

Научная статья

УДК 678

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-53-65

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ (обзор)

М.И. Валуева¹, А.А. Евдокимов¹, А.В. Начаркина¹, А.М. Губин¹

¹ НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация: Представлен обзор научно-технической литературы в области применения полимерных композиционных материалов в автомобилестроении. Приведены история вопроса, а также современные тенденции в области материалов, технологий и технических решений, применяемых для решения поставленных задач. С учетом мирового опыта рассмотрены примеры и показана перспективность использования в автомобилестроении полимерных композиционных материалов и технологий их переработки, разрабатываемых для авиационно-космической отрасли.

Ключевые слова: материаловедение, автомобилестроение, неметаллические материалы, композиционные материалы, полимерные композиционные материалы, технологии

Для цитирования: Валуева М.И., Евдокимов А.А., Начаркина А.В., Губин А.М. Полимерные композиционные материалы и технологии в автомобилестроении (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 1 (107). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-53-65.

Scientific article

POLYMER COMPOSITE MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY (review)

Maria I. Valueva¹, Anton A. Evdokimov¹, Anastasia V. Nacharkina¹, Anton M. Gubin¹

¹NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract: Provides an overview of scientific and technical literature in the field of application of polymer composite materials in the automotive industry. The paper presents the history of the issue, as well as current trends in the field of materials, technologies and the technical solutions used to solve the assigned tasks. Taking into account world experience, examples are given and the prospects of using polymer composite materials and technologies for their processing developed for the aerospace industry in automotive industry are shown.

Keywords: materials science, automotive industry, non-metallic materials, composite materials, polymer composite materials, technologies

For citation: Valueva M.I., Evdokimov A.A., Nacharkina A.V., Gubin A.M. Polymer composite materials and technologies in the automotive industry (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 1 (107), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-1-53-65.

Введение

Технические решения для сложных технических систем и конструкций изделий современного транспортного машиностроения являются ноу-хау компаний-производителей, для реализации которых может быть использован широкий спектр современных металлических и неметаллических материалов, выбираемых с учетом требуемых характеристик [1–8].

В автомобильной промышленности, особенно в спортивной индустрии, совместно с обеспечением необходимых прочностных и ресурсных показателей применяемых материалов актуальной является задача реализации весовой эффективности, что позволит обеспечить экономное расходование горючего и снижение негативного воздействия на окружающую среду, а в случае электромобилей – повышение запаса хода. В этой связи широкое распространение получило применение полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Ранее в работах [9, 10] был представлен аналитический обзор в области композиционных материалов в автомобильной промышленности, а также рассмотрены некоторые применяемые технологические процессы.

В данной статье эта тематика находит продолжение – представлен обзор российской и зарубежной научно-технической литературы, патентов на изобретения в области свойств, истории и современного состояния применения ПКМ и технологий их переработки для автомобильной отрасли.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13. «Полимерные композиционные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

Полимерные композиционные материалы в автомобилестроении

Согласно экспертной оценке, в 2021 г. объем мирового рынка ПКМ достигнет ~13 млн т, что в стоимостном выражении составит ~105 млрд долл., а к 2023 г. достигнет ~14 млн т, что в стоимостном выражении составит ~120 млрд долл. [11]. В структуре мирового рынка доля ПКМ в количестве ~(28–30) % приходится на транспортное машиностроение [11], в том числе перспективным является применение таких материалов в автомобилестроении.

Наиболее перспективными ПКМ применительно к конструкции автомобиля являются углепластики. По прогнозам, к 2022 г. годовая выручка от реализации углеродных композитов в мире достигнет 4,9 млрд долл. (4,21 млрд евро), что соответствует 20000 т углеродного волокна. В таблице сегментов рынка потребления углепластиковых материалов автомобильная промышленность выйдет на второе место, опередив ветряные турбины [12]. К 2023 г. потребление углеродных ПКМ в мире ожидается на уровне 197 тыс. т [13].

Одной из движущих сил развития мирового рынка является кооперация производителей исходных компонентов (композиционных материалов) с автопроизводителями – компаниями BASF и SGL Carbon, Toray и Nissan, Honda, GM и Teijin, JRL и Cytec, Ford и Dow Automotive, BMW и SGL Carbon, Daimler и Toray, SGL Group и Benteler Automotive и др. [12, 14].

История вопроса

Начало применения ПКМ в автомобильном секторе относится к 1940-м гг., когда был изготовлен прототип композитного автомобиля с корпусом из стекловолокна и с пневматической подвеской [12].

В 1950-х гг. в Англии несущую систему из стеклопластика использовали в конструкции компактных автомобилей (например, в автомобиле Rochdale Olympic со снаряженной массой 650 кг, в Lotus Elite со снаряженной массой 504 кг и в Mini Marcos со снаряженной массой 476 кг), имеющих, как правило, передний привод и двухместный кузов типа купе. Несущую систему каркасно-панельного типа с панелями из стеклопластика также использовали в конструкции автомобилей Chevrolet Corvette и Pontiac Firebird 1953 и 1967 гг. выпуска соответственно. В качестве примера может служить

создание в тот же период отечественного экспериментального автомобиля, созданного специалистами лаборатории «Колесные машины» Московского высшего технического училища им. Н.Э. Баумана. Полученный при изготовлении этого автомобиля опыт был в последующем применен в автомобилях ЗИЛ-135Л. В настоящее время стеклопластик в автомобилестроении находит широкое применение при создании элементов обшивки легковых автомобилей, а также в производстве несущих систем автобусов, кабин грузовых автомобилей и автомобилей-амфибий [15]. Мировые поставщики стеклопластика для автомобильного рынка – компании Owens Corning, Millfield Group, Vetrotex, Lanxess и Ahlstrom [12].

