г/м<sup>2</sup>) и просечно-вытяжные (перфорированные) металлические фольги марок СФМ-051-84, СФМ-076-79, СФМ-051-70 производства АО «ДКЗ», которые являются аналогом линейки медных фольг фирмы Dexmet.

Пример конструктивной схемы выкладки пакета заготовки из ПКМ с молниезащитным покрытием представлен на рис. 5.

При использовании в схеме двух слоев пленочных клеев ВК-36 и ВК-36А (с поверхностной плотностью 300 г/м<sup>2</sup> каждый) и одного слоя просечно-вытяжной (перфорированной) металлической фольги марки СФМ-051-70 производства АО «ДКЗ» с максимальным значением поверхностной плотности 195 г/м<sup>2</sup> поверхностная плотность молниезащитного покрытия будет составлять ~795 г/м<sup>2</sup>.

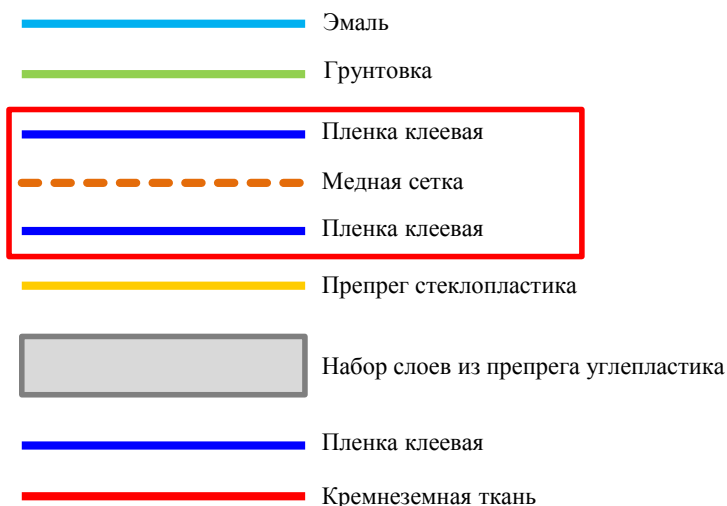


Рис. 5. Схема выкладки материалов для изготовления конструктивно-подобного образца из полимерного композиционного материала с молниезащитным покрытием с использованием двух слоев пленочного клея и металлической сетки

Поверхностная плотность одного слоя композиционного молниезащитного покрытия ВМЗП-1, включающего также металлический слой сетки марки СФМ-051-70, находится в интервале  $238\text{--}578\text{ г/м}^2$  в зависимости от требований заказчика продукции в части нанесения полимерной пленки в соответствии с допусками по ТУ.

При использовании одного слоя покрытия ВМЗП-1 (рис. 6), в которое уже интегрирована металлическая сетка, возможно повышение весовой эффективности на 27–70 % в сравнении со стандартной схемой (два слоя клеевой пленки ВК-36 и один металлический слой).

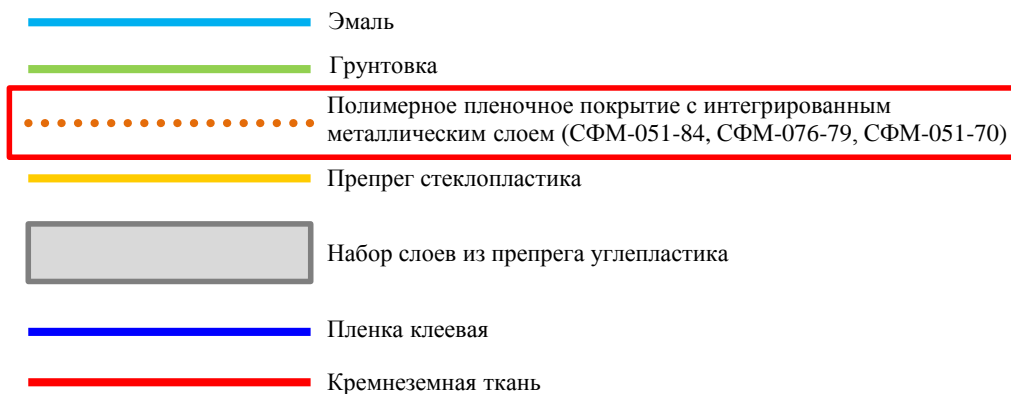


Рис. 6. Схема выкладки материалов для изготовления конструктивно-подобного образца с применением одного слоя молниезащитного покрытия марки ВМЗП-1

