

Научная статья

УДК 621.763

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-35-43

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИПКОСТИ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ  
УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ЗОНДИРОВАНИЯ***С.И. Мишкин<sup>1</sup>, О.Н. Клименко<sup>1</sup>, К.Е. Куцевич<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.** Приведены результаты работы по определению липкости углеродных препрегов, разработанных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Описаны метод и оборудование для измерения липкости препрегов. Проведен сравнительный анализ липкости препрегов на основе различных эпоксидных связующих и с разной структурой углеродных наполнителей. Показана взаимосвязь между липкостью и кратковременным воздействием температуры на технологические свойства полуфабрикатов. Исследована липкость препрегов, используемых для изготовления авиационных изделий, с применением автоматизированной выкладки.

**Ключевые слова:** липкость, полимерный композиционный материал, модификатор, адгезия, жизнеспособность препрега, срок хранения препрега, углеродный препрег, эпоксидное связующее, метод зондирования, автоматизированная выкладка

**Для цитирования:** Мишкин С.И., Клименко О.Н., Куцевич К.Е. Определение липкости препрегов на основе углеродных наполнителей методом зондирования // Труды ВИАМ. 2022. № 3 (109). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-35-43.

Scientific article

**DETERMINATION OF STICKINESS OF PREPREGS  
ON THE BASIS OF CARBON FILLERS THE SOUNDING METHOD***S.I. Mishkin<sup>1</sup>, O.N. Klimenko<sup>1</sup>, K.E. Kutcevich<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.** Results of work on determination of stickiness of the carbon prepregs developed in Research Center Kurchatovsky institut – VIAM are given. The method and the equipment for determination of stickiness of prepregs is described. The comparative analysis of stickiness of prepregs on different epoxy binders and structures of carbon fillers is carried out. The interrelation between stickiness and short-term impact of temperature on technological properties of semi-finished products is shown. Stickiness of the prepregs used for manufacturing of aviation products, using the automated laying is investigated.

**Keywords:** stickiness, polymer composite material, the modifier, adhesion, viability of prepreg, prepreg storage life, carbon prepreg, epoxy binder, the sounding method, automated laying

**For citation:** Mishkin S.I., Klimenko O.N., Kutcevich K.E. Determination of stickiness of prepregs on the basis of carbon fillers the sounding method. *Trudy VIAM*, 2022, no. 3 (109), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-3-35-43.

### **Введение**

Производство полимерных композиционных материалов (ПКМ) получило широкое распространение во многих отраслях промышленности (аэрокосмической, морской, автомобилестроительной, жилищного строительства и инфраструктуры) и растет с каждым годом [1]. В связи с этим более детальное изучение процессов, происходящих при создании препрегов из ПКМ, предварительно пропитанных связующим армирующих наполнителей, и определение таких показателей, как липкость, жизнеспособность и многих других, приведет к совершенствованию технологии получения готовых деталей, снижению энергозатрат и повышению эффективности производства [2–4].

В последние годы наблюдается тенденция к производству и выпуску крупногабаритных изделий из углеродных препрегов на различных полимерных матрицах, большую часть из которых занимают матрицы на основе эпоксидных смол [3, 5, 6]. В настоящее время изделия крупных размеров, получаемые методом вакуумной инфузии (VaRTM), не полностью удовлетворяют требованиям по геометрической форме и пористости. Перед отечественной промышленностью стоит непростая задача по созданию деталей сложной геометрической конфигурации без потери их физико-механических свойств, с минимальным количеством брака и отходов, по приемлемой стоимости. На помощь приходит такая технология, как автоматизированная выкладка препрега, с последующим отверждением [7, 8].

Существуют два основных вида автоматизированной выкладки препрегов – это технологии ATL (Automated Tape Laying – автоматизированная выкладка лент) и AFP (Automated Fiber Placement – автоматизированная выкладка волокон). Каждая имеет свои преимущества и недостатки. Так, технология ATL является наиболее эффективным методом размещения широких лент на больших плоских или минимально изогнутых поверхностях. Технология AFP представляет собой гибридный процесс, который имеет преимущества технологии намотки волокон и технологии ATL. Процесс автоматизированной выкладки волокон можно использовать для изготовления как плоских, так и цилиндрических конструкций. Такая технология позволяет повысить точность, производительность и качество выкладываемого ПКМ, уменьшить затраты на материалы и снизить трудоемкость [9, 10].