Начиная с 1970-х гг. происходит широкое внедрение углеродных волокон в качестве наполнителя для производства ПКМ, в том числе и для создания изделий автомобильной промышленности. Например, в 1978 г. на гоночном автомобиле McLaren MP4 британской фирмы применена несущая система из углепластика, что позволило повысить жесткость корпуса [15].

В 1992 г. из углепластика изготовлена несущая система автомобиля McLaren F1 – первой серийной модели спортивного автомобиля в мире. В 1995 г. углепластик использован в конструкции автомобиля Ferrari F50 с несущим корпусом в виде трехслойных панелей со средним слоем из арамидных сот [15].

Дальнейшее применение углепластиков в конструкции автомобилей только увеличивалось, о чем свидетельствует динамика выпуска автомобилей с несущей системой из ПКМ (рис. 1).

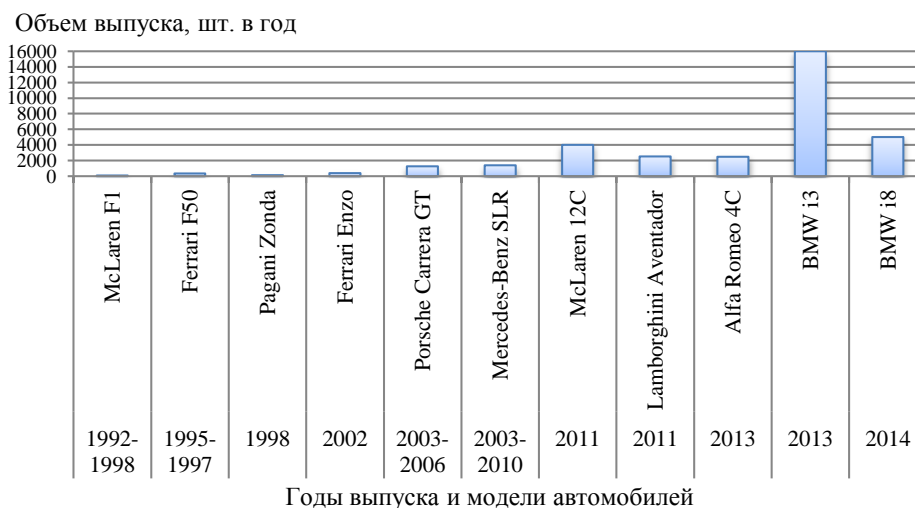


Рис. 1. Динамика выпуска автомобилей с несущей системой из полимерных композиционных материалов [15]

В настоящее время ПКМ являются неотъемлемой частью как спортивных автомобилей, так и массового сегмента автомобилестроения, включая электромобили. Так, благодаря применению ПКМ произошло снижение массы электромобиля BMW i3 (рис. 2) на 300 кг; снаряженная масса автомобиля составила 1195 кг. Несущая система из углепластика стала легче аналогичных систем – алюминиевой и стальной – на 30 и 50 % соответственно [15]. Масса алюминиевого и стального капотов автомобиля серийного производства составляет приблизительно 12 и 20 кг соответственно, углепластикового капота при обеспечении заданной жесткости и прочности конструкции – 8 кг [16]. При изготовлении капотов, дверей, крыш и деталей пола из ПКМ может быть обеспечено снижение массы изделия на 28–47 % [17, 18].



Несущая система McLaren MP4



Несущая система BMW i3



Колесный диск Porsche 911 Turbo S Exclusive Series

Рис. 2. Элементы автомобилей, изготовленные из углепластика [15, 20, 21]

В то же время полностью отказаться от использования металлических элементов несущей системы автомобиля не представляется возможным. Поэтому зачастую сочетают применение ПКМ и металлических материалов в конструкции. Так, совместное использование углепластика и алюминия в конструкции корпуса автомобиля Mercedes-Benz G 63 AMG позволило снизить массу изделия на 200 кг; масса автомобиля составила 2350 кг [19].

Существенное уменьшение массы автомобиля, обеспечиваемое применением ПКМ, приводит к значительной экономии горючего и, соответственно, снижению объема вредных выхлопов. Так, согласно расчетным данным, при уменьшении массы автомобиля на 7 кг повышение его экономичности может достигать 0,0042 км/л [22]. Устойчивость элементов из углепластика на высоких скоростях и способность поглощать энергию удара позволяют обеспечить необходимый уровень безопасности [23].

За рубежом одну из лидирующих позиций в производстве материалов для автомобильного сектора занимает компания Toray [13]. Карданные валы, изготовленные компанией Toray уже используются приблизительно в 1 млн автомобилей. Среди автомобильных применений – также шины с боковинами из углеродного волокна для улучшения устойчивости на поворотах, уже доступные для обычных легковых автомобилей [23].

Компанией Porsche разработаны колесные диски, полностью выполненные из углепластика на основе плетеного наполнителя (рис. 2 и 3). Масса одного полученного диска на 2,1 кг меньше стандартных легкосплавных колес при одновременном повышении прочности на 20 % [20, 21].