Для проведения испытаний на молниестойкость и оценки работоспособности молниезащитного покрытия за единый цикл формования изготовлены образцы размером  $100\times 100\text{ мм}$  из углепластиков типа ВКУ-29 (на основе однонаправленной углеродной ткани полотняного плетения и эпоксидного связующего ВСЭ-1212) и типа ВКУ-39 (на основе равнопрочной углеродной ткани и эпоксидного связующего ВСЭ-1212) с молниезащитным покрытием марки ВМЗП-1, в том числе с нанесенной системой лакокрасочного покрытия.

Проведены испытания элементарных образцов размером 100×100 мм на молниестойкость (согласно АП-25, Часть 25, п. 25.581 «Защита от молнии») на высоковольтном стенде в условиях воздействия смещающихся разрядов с параметрами  $A + C$ , имитирующих ток молнии (сила тока  $I = 200$  кА, переносимый заряд  $Q = 30$  Кл, по одному удару на каждый образец) [16].

В летной практике при попадании молнии в самолет после приземления проверяется наличие повреждений конструкции следующими методами: визуальный осмотр на оплавление/пробоины, инструментальный контроль (термография для определения скрытых дефектов, ультразвуковые исследования для оценки расслоения) [17], тестирование электроники.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Результаты и обсуждение

После испытания на молниестойкость также проведен анализ элементарных образцов с использованием визуального осмотра, замера площади повреждений и оценки их характера, высокочастотного эхоимпульсного метода путем сканирования преобразователем всей поверхности с целью определения образовавшихся внутренних дефектов.

Методами визуального осмотра и замера зоны повреждения установлено:

– на всех образцах после проведения испытания сквозной пробой (перфорации) не зафиксирован;

– на части образцов обнаружены выгорание связующего, разрыв верхних слоев молниезащитного покрытия диаметром до 30 мм, а также деструкция связующего вдоль углеродных волокон и выгорание системы лакокрасочного покрытия на поверхности всего образца.

Внешний вид, характерные повреждения и результаты исследования образцов высокочастотным эхоимпульсным методом приведены на рис. 7.

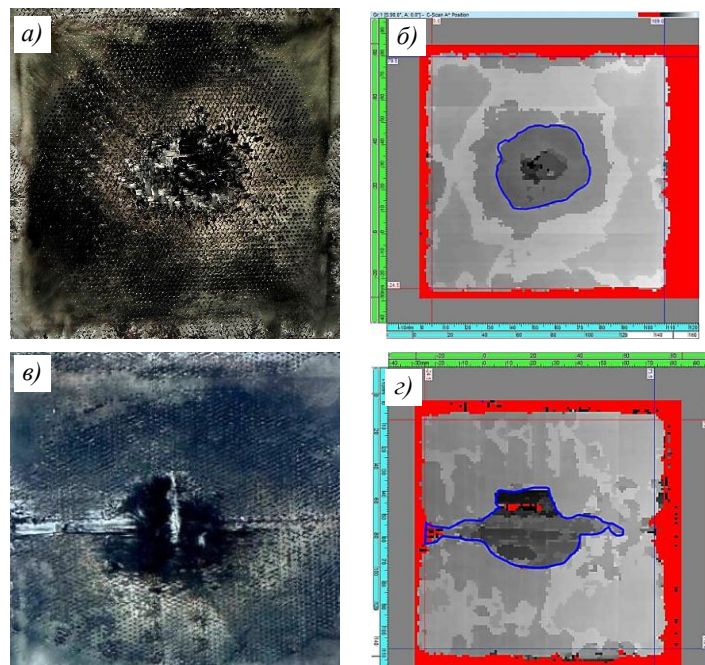


Рис. 7. Внешний вид (а, в) и спектрограммы ультразвукового контроля (б, г) образцов из углепластиков типа ВКУ-39 (а, б) и типа ВКУ-29 (в, г) с молниезащитным покрытием марки ВМЗП-1 после проведения испытаний на молниестойкость

Площадь повреждения образцов из углепластика типа ВКУ-39 с молниезащитным покрытием марки ВМЗП-1 составила от 352 до 1577 мм<sup>2</sup>, при этом глубина повреждения достигла 0,1–0,7 мм при общей толщине образцов 2,55–2,60 мм. Площадь повреждения образцов из углепластика типа ВКУ-29 с молниезащитным покрытием марки ВМЗП-1 составила от 485 до 1372 мм<sup>2</sup>, при этом глубина повреждения достигла 0,1–0,9 мм при общей толщине образцов 2,50–2,60 мм.