Однако автоматизированные процессы чувствительны к различным параметрам. Скорость выкладки, температура и давление, которое прикладывается при выкладке материала на подложку, являются тремя основными параметрами, которые необходимо оптимизировать для надежного производства ПКМ с использованием данных технологий. Неправильный выбор этих параметров может привести к расслоению или появлению пор в ПКМ, отсутствие которых является основным критерием качества изделия [11].

Успешность автоматизированной выкладки сильно зависит от липкости препрега, которая определяется производителем как высокая, средняя или низкая при использовании субъективных тактильных ощущений в сочетании с методом катящегося ролика [11].

Препреги для укладки данным методом должны легко отделяться от подложки, чтобы часть препрега или смолы не оставалась на ней, но при этом прилипать к оснастке. Кроме того, между слоями материала должна быть хорошая адгезия.

Нагревание ленты препрега позволяет выкладывать более сложные конструкции из ПКМ и контролировать липкость препрега. Оптимальная температура материала при выкладке должна обеспечить требуемую адгезию. Липкость является важным свойством материала, поскольку определяет способность слоев препрега прилипать друг к другу [7], однако она не должна быть слишком низкой, чтобы слои препрега не двигались относительно друг друга [12]. Недостаточная адгезия между поверхностями может привести к скольжению материала, а следовательно, и к увеличению риска образования брака в изделии. Но липкость не должна быть и слишком высокой, иначе часть

связующего может оставаться на прикаточных роликах, разделительной бумаге и подложках [9, 10], поэтому оптимизация липкости препрега является важной задачей.

Липкость – это свойство клееподобных материалов, определяющее способность мгновенно образовывать контакт между двумя поверхностями, для склеивания которых больших усилий не требуется. Количественно липкость характеризуется удельной силой отрыва [11]. Получаемые в результате измерений показатели липкости можно использовать как характеристику качества для полуфабрикатов, применяемых в автоматизированных процессах выкладки.

Измерение липкости проводят по стандартам ASTM D2979 (метод, основанный на испытаниях клейкого слоя с использованием перевернутого чувствительного к давлению зонда) [13] и ASTM D3167 (метод, основанный на отслаивании препрега от адгезива движущимся роликом) [14]. Метод зонда чувствителен к шероховатости поверхности, которая вызвана волокнами и смолой, распределенными внутри образца.

На значение липкости будут оказывать влияние как внешние, так и внутренние факторы.

К внутренним факторам можно отнести:

- содержание смолы (с увеличением массовой доли связующего в препреге значение липкости повышается);
- присутствие летучих соединений (органические низкомолекулярные растворители не обладают свойством прилипания, а значит могут снижать показатель липкости препрега) и модификаторов (например, добавление наноглины и силоксана приводит к уменьшению липкости) [15];
- природу полимерной матрицы (препреги на основе эпоксидной матрицы будут обладать значительно большей липкостью, чем полуфабрикаты на основе полиимидных смол);
- степень отвержденности связующего.

К внешним факторам относят:

- воздействие окружающей среды (низкие температуры и влажность, а также попадание ультрафиолета уменьшают липкость поверхности препрега);
- несоблюдение условий хранения и транспортировки препрега (отсутствие или низкое значение липкости может косвенно указывать на истечение срока годности или частичное отверждение связующего в препреге) [16].

Факторов, влияющих на липкость, достаточно много. Как показано ранее, липкость – это свойство граничащего слоя вязких и пластичных материалов оказывать сопротивление разделению двух поверхностей, которые находятся в контакте между собой [17]. Параметр липкости, как и жизнеспособность препрега, будет влиять на технологию выкладки изделия из него.

В настоящее время объем научных работ, связанных с понятием липкости, методом оценки и способов ее регулирования, незначительный.