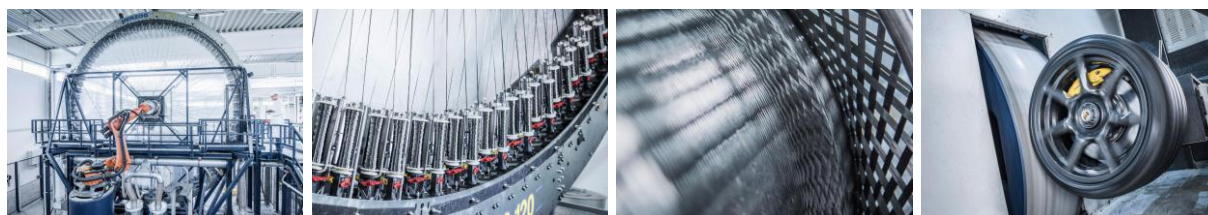


Рис. 3. Плетение углеволоконной основы колесного диска и его испытания [20, 21]

Вопросом повышения удельной мощности автомобиля за счет применения ПКМ занимаются также разработчики компании Automobili Lamborghini, при этом больше внимания уделяется ударопрочности и методам ремонта композиционных материалов. В автомобиле Aventador монокок спроектирован как цельная углеволоконная конструкция. В суперкаре Lamborghini Sesto Elemento («Шестой элемент») из углепластика изготовлены несущий кузов, передняя часть, наружные панели кузова, амортизаторы,

основные компоненты подвески, колесные диски и вал коробки передач, благодаря чему автомобиль обладает высокими характеристиками разгона, управляемости и меньшим тормозным путем [24]. Благодаря сотрудничеству компаний Lamborghini и Boeing в автомобильной отрасли появляются авиакосмические технологии [24].

В автомобилях будущего салон будет представлять собой многофункциональное рабочее пространство с применением более тонких, легких, жестких и прочных материалов. Примером оснащения интерьера является столик модульной конструкции из термопластичных углепластиков – столик имеет массу 690 г и выдерживает нагрузку до 50 кг [25]; при этом к числу преимуществ применения термопластичных композитов относится возможность вторичной переработки [23]. Пример технического решения по использованию отходов углепластика после вторичной переработки при изготовлении автомобильного спойлера представлен в изобретении [26]. Процесс состоит из нагрева углепластикового сырья (отходов), смешанных с АБС-пластиком, поликарбонатом, полиглицидилметакрилатом, порошком слюды и изопреновым каучуком, и экструдирования полученной смеси из двухшнековой машины.

Технологии переработки ПКМ в автомобилестроении

На начальном этапе применения ПКМ в автомобилестроении производство было малотоннажным, неавтоматизированным, использовался, как правило, ручной труд, изготовление несущей системы занимало до 3000 ч. Несущие системы современных автомобилей, например BMW i3, могут быть произведены за 4 ч [15].

При изготовлении эксклюзивных и дорогостоящих спортивных автомобилей может быть использован трудоемкий процесс отверждения пакета препрега углепластика в автоклаве при температуре до 100 °С и давлении 8 ат (0,8 МПа) [15]. На серийное производство дисков автомобилей из препрегов ориентированы компании Ford и BASF [21].

При изготовлении автомобилей массового сегмента, включая BMW i3, применяется RTM-технология при нагреве оснастки до температуры 100 °С [15].

Высокая стоимость производства деталей из ПКМ в настоящее время продолжает оставаться ограничивающим фактором их применения в автомобилестроении. Перспективными решениями являются автоматизация производства, а также применение новых технологий и материалов [27]. Так, возможна реализация автоматизированной технологии изготовления деталей из углепластиков для серийного производства, например листовых капотов двигателей автомобилей, за 15 мин [28]. Однако использование ПКМ для изготовления внешних обшивок транспортных средств должно производиться с учетом упруго-прочностных характеристик конструкции. Так, при описании способа реализации автоматизированного производства крыши автомобиля в патенте [29] предложено в качестве основных считать характеристики при изгибе и применительно к конструкции производить расчет с использованием метода конечных элементов. Выполнять математические расчеты при проектировании углепластиковых элементов конструкций автомобиля целесообразно при помощи метода компьютерного моделирования, как это показано в изобретении [30].

В патенте [31] описан процесс формования пола автомобиля в автоклаве, включающий отверждение при температуре 120 °С в течение 30 мин. Технология, используемая компаниями Volkswagen, Renault и Volvo, позволяет производить до 50 ед. панелей пола из углепластика в день [32].

Применение высокоскоростного впрыскивания и сверхвысокоскоростных технологий термоотверждения значительно сокращает время, необходимое для производства комплектующих из углепластика [16]. Например, продолжительность отверждения

препрега Hexcel HexPly® M77, используемого в автомобилях BMW 7 серии, составляет <2 мин (при температуре 150 °С), что позволяет изготавливать до 500 деталей в день [33].

В научно-технической литературе в области материалов и технологий для автомобилестроения наиболее часто встречается описание применения эпоксидных связующих [34], но также рассматриваются связующие других классов, например бензоксазиновые [35]. В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ имеется опыт разработки быстроотверждаемых связующих для препреговой технологии формования ПКМ на основе фенолформальдегидных смол – например, фенолформальдегидное связующее ВСФ-16М, которое является модификацией связующего РС-Н. Оптимальный режим отверждения разработанного фенолформальдегидного связующего: выдержка в течение 20 мин при температуре 140 °С [36].

Патенты на изобретения в области автомобилестроения касаются как непосредственно материалов и технологий их переработки, так и технологий механической обработки деталей автомобилей из углеродных композиционных материалов. Например, в патенте [37] представлена технология обработки для крышки-кожуха двигателя переменной толщины.