Установлено, что в результате испытаний всех образцов повреждены 1–3 слоя углепластика, сквозной пробой отсутствует.

### Заключения

Испытания на молниестойкость элементарных образцов углепластиков типов ВКУ-29 и ВКУ-39 с разработанным в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ молниезащитным полимерным пленочным покрытием с интегрированным металлическим слоем марки ВМЗП-1 считаются зачетными, так как на всех образцах отсутствуют сквозные повреждения (перфорации).

С целью защиты интеллектуальной собственности, связанной с разработкой нового полимерного пленочного покрытия с интегрированным металлическим слоем марки ВМЗП-1, получен патент РФ [14].

В конце 2025 г. будут проведены испытания на молниестойкость конструктивно-подобных элементов размером 500×500 мм, выполненных из углепластиков типов ВКУ-29 и ВКУ-39 с молниезащитным покрытием марки ВМЗП-1. Результаты планируются к публикации после завершения испытаний и проведения исследований.

### Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность за научный вклад в разработку молниезащитного материала начальнику сектора лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ» А.И. Ткачуку.

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Роль государственных научных центров РФ в обеспечении национальной безопасности страны // Перспективные технологии для систем безопасности. 2023. № 1. С. 4–9.
2. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов – гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2001. № 1. С. 3–8.
3. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.
4. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (65). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
5. Саженов Н.А., Саженов А.Н. Молниезащитные покрытия мотогондол двигателей из полимерных композиционных материалов. Часть 1. Анализ существующих типов молниезащит // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2021. № 67. С. 43–55.
6. Чурсова Л.В., Панина Н.Н., Гребенева Т.А., Вишняков Л.Р. Материалы для систем молниезащиты полимерных композиционных материалов. Особенности изготовления (обзор, часть I) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2023. № 9. С. 25–33.
7. Мишкин С.И., Клименко О.Н., Гуняева А.Г. Материалы для молниезащиты авиационной техники // Труды ВИАМ. 2023. № 7 (125). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 24.05.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-84-92.

8. Вешкин Е.А., Славин А.В., Постнова М.В., Апалькова А.В. Роль температурно-временных условий отверждения в формировании свойств однонаправленного и равнопрочного углепластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2025. № 2 (79). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 01.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-59-71.
9. Гуняева А.Г., Курносое А.О., Славин А.В. Опыт применения полимерных композиционных материалов разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в двигательных установках для самолетов гражданского назначения // *Авиационные материалы и технологии*. 2024. № 4 (77). Ст. 06. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.05.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-82-94.
10. Чурсова Л.В., Панина Н.Н., Гребенева Т.А., Вишняков Л.Р. Особенности использования электропроводящих вязаных проволочных сеток и перфорированных фольг при создании молниезащитных систем для полимерных углекомпозитных конструкций (обзор, часть II) // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2023. № 10. С. 18–26.
11. Ткаченко А.Н., Вишняков Л.Р., Гогаев К.А. и др. Медные микропровода для молниезащитных сеток трикотажной структуры // *Технологические системы*. 2009. № 4. С. 40–44.
12. Проводящий слой молниезащитного покрытия для полимерных композитов: пат. 2764853 Рос. Федерация; заявл. 26.05.21; опубл. 21.01.22.
13. Бойцов Б.В., Вишняков Л.Р., Казаков М.Е., Кривонос В.В. Инновационные конструктивно-технологические решения для молниезащиты авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов // *Качество и жизнь*. 2020. № 2 (26). С. 74–81.
14. Полимерное пленочное покрытие с интегрированным металлическим слоем на основе термостойкого связующего: пат. 2839081 Рос. Федерация; заявл. 17.07.24; опубл. 28.04.25.
15. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение термореактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 25.05.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
16. Бухаров С.В., Гуняева А.Г., Раскутин А.Е. Исследования зоны поражения молниезащитного покрытия из углепластиков высоковольтными разрядами, имитирующими токи молнии // *Научные труды (Вестник «МАТИ»)*. 2014. № 22 (94). С. 4–14.
17. Мурашов В.В., Косарина Е.И., Генералов А.С. Контроль качества авиационных деталей из полимерных композиционных материалов и многослойных клееных конструкций // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № 3. С. 65–70.