Цель данной работы – измерение и анализ значений липкости на различных видах углеродных препрегов, в том числе после воздействия температуры и изменения продолжительности хранения, методом зондирования. Измерение липкости дает возможность оптимизировать процесс автоматизированной выкладки препрега, а ее контроль – обеспечить простоту и технологичность послойной выкладки. Полученные значения липкости позволяют сделать вывод о качестве препрега [17, 18].

### Материалы и методы

В работе для определения липкости использованы препреги, выпускаемые в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ:

- однонаправленный жгутовой препрег из углепластика на основе эпоксидного связующего с высоким (до 30 % (по массе)) содержанием термопласта;

– однонаправленный препрег из углепластика марки КМКУ-2м.120.Э0,1.45 на основе клеевого связующего марки ВСК-14-2м и однонаправленной ленты ЭЛУР [19];

– однонаправленный жгутовый препрег из углепластика марки ВКУ-25/SYT49S на основе эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212 [20];

– препрег из углепластика марки ВКУ-39/ВТкУ-2.200 на основе эпоксидного связующего марки ВСЭ-1212 и ткани саржевого плетения марки ВТкУ-2.200.

Препреги ВКУ-25/SYT49S и ВКУ-39/ВТкУ-2.200 применяют в производстве деталей мотогондолы двигателя ПД-14 [21]. Препрег ВКУ-25/SYT49S можно использовать для автоматизированной выкладки, которая опробована в ОНПП «Технология».

Препреги хранились в морозильной камере при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ . В течение суток перед испытаниями на определение липкости препреги размораживали до полного исчезновения конденсационной влаги с поверхности.

Для измерения липкости применяли метод зондирования. Способность материала к прилипанию к поверхности зонда определяли по стандарту ASTM D2979. Для этой цели использовали универсальную испытательную машину с чувствительным датчиком определения усилия. Суть данного метода заключается в измерении липкости клееподобных материалов, к которым относятся препреги на основе эпоксидных связующих, с помощью зонда, отделяющего под движущей силой препрег (адгезив) от цилиндра (субстрата).

Измерение липкости производили следующим образом (см. рисунок). Испытываемый образец размером  $15 \times 15$  мм помещали на цилиндр с отверстием, предварительно очищенный от загрязнений ацетоном и высушенный. Важно очистить поверхность безворсовой тканью во избежание попадания ворсинок и искажения результатов. Края образца препрега не должны выходить за площадь цилиндра. Сверху на образец помещали груз для контактного давления. На одной стороне образца препрега, которая контактирует с грузом, должна быть сохранена бумага или пленка. Испытательная машина приводит зонд в движение и после контакта с образцом возвращает зонд в исходное положение, измеряя силу, необходимую для отделения зонда от препрега. Липкость выражается как максимальное значение этой силы. На препреге одного вида проводили серию испытаний (от 15 до 20) при одинаковых условиях.

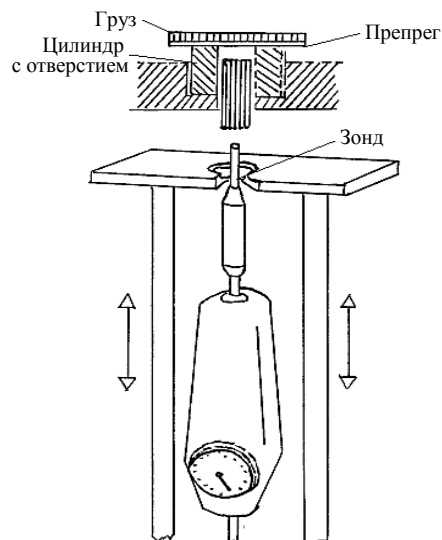


Схема испытания препрега на липкость [10]

Нагрев препрегов для исследования зависимости липкости от температуры проводили в термощкафу.

### Результаты и обсуждение

На первом этапе работы исследована липкость препрегов, разработанных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, при комнатной температуре.