В изобретении [38] показан способ изготовления конструкции автомобильного топливного бака с применением армирования стекловолоконной ровницей. Данное изобретение предполагает укрепление металлического корпуса топливного бака стеклянными волокнами, при этом сам металлический корпус используется в качестве оснастки для изготовления конструкций и служит прежде всего для герметизации топливного бака. Подобные системы перспективны также и для хранения сжиженного газообразного топлива, в том числе водородного, с целью замены применяемых в настоящее время цельнометаллических резервуаров на резервуары из ПКМ.

Изобретение, представленное в патенте [39], относится к способу защиты внутреннего пространства пассажирского салона от резервуара с водородом. Основной корпус изготовлен из волокнистого композиционного материала с покрытием, содержащим пигменты Cu и/или Al и препятствующим проникновению водорода, и выполнен в виде стенки или части стенки пассажирского салона. Изобретение может быть использовано для транспортных средств, применяющих альтернативные источники энергии.

Примером изобретения в области материалов для конструкций электромобилей является патент [40], посвященный высокопрочному легкому корпусу автомобильного аккумулятора и процессу его производства. Для создания корпуса используется сочетание металлического и углекомпозитного материалов, что позволяет создать легкую конструкцию. Сквозное отверстие, расположенное в корпусе углепластикового сердечника, может применяться в качестве отверстия для сброса давления, а при слишком высокой температуре или внутреннем давлении аккумуляторной батареи – для снижения риска взрыва в результате расплавления алюминия. Изобретение, представленное в патенте [41], направлено на создание нижней защитной пластины днища аккумуляторной батареи из углеродного ПКМ, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к эксплуатационным характеристикам, и обеспечивающей весовую эффективность.

Следует также отметить, что патенты на изобретения на создание автомобилей с применением ПКМ подаются как крупными компаниями-производителями, так и индивидуальными изобретателями. Например, в изобретении [42] представлено техническое решение по созданию автомобиля, копирующего спорткар Lotus Seven. Основой разработки стала сварная трубчатая рама с наружными панелями из углепластика, а силовой установкой послужил 1,7-литровый бензиновый двигатель с пятиступенчатой механической коробкой передач от вазовской «Нивы».

Для обеспечения требуемого уровня свойств (необходимых прочности и жесткости) находит распространение изготовление элементов конструкции в виде трехслойных панелей, внешние из которых работают преимущественно на растяжение и сжатие [15].

В работе [43] показано, что при использовании для облегченных опорных узлов и систем автомобилей ПКМ на основе различных армирующих наполнителей (например, на основе угле- и стекловолокна) максимальную прочность при сжатии отмечают при чередовании слоев, а максимальную прочность при изгибе – при содержании углеволокна в количестве 50 % (по массе) и при его расположении во внешних слоях.

Современные технологии восстановления элементов конструкций позволяют уменьшить износ, а также повысить послеремонтный технический ресурс деталей. В рамках работ по оценке методов восстановления изношенных корпусных деталей автомобилей за счет применения полимерных покрытий в статье [44] представлены данные по исследованию терморadiационного нагрева корпусных деталей агрегатов трансмиссий автомобилей с применением математического моделирования. Показано, что в результате подобной обработки может быть уменьшена площадь разрушенного покрытия [45]. Исследования [44, 45] проведены для металлических материалов, однако представляет интерес выполнение подобных исследований и для конструкций из ПКМ.

Согласно данным, указанным в «Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года» [46], импортозависимость в производстве легковых автомобилей в России оценивается на уровне >60 %, в сегменте грузовых автомобилей – на уровне >25 %, а в области автокомпонентов – на уровне 26 %, в связи с чем необходимо целевое развитие исследований и разработок для автомобильной промышленности, включая конструкторско-технологические компетенции по разработке продуктов и компонентов, а также достижение конкурентоспособности результатов интеллектуальной деятельности. В области материаловедения следует расширить применение новых конструкционных и эксплуатационных материалов, включая ПКМ, для снижения массы транспортных средств [46]. Возможно также и использование ПКМ, разработанных для иных отраслей промышленности, в частности для авиации.

Материалы и технологии, разработанные в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ [47–50] в интересах авиационно-космической отрасли, позволяют создавать конструкции, обладающие требуемым уровнем эксплуатационных характеристик и отвечающие требованиям по пожаробезопасности, являются перспективными для применения и в автомобильном секторе – например, разработанные в институте обрезиненные натяжные подвесные изоляторы из стеклопластика для контактных сетей троллейбусов и трамваев [51, 52].

Важным элементом автомобильной инфраструктуры, непосредственно влияющим на износ и сохранение целостности конструкции автомобиля, являются в том числе автомобильные дороги. В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработана технология получения ПКМ и несущих строительных конструкций из них на основе углеродных (углепластик ВКУ-51) и стеклянных (стеклопластик ВПС-58) армирующих волокнистых наполнителей для применения при строительстве быстровозводимых арочных мостов. Такие материалы нашли практическую реализацию при возведении автомобильного моста в Ульяновской области [53, 54].

С целью снижения рисков возникновения негативных последствий, связанных с санкционными ограничениями на импорт на территорию РФ сырьевых компонентов для производства ПКМ, в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ налажено собственное производство полимерных связующих и углеродных армирующих наполнителей, клеев и лакокрасочных покрытий, а также имеется комплекс технологического оборудования для получения и переработки ПКМ.