#### References

1. Kablov E.N. The role of state scientific centers of the Russian Federation in ensuring the national security of the country. *Perspektivnyye tekhnologii dlya sistem bezopasnosti*, 2023, no. 1, pp. 4–9.
2. Kablov E.N. Quality control of materials – a guarantee of the safe operation of aviation equipment. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2001, no. 1, pp. 3–8.
3. Kablov E.N., Antipov V.V. The role of new generation materials in ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2023, vol. 93, no. 10, pp. 907–916.
4. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 04, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
5. Sazhenkov N.A., Sazhenkov A.N. Lightning protection coatings of engine nacelles made of polymer composite materials. Part 1. Analysis of existing types of lightning protection. *Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika*, 2021, no. 67, pp. 43–55.
6. Chursova L.V., Panina N.N., Grebeneva T.A., Vishnyakov L.R. Materials for lightning protection systems of polymer composite materials. Manufacturing features (review, part I). *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2023, no. 9, pp. 25–33.

7. Mishkin S.I., Klimenko O.N., Gunyaeva A.G. Materials for the lightnings protection of aviation engineering. *Trudy VIAM*, 2023, no. 7 (125), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 24, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-84-92.
8. Chernyshev B.D., Kovalev A.D., Siluk N.P., Rojkov S.S., Shustov V.S., Ryzhkova G.S., Melnikov S.A. Microstructure and functional properties of bulk samples made from W–Ni–Cu pseudoalloy by cold isostatic pressure. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 2 (79), paper no. 06. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 01, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-59-71.
9. Gunyaeva A.G., Kurnosov A.O., Slavin A.V. Experience in the use of polymer composite materials developed by NRC «Kurchatov Institute» – VIAM in engines for civil aircraft. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 4 (77), paper no. 06. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: May 25, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-82-94.
10. Chursova L.V., Panina N.N., Grebeneva T.A., Vishnyakov L.R. Features of the use of conductive knitted wire meshes and perforated foils in the creation of lightning protection systems for polymer carbon composite structures (review, part II). *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2023, no. 10, pp. 18–26.
11. Tkachenko A.N., Vishnyakov L.R., Gogaev K.A. et al. Copper microwires for knitted lightning protection meshes. *Tekhnologicheskiye sistemy*, 2009, no. 4, pp. 40–44.
12. *Conductive layer of lightning protection coating for polymer composites*: pat. 2764853 Rus. Federation; appl. 26.05.21; publ. 21.01.22.
13. Boytsov B.V., Vishnyakov L.R., Kazakov M.E., Krivonos V.V. Innovative design and technological solutions for lightning protection of aircraft structures made of polymer composite materials. *Kachestvo i zhizn*, 2020, no. 2 (26), pp. 74–81.
14. *Polymer film coating with an integrated metal layer based on a heat-resistant binder*: pat. 2839081 Rus. Federation; appl. 17.07.24; publ. 28.04.25.
15. Tkachuk A.I., Donetskyy K.I., Terekhov I.V., Karavaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 03. Available at: <https://www.journal.viam.ru> (accessed: May 25, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
16. Bukharov S.V., Gunyaeva A.G., Raskutin A.E. Research of the zone of damage of lightning protection coating made of carbon fiber reinforced plastics by high-voltage discharges simulating lightning currents. *Nauchnye trudy (Vestnik «MATI»)*, 2014, no. 22 (94), pp. 4–14.
17. Murashov V.V., Kosarina E.I., Generalov A.S. Quality control of aviation parts made from polymer composite materials and multilayers adhered constructions. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2013, no. 3, pp. 65–70.

#### Информация об авторах

**Гуняева Анна Георгиевна**, заместитель начальника лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)  
**Клименко Оксана Николаевна**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### Information about the authors

**Anna G. Gunyaeva**, Deputy Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)  
**Oksana N. Klimenko**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 30.06.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 10.07.2025.  
The article was submitted 30.06.2025; approved and accepted for publication after reviewing 10.07.2025.