Результаты определения липкости различных эпоксидных препрегов после испытаний при комнатной температуре (здесь и далее в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее):

Материал	Усилие отрыва от зонда (липкость), кПа
Препрег со связующим, высоконаполненным термопластом	<u>5,7–10,7</u>
	9,1
КМКУ-2м.120.Э0,1.45	<u>13,8–43,6</u>
	24,3
ВКУ-25/SYT49S	<u>2,7–6,5</u>
	4,1
ВКУ-39/ВТкУ-2.200	<u>7,2–23,3</u>
	12,8

Результаты исследований показали, что наибольшее значение липкости, по сравнению с другими эпоксидными препрегами, имеет клеевой препрег марки КМКУ-2м.120.Э0,1.45. Однако следует отметить, что результаты измерений липкости всех препрегов показывают достаточно высокий разброс значений в серии испытаний.

Наименьшую липкость имеет однонаправленный препрег ВКУ-25/SYT49S. Тканый препрег ВКУ-39/ВТкУ-2.200, изготовленный на основе такого же связующего, показал значение липкости в 3 раза больше по сравнению со жгутовым препрегом. Это можно объяснить наличием большого количества свободного связующего на поверхности тканого наполнителя, которое заполняет полости в переплетениях волокон.

Однонаправленный препрег с высоким содержанием термопласта в составе матрицы показал значение липкости в 2 раза больше, чем у аналогичного препрега ВКУ-25/SYT49S, что связано с иным составом связующего.

Следующим этапом работы стало определение липкости препрега как со стороны полиэтиленовой пленки, так и со стороны антиадгезионной бумаги. Такое измерение липкости имеет особое значение при автоматизированной выкладке, где важно, чтобы пленка и бумага отделялись от препрега только в необходимый момент времени и чтобы части препрега при этом не оставались на подложках.

Исследование липкости проведено на препреге КМКУ-2м.120.Э0,1.45. Результаты определения липкости указанного препрега после испытаний со стороны бумаги и полиэтиленовой пленки:

Место исследования	Усилие отрыва от зонда (липкость), кПа
Со стороны пленки	<u>6,1–35,2</u>
	18,1
Со стороны бумаги	<u>7,2–26,0</u>
	15,8

Анализ результатов измерений свидетельствует о том, что значения липкости на исследованных сторонах препрега достаточно близкие. Значение усилия отрыва со стороны пленки больше на 15–20 %, однако из-за значительного разброса значений это можно объяснить статистической погрешностью метода измерения, что позволяет сделать вывод о независимости параметра липкости от наличия вспомогательных материалов. Антиадгезионная бумага, которая обеспечивает жесткость полуфабриката и

предотвращает склеивание слоев между собой, не снижает липкость препрега, равно как и полиэтиленовая пленка, защищающая поверхность от внешнего загрязнения.

Определена также зависимость липкости препрега КМКУ-2м.120.Э0,1.45 от продолжительности хранения. Результаты определения липкости указанного препрега в зависимости от продолжительности его хранения:

Продолжительность хранения после пропитки	Усилие отрыва от зонда (липкость), кПа
1 день	<u>10,3–19,9</u>
	14,7
14 дней	<u>13,8–43,6</u>
	24,3
6 мес	<u>11,8–35,6</u>
	20,3

Результаты измерения липкости показали, что через 14 дней после хранения препрега его липкость увеличилась почти в 2 раза по сравнению со свежепроизведенным препрегом. Эти данные коррелируют с опубликованными ранее работами, где исследовали липкость различных препрегов в зависимости от продолжительности хранения. Липкость препрега в первые недели хранения увеличивается и проходит через максимум. В дальнейшем она постепенно снижается на протяжении всего срока годности препрега, что подтверждают измерения липкости препрега КМКУ-2м.120.Э0,1.45 после 6 мес хранения. Достаточно высокие значения липкости свидетельствуют о жизнеспособности препрега.

Липкость препрега также зависит от температуры окружающей среды или температуры на выкладочной головке при автоматизации процесса. В настоящее время практически все термореактивные связующие в препрегах имеют сложный состав, включающий различные модификаторы, термопласты и т. д. Поэтому при создании высокопрочного конструкционного композиционного материала основной задачей является оптимизация состава связующего с учетом технологических аспектов.

Для определения липкости в зависимости от температуры использован препрег на основе термореактивного эпоксидного связующего, в составе которого находится до 30 % (по массе) термопласта. В ходе работы определяли липкость эпоксидного препрега после выдержки в термошкафу в течение 15 мин при температурах 30 и 50 °С.