Заключения

Вопрос снижения массы изделия и обеспечения его эксплуатационной надежности в настоящее время является актуальным для автомобилей, работающих на всех видах энергоносителей, как эксклюзивного, так и массового сегмента.

Наиболее широкое применение в автомобилестроении из числа ПКМ нашли угле- и стеклопластики; используются как автоклавная, так и безавтоклавные технологии переработки в изделия, различные текстильные формы армирующих наполнителей.

Благодаря применению ПКМ масса отдельных деталей автомобиля может быть уменьшена на 80 %, что в целом позволяет на 8 % повысить топливную эффективность, снизить на 0,3–0,6 л расход топлива на 100 км пути при уменьшении массы на каждые 100 кг, сократить время разгона и тормозной путь, понизить уровни шума и вибрации, а также повысить управляемость автомобилем [55].

Список источников

1. Каблов Е.Н., Антипов В.В., Гирш Р.И., Серебренникова Н.Ю., Коновалов А.Н. Конструируемые слоистые материалы на основе листов из алюминий-литиевых сплавов и стеклопластиков в конструкциях летательных аппаратов нового поколения // Вестник машиностроения. 2020. № 12. С. 46–52.
2. Каблов Е.Н., Сагомонова В.А., Сорокин А.Е., Целикин В.В., Гуляев А.И. Исследование структуры и свойств полимерного композиционного материала с интегрированным вибропоглощающим слоем // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. № 3. С. 2–9.
3. Каблов Е.Н., Шульдешов Е.М., Петрова А.П., Лаптева М.А., Сорокин А.Е. Зависимость комплекса свойств звукопоглощающего материала типа ВЗМК от концентрации гидрофобизирующего состава на основе кремнийорганического герметика // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 41–49. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-41-49.
4. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Измерение и прогнозирование температуры образцов материалов при экспонировании в различных климатических зонах // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 4 (61). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-4-47-58.
5. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (57). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
6. Кузнецова В.А., Марченко С.А., Емельянов В.В., Железняк В.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидных олигомеров и отвердителей на эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
7. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение терморезистивных 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: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
8. Имамединов Э.Ш., Валуева М.И. Композиционные материалы для поршневых двигателей (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 3 (60). С. 19–28. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-19-28.
9. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ. 2017. № 6 (54). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7.
10. Борщев А.В., Гусев Ю.А. Разработка и внедрение ПКМ в автомобильную промышленность. Разновидности HP-RTM процессов // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 4. С. 48–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-4-48-52.
11. Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6–7 (89). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.

12. Komornicki J., Bax L., Vasiliadis H., Magallon I., Ong K. Polymer composites for automotive sustainability. Brussels: SusChem (European technology platform for sustainable chemistry), 2017. 56 p. URL: <http://www.suschem.org/publications> (дата обращения: 10.09.2021).
13. Заур М. Мировой рынок углеродных волокон и композитов // Полимерные материалы. 2020. № 10. URL: <https://polymerbranch.com/d2d2c6e2445eef2bcff6bf0fdf69846c/f90e3aea9d69d3da52e7d874caca9cea/magazineclause.pdf> (дата обращения: 10.09.2021).
14. Composite Materials Market for Automotive by Material Type (PMC, MMC, & CMC), Application & their Sub-Components (Structural, Powertrain, Interior, Exterior, & Others), Vehicle Type (PC, LCV, HCV, & Rolling Stock), & by Region-Global Forecast to 2020 // Market research report. 2015. Oct. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-composite-materials-market-6114278.html> (дата обращения: 10.09.2021).
15. Арутюнян Г.А., Карташов А.Б. Анализ истории развития и актуальности применения несущих систем из композиционных материалов // Журнал автомобильных инженеров. 2015. № 5. С. 60–66.
16. Automotive component // Torayca. URL: https://www.torayca.com/en/lineup/composites/com_011.html (дата обращения: 10.09.2021).
17. The BMW i8 Production // BMW Medien-information. 2014. Vol. 08. P. 1–8. URL: <https://www.press.bmwgroup.com> (дата обращения: 10.09.2021).
18. Schlarb A.K. Loesungspotenziale fuer die Automobilindustrie // Kunststoffe. 2011. Vol. 7. S. 82–89.
19. Qinglong AN, Jie Chen, Weiwei Ming, Ming Chen. Machining of SiC ceramic matrix composites: A review // Chinese Journal of Aeronautics. 2021. Vol. 34 (4). S. 540–567.
20. World première: Braided carbon wheels // Porsche. URL: <https://newsroom.porsche.com/en/products/porsche-carbon-wheels-braided-world-premiere-911-turbo-s-exclusive-series-14064.html> (дата обращения: 10.09.2021).
21. Marsh G. Composites conquer with carbon supercars // Reinforced Plastics. 2006. Vol. 50. No. 1. S. 20–24.
22. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.
23. VehiclesCars // Torayca: офиц. сайт. URL: https://www.torayca.com/en/activity/act_006.html (дата обращения: 10.09.2021).
24. Технологические материалы // Lamborghini: офиц. сайт. URL: <https://www.lamborghini.com/ru> (дата обращения: 10.09.2021).
25. Дорин Ф., Тринквальтер Б., Вольфсбергер К., Цвикльхубер П. Концепция модульного столика для автомобиля будущего // Полимерные материалы. 2021. № 2. URL: <https://polymerbranch.com/7f6caf1f0ba788cd7953d817724c2b6e/3524ace8b7b3c240bbb74b1374c1a9c7/magazineclause.pdf> (дата обращения: 10.09.2021).
26. Composite material for automobile spoiler and preparation method thereof: pat. CN 112731173A No. 202110125113.4A; filed 29.01.21; publ. 25.05.21.
27. Mit Kostensenken wächst erleichtert // VDI-Nachr. 2012. No. 21. P. 8.
28. Advanced in the bonnet moving as fast as those under it // European Tool and Mould Making. 2013. Vol. 15. No. 10. P. 38–39.
29. Production method for automobile roof made of fiber reinforced composite material: pat. CN 102922621A. No. 201210484676.3A; filed 23.11.12; publ. 13.02.13.
30. Design method of automobile carbon fiber reinforced composite reinforcement: pat. CN 110781603A. No. 201911069730.6A; filed 05.11.19; publ. 11.02.20.
31. Carbon fiber composite material automobile front floor, manufacturing method and automobile: pat. CN 111516761A. No. 202010313244.0A; filed 20.04.20; publ. 11.08.20.
32. Othman R., Ismail N.I., Ab Hamid Pahmi M.A. et al. Application of carbon fiber reinforced plastics in automotive industry: a review // Journal of Mechanical Manufacturing. 2018. Vol. 1. P. 144–154.
33. Hexcel Composite Materials. Automotive Product Focus // Hexcel Corporation: офиц. сайт. URL: <https://www.hexcel.com/Markets/automotivestructuralparts> (дата обращения: 10.09.2021).
34. Preparation method of automobile carbon fiber composite material B column reinforcement: pat. CN 111169039A. No. 202010027167.2A; filed 10.01.20; publ. 19.05.20.