Результаты определения липкости препрега со связующим, высоконаполненным термопластом, в зависимости от температуры:

Условия испытания	Усилие отрыва от зонда (липкость), кПа
При комнатной температуре	<u>5,7–10,7</u>
	9,1
После нагрева до 30 °С	<u>4,9–11,4</u>
	8,7
После нагрева до 50 °С	<u>3,1–9,9</u>
	5,6

Основываясь на данных, полученных в результате измерения липкости препрегов, можно сделать вывод, что при увеличении температуры данный параметр снижается. Однако следует отметить, что образцы из препрегов после их извлечения из термошкафа и установки на металлический цилиндр в испытательной машине практически полностью успевают остыть. Поэтому результаты показывают влияние выдержки препрегов лишь после воздействия повышенных температур. При увеличении температуры на

поверхности препрега начинают протекать процессы полимеризации связующего, что приводит к уменьшению липкости. Смоделировать поведение препрега в процессе автоматизированной выкладки с помощью данного оборудования по определению липкости невозможно, поскольку выкладочная головка нагревает препрег до более высоких температур с последующей быстрой его прикаткой роликом.

### Заключения

Проведенные исследования подтверждают важность и необходимость определения показателя липкости. Контроль липкости после пропитки препрега и измерение данного параметра после продолжительного хранения позволяют оценивать его качество, а адгезионные свойства полуфабрикатов имеют важное значение при автоматизированных процессах выкладки.

Липкость характеризует технологичность и возможность переработки препрега в конечное изделие. Контроль липкости необходим для обеспечения простоты и технологичности послойной укладки [17]. Высокая липкость препрегов приводит к нарушению распределения смолы и ориентации волокон при послойной укладке [11].

Кроме того, анализ результатов исследований свидетельствует, что липкость препрегов зависит от множества факторов: содержания связующего, температуры окружающей среды или температуры на выкладочной головке при автоматизации процесса, продолжительности хранения препрега, структуры наполнителя и состава связующего.

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
3. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // *Директор по маркетингу и сбыту*. 2017. № 5–6. С. 40–44.
5. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // *Тезисы докладов XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии*. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
6. Гращенков Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 5. С. 264–271. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-264-271.
7. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы, наука и технология: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 484 с.
8. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение терморективных 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: 19.02.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
9. Дучк В., Писанова Е., Жандаров С., Лауке Б. Адгезия и адгезионная прочность в полимерных волокнистых композитах // *Механика композитных материалов*. 1998. Т. 34. № 5. С. 431–446.
10. Постнов В.И., Никитин К.Е., Петухов В.И., Бурхан О.Л., Орзаев В.Г. Метод и устройство для определения липкости препрегов // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. № 3. С. 29–33.

11. Тимошков П.Н., Усачева М.Н., Хрульков А.В. Липкость и возможность использования препрегов для автоматизированных технологий (обзор) // Труды ВИАМ. 2018. № 8 (68). Ст. 04. URL: <http://www.viam-woks.ru> (дата обращения: 15.11.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-8-38-46.
12. Banks R., Mouritz A.P., John S. et al. Development of a new structural prepreg: characterization of handling, drape and tack properties // *Composite Structures*. 2004. Vol. 66. P. 169–174. DOI: 10/1016/j.comstruct.2004.04.034.
13. ASTM D2979-01. Standard Test Method for Pressure-Sensitive Tack of Adhesives Using an Inverted Probe Machine. 2001. P. 1–3.
14. ASTM D3167. Standard Test Method for Floating Roller Peel Resistance of Adhesives. 2017. P. 1–6.
15. Лизунов Д.А. Разработка высокопрочных углепластиков на основе эпоксисодержащих олигомеров: дис. ... канд. хим. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. 237 с.
16. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учеб. пособие. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. 68 с.
17. Орлов Е.В., Гусев Ю.А., Хрульков А.В., Коротков И.А. Сравнительный анализ методов определения липкости препрега // Труды ВИАМ. 2016. № 7 (43). Ст. 09. URL: <http://www.viam-woks.ru> (дата обращения: 12.11.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-9-9.
18. Budelmann D., Detampel H., Schmidt C., Meiners D. Interaction of process parameters and material properties with regard to prepreg tack in automated lay-up and draping process // *Composites. Part A: applied science and manufacturing*. 2019. Vol. 117. P. 308–316.
19. Куцевич К.Е., Тюменева Т.Ю., Петрова А.П. Влияние наполнителей на свойства клеевых препрегов и ПКМ на их основе // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 4 (49). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.
20. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
21. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносоев А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. №3 (52). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.