35. Benzoxazine combined material new energy automobile lightweight battery box lower box body: pat. CN 210224090U. No. 201920155754.2U; filed 29.01.19; publ. 31.03.20.
36. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Постнов В.И., Серкова Е.А. Фенолформальдегидные связующие нового поколения для материалов интерьера // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 5. С. 265–272.
37. Manufacturing method of automobile engine cover made of carbon fiber composite materials: pat. CN 105383070A. No. 201510660669.8A; filed 12.10.15; publ. 09.03.16.
38. New type automobile gasoline tank and forming method thereof: pat. CN 105253011A. No. 201510756346.9A; filed 06.11.15; publ. 20.01.16.
39. Shielding device, passenger compartment, motor vehicle and shielding method: pat. DE 102015201710A1. No. 102015201710.9A; filed 02.02.15; publ. 04.08.16.
40. High-strength lightweight new energy automobile battery shell and production process thereof: pat. CN 111224021A. No. 202010110909.8A; filed 21.02.20; publ. 02.06.20.
41. Backplate and electric automobile at bottom of carbon-fibre composite battery: pat. CN 111301184A. No. 202010201570.2A; filed 20.03.20; publ. 19.06.20.
42. Патент на мечту // *Klaxonnew*. URL: <https://klaxonnew.ru/patent-na-mechtu-34329-9872> (дата обращения: 10.09.2021).
43. Jin Z., Khunlavit Ch., Shuai H. et al. Hybrid composite laminates reinforced with glass/carbon woven fabrics for lightweight load bearing structures // *Materials and Design*. 2012. No. 36. P. 75–80.
44. Ли Р.И., Псарев Д.Н., Быконя А.Н., Киба М.Р. Математическая модель терморadiационной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2021. № 2. С. 29–35.
45. Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Псарев Д.Н., Быконя А.Н., Киба М.Р. Метод расчета параметров установки терморadiационной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2021. № 5. С. 38–43.
46. Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2018 г. № 831-р // *Правительство России: Документы*. URL: <http://government.ru/docs/32547/> (дата обращения: 10.09.2021).
47. Каблов Е.Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: сб. информ. материалов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ, 2015. 720 с.
48. Раскутин А.Е., Соколов И.И. Углепластики и стеклопластики нового поколения // *Труды ВИАМ*. 2013. № 4. Ст. 9. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021).
49. Курносков А.О., Мельников Д.А., Соколов И.И. Стеклопластики конструкционного назначения для авиастроения // *Труды ВИАМ*. 2015. № 8. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-8-8.
50. Гуняева А.Г., Курносков А.О., Гуляев И.Н. Высокотемпературные полимерные композиционные материалы, разработанные во ФГУП «ВИАМ», для авиационно-космической техники: прошлое, настоящее, будущее (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 1 (95). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-43-53.
51. Наша история. URL: https://viam.ru/history_1 (дата обращения: 10.09.2021).
52. Наш вектор задач и свершений – будущее. URL: <https://viam.ru/interview/4343> (дата обращения: 10.09.2021).
53. Евдокимов А.А., Раскутин А.Е., Мишкин С.И., Михалдыкин Е.С. Арочные мосты с применением углепластиковых арочных элементов // *Конструкции из композиционных материалов*. 2019. № 2. С. 22–29.
54. Мишкин С.И., Раскутин А.Е., Евдокимов А.А., Гуляев И.Н. Технологии и основные этапы строительства первого в России арочного моста из композиционных материалов // *Труды ВИАМ*. 2017. № 6 (54). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.09.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-5-5.
55. Automobile opening part and manufacturing method thereof: pat. CN 103552610A. No. 201310582706.9A; filed 19.11.13; publ. 05.02.14.