### References

1. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Kablov E.N. Materials of new generation and digital technologies of their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
3. Raskutin A.E. Development strategy of polymer composite materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Kablov E.N. Marketing of materials science, aircraft building and industry: present and future. *Direktor po marketingu i sbytu*, 2017, no. 5–6, pp. 40–44.
5. Kablov E.N. The role of chemistry in the creation of new generation materials for complex technical systems. *Abstracts of the XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 25–26.
6. Grashchenkov D.V. Strategy of development of non-metallic materials, metal composite materials and heat-shielding. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 264–271. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-264-271.
7. Kinlok E. *Adhesion and adhesives, science and technology*. Moscow: Mir, 1991, 484 p.
8. Tkachuk A.I., Donetsky 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://journal.viam.ru> (accessed: February 19, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-23.

9. Duchk V., Pisanova E., Zhandarov S., Lauke B. Adhesion and adhesive strength in polymeric fibrous composites. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 1998, vol. 34, no. 5, pp. 431–446.
10. Postnov V.I., Nikitin K.E., Petukhov V.I., Burkhan O.L., Orzaev V.G. Method and device for determining the stickiness of prepregs. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2009, no. 3, pp. 29–33.
11. Timoshkov P.N., Usacheva M.N., Khrulkov A.V. Stickiness and possibility of using prepregs for automated technologies (review). *Trudy VIAM*, 2018, no. 8 (68), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 15, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-8-38-46.
12. Banks R., Mouritz A.P., John S. et al. Development of a new structural prepreg: characterization of handling, drape and tack properties. *Composite Structures*, 2004, vol. 66, pp. 169–174. DOI: 10/1016.j.compstruct.2004.04.034.
13. ASTM D2979-01. *Standard Test Method for Pressure-Sensitive Tack of Adhesives Using an Inverted Probe Machine*, 2001, pp. 1–3.
14. ASTM D3167. *Standard Test Method for Floating Roller Peel Resistance of Adhesives*, 2017, pp. 1–6.
15. Lizunov D.A. *Development of high-strength carbon plastics based on epoxy-containing oligomers*: thesis, Cand. Sc. (Chem.). Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleeva, 2014, 237 p.
16. Bogdanova Yu.G. *Adhesion and its role in ensuring the strength of polymer composites*: textbook. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2010, 68 p.
17. Orlov E.V., Gusev Yu.A., Khrulkov A.V., Korotkov I.A. Comparative analysis of stickiness determination methods of prepreg. *Trudy VIAM*, 2016, no. 7, paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: November 12, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-9-9.
18. Budelmann D., Detampel H., Schmidt C., Meiners D. Interaction of process parameters and material properties with regard to prepreg tack in automated lay-up and draping process. *Composites. Part A: applied science and manufacturing*, 2019, vol. 117, pp. 308–316.
19. Kutsevich K.E., Tyumeneva T.Yu., Petrova A.P. Influence of fillers on properties of adhesive prepregs and PCM on their basis. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.
20. Mukhametov R.R., Petrova A.P. Thermosetting binders for polymer composites (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
21. Gunayeva A.G., Sidorina A.I., Kurnosov A.O., Klimenko O.N. Polymeric composite materials of new generation on the basis of binder VSE-1212 and the filling agents alternative to ones of Porcher Ind. and Toho Tenax. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 3 (52), pp. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.

#### Информация об авторах

**Мишкин Сергей Игоревич**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Клименко Оксана Николаевна**, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Куцевич Кирилл Евгеньевич**, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### Information about the authors

**Sergey I. Mishkin**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Oksana N. Klimenko**, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Kirill E. Kutsevich**, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 24.12.2021.

The article was submitted 15.12.2022; approved and accepted for publication after reviewing 24.12.2021.