References

1. Kablov E.N., Antipov V.V., Girsh R.I., Serebrennikova N.Yu., Konovalov A.N. Constructed laminated materials based on sheets of aluminum-lithium alloys and fiberglass in the designs of new generation aircraft. *Vestnik mashinostroeniya*, 2020, no. 12, pp. 46–52.
2. Kablov E.N., Sagomonova V.A., Sorokin A.E., Tselikin V.V., Gulyaev A.I. Investigation of the structure and properties of a polymer composite material with an integrated vibration-absorbing layer. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2020, no. 3, pp. 2–9.
3. Kablov E.N., Shuldeshov E.M., Petrova A.P., Lapteva M.A., Sorokin A.E. Dependence of complex of sound-proof VZMK type material properties on concentration of hydrophobizing composition on the basis of organosilicon sealant. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 41–49. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-41-49.
4. Kablov E.N., Startsev V.O. Measurement and forecasting of materials samples' temperature during weathering in different climatic zones. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 4 (61), pp. 47–58. DOI: 10.18577 / 2071-9140-2020-0-4-47-58.
5. Kovrizhkina N.A., Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Marchenko S.A. Ways to improve the properties of paint coatings by adding different fillers (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
6. Kuznetsova V.A., Marchenko S.A., Emelyanov V.V., Zheleznyak V.G. Study of the influence of molecular mass of epoxy oligomers and hardeners on the operational properties of paint coatings. *Aviation materials and technology*, 2021. no. 1 (62). paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: 10, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
7. Tkachuk A.I., Donetsky K.I., Terekhov I.V., Kara-vaev 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: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-23.
8. Imametdinov E.S., Valueva M.I. Composites for piston engines (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 19–28. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-19-28.
9. Timoshkov P.N., Khrukov A.V., Yazvenko L.N. Composite materials in automotive industry (review). *Trudy VIAM*, 2017, no. 6 (54), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7.
10. Borshchev A.V., Gusev Y.A. Development and implementation of PCM in automotive industry, varieties of HP-RTM processes. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2014, no. 4, pp. 48–52. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-4-48-52.
11. Doriomedov M.S. Russian and world market of polymer composites (review). *Trudy VIAM*, 2020, no. 6–7 (89), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-67-29-37.
12. Komornicki J., Bax L., Vasiliadis H., Magallon I., Ong K. *Polymer composites for automotive sustainability*. Brussels: SusChem (European technology platform for sustainable chemistry), 2017, 56 p. Available at: <http://www.suschem.org/publications> (accessed: September 10, 2021).
13. Zauer M. World market of carbon fibers and composites. *Polymer materials*, 2020, no. 10. Available at: <https://polymerbranch.com/d2d2c6e2445eef2bcff6bf0fdf69846cf90e3aea9d69d3da52e7d874caca9cea/magazineclause.pdf> (accessed: September 10, 2021).
14. Composite Materials Market for Automotive by Material Type (PMC, MMC, & CMC), Application & their Sub-Components (Structural, Powertrain, Interior, Exterior, & Others), Vehicle Type (PC, LCV, HCV, & Rolling Stock), & by Region-Global Forecast to 2020. *Market research report*. Oct., 2015. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/automotive-composite-materials-market-6114278.html> (accessed: September 10, 2021).
15. Arutyunyan G.A., Kartashov A.B. Analysis of the history of development and relevance of the use of load-bearing systems made of composite materials. *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*, 2015, no. 5, pp. 60–66.
16. *Automotive component*. Available at: https://www.torayca.com/en/lineup/composites/com_011.html (accessed: September 10, 2021).

17. The BMW i8 Production. *BMW Medien-information*, 2014, vol. 08, pp. 1–8. Available at: <https://www.press.bmwgroup.com> (accessed: September 10, 2021).
18. Schlarb A.K. Loesungspotenziale fuer die Automobilindustrie. *Kunststoffe*, 2011, vol. 7, pp. 82–89.
19. Qinglong AN, Jie Chen, Weiwei Ming, Ming Chen. Machining of SiC ceramic matrix composites: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2021, vol. 34 (4), pp. 540–567.
20. World première: Braided carbon wheels. Available at: <https://newsroom.porsche.com/en/products/porsche-carbon-wheels-braided-world-premiere-911-turbo-s-exclusive-series-14064.html> (accessed: September 10, 2021).
21. Marsh G. Composites conquer with carbon supercars. *Reinforced Plastics*, 2006, vol. 50, no. 1, pp. 20–24.
22. Kablov E.N. Composites: Today and Tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
23. VehiclesCars. Available at: https://www.torayca.com/en/activity/act_006.html (accessed: September 10, 2021).
24. Technological materials. Available at: <https://www.lamborghini.com/ru> (accessed: September 10, 2021).
25. Doreen F., Trinkvalter B., Wolfsberger K., Zwicklhuber P. The concept of a modular table for the car of the future. *Polimernye materialy*, 2021, no. 2. Available at: <https://polymerbranch.com/7f6caf1f0ba788cd7953d817724c2b6e/3524ace8b7b3c240bbb74b1374c1a9c7/magazineclause.pdf> (accessed: September 10, 2021).
26. *Composite material for automobile spoiler and preparation method thereof*: pat. CN 112731173A, no. 202110125113.4A; filed 29.01.21; publ. 25.05.21.
27. Mit Kostensenken wächst erleichtert. *VDI-Nachr*, 2012, no. 21, pp. 8.
28. Advanced in the bonnet moving as fast as those under it. *European Tool and Mould Making*, 2013, vol. 15, no. 10, pp. 38–39.
29. *Production method for automobile roof made of fiber reinforced composite material*: pat. CN 102922621A, no. 201210484676.3A; filed 23.11.12; publ. 13.02.13.
30. *Design method of automobile carbon fiber reinforced composite reinforcement*: pat. CN 110781603A, no. 201911069730.6A; filed 05.11.19; publ. 11.02.20.
31. *Carbon fiber composite material automobile front floor, manufacturing method and automobile*: pat. CN 111516761A, no. 202010313244.0A; filed 20.04.20; publ. 11.08.20.
32. Othman R., Ismail N.I., Ab Hamid Pahmi M.A. et al. Application of carbon fiber reinforced plastics in automotive industry: a review. *Journal of Mechanical Manufacturing*, 2018, vol. 1, pp. 144–154.
33. *Hexcel Composite Materials. Automotive Product Focus*. Available at: <https://www.hexcel.com/Markets/automotivestructuralparts> (accessed: September 10, 2021).
34. *Preparation method of automobile carbon fiber composite material B column reinforcement*: pat. CN 111169039A, no. 202010027167.2A; filed 10.01.20; publ. 19.05.20.
35. *Benzoxazine combined material new energy automobile lightweight battery box lower box body*: pat. CN 210224090U, no. 201920155754.2U; filed 29.01.19; publ. 31.03.20.
36. Zastrogina O.B., Shvets N.I., Postnov V.I., Serkova E.A. Phenolformaldehyde binding new generation for interior materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 265–272.
37. *Manufacturing method of automobile engine cover made of carbon fiber composite materials*: pat. CN 105383070A, no. 201510660669.8A; filed 12.10.15; publ. 09.03.16.
38. *New type automobile gasoline tank and forming method thereof*: pat. CN 105253011A, no. 201510756346.9A; filed 06.11.15; publ. 20.01.16.
39. *Shielding device, passenger compartment, motor vehicle and shielding method*: pat. DE 102015201710A1, no. 102015201710.9A; filed 02.02.15; publ. 04.08.16.
40. *High-strength lightweight new energy automobile battery shell and production process thereof*: pat. CN 111224021A, no. 202010110909.8A; filed 21.02.20; publ. 02.06.20.
41. *Backplate and electric automobile at bottom of carbon-fibre composite battery*: pat. CN 111301184A, no. 202010201570.2A; filed 20.03.20; publ. 19.06.20.
42. Dream patent. Available at: <https://klaxonnew.ru/patent-na-mechtu-34329-9872> (accessed: September 10, 2021).

43. Jin Z., Khunlavit Ch., Shuai H. et al. Hybrid composite laminates reinforced with glass/carbon woven fabrics for lightweight load bearing structures. *Materials and Design*, 2012, no. 36pp. 75–80.
44. Li R.I., Psarev D.N., Bykonya A.N., Kiba M.R. Mathematical model of thermo-radiation treatment of polymer coatings during restoration of car body parts // *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2021, no. 2, pp. 29–35.
45. Li R.I., Rizaeva Yu.N., Psarev D.N., Bykonya A.N., Kiba M.R. Method of calculating the parameters of the installation of thermo-radiation treatment of polymer coatings during the restoration of car body parts // *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2021, no. 5, pp. 38–43.
46. Strategy for the development of the automotive industry of the Russian Federation for the period up to 2025, approved by the order of the Government of the Russian Federation dated April 28, 2018 No. 831-r. Available at: <http://government.ru/docs/32547/> (accessed: September 10, 2021).
47. Kablov E.N. *Trends and guidelines for innovative development in Russia*: collection of articles. inform. materials. 3rd ed., Rev. and add. Moscow: VIAM, 2015, 720 p.
48. Sokolov I.I., Raskutin A.E. Carbon plastics and fibreglasses of new generation. *Trudy VIAM*, 2013, no. 4, paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021).
49. Kurnosov A.O., Melnikov D.A., Sokolov I.I. Structural glass-reinforced plastics purposed for aviation industry. *Trudy VIAM*, 2015, no. 8, paper no. 08. Available at: <http://viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-8-8-8.
50. Gunyaeva A.G., Kurnosov A.O., Gulyaev I.N. High-temperature polymer composite materials developed FSUE «VIAM» for aero-space engineering: past, present and future (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 1 (95), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-43-53.
51. Our history. Available at: https://viam.ru/history_1 (accessed: September 10, 2021).
52. Our vector of tasks and accomplishments is the future. Available at: <https://viam.ru/interview/4343> (accessed: September 10, 2021).
53. Evdokimov A.A., Raskutin A.E., Mishkin S.I., Mikhaldykin E.S. Arched bridges with the use of carbon-fiber arched elements. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, 2019, no. 2, pp. 22–29.
54. Mishkin S.I., Raskutin A.E., Evdokimov A.A., Gulyaev I.N. Technologies and the main stages of construction of the arch bridge first in Russia from composite materials. *Trudy VIAM*, 2017, no. 6 (54), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: September 10, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-5-5.
55. *Automobile opening part and manufacturing method thereof*: pat. CN 103552610A, no. 201310582706.9A; filed 19.11.13; publ. 05.02.14.

Информация об авторах

Валуева Мария Игоревна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Евдокимов Антон Андреевич, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Начаркина Анастасия Витальевна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Губин Антон Михайлович, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Maria I. Valueva, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Anton A. Evdokimov, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Anastasia V. Nacharkina, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Anton M. Gubin, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 30.09.2021; одобрена после рецензирования 01.11.2021; принята к публикации 01.11.2021.

The article was submitted 30.09.2021; approved after reviewing 01.11.2021; accepted for publication 01.11.2021.