

УДК 678

*О.Н. Клименко¹, М.И. Валеева¹, А.Н. Рыбникова¹***ПОЛИМЕРНЫЕ И ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В СПОРТЕ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-81-89

Представлен обзор научно-технической информации – российских и зарубежных периодических изданий, патентов на изобретения – в области применения полимерных материалов в индустрии спорта и спортивной инфраструктуре. Приводятся данные о мировых производителях, применяемых технологиях, а также о российских разработках в этом направлении; показаны примеры практического использования полимерных материалов в спортивной отрасли. Особое внимание уделяется полимерным композиционным материалам, в частности, на основе углеродных волокон.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, полимерные материалы, армирующие наполнители, углепластики, спорт, спортивная инфраструктура, спортивный инвентарь.

*О.Н. Klimenko¹, М.И. Valueva¹, А.Н. Rybnikova¹***POLYMERS AND POLYMER COMPOSITES IN SPORT (review)**

Provides an overview of scientific and technical information – Russian and foreign periodicals, patents for inventions – in the field of the use of polymeric materials in the sports industry and sports infrastructure. Data on world manufacturers, applied technologies, Russian developments in this direction are presented, examples of the practical use of polymeric materials in the sports industry are shown. Special attention is paid to polymer composite materials, in particular, based on carbon fibers.

Keywords: polymeric composite materials, polymeric materials, reinforcing fillers, carbon plastics, sports, sports infrastructure, sports equipment.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Производство спортивного инвентаря требует использования экономически эффективных, высокотехнологичных материалов с повышенными прочностными характеристиками [1–3]. Таковыми являются полимерные композиционные материалы (ПКМ). Практика показывает, что путем подбора состава и свойств компонентов ПКМ (матрицы и наполнителя, их соотношения, ориентации наполнителя) можно обеспечить получение практически любых изделий с заранее заданным сочетанием эксплуатационных и технологических свойств [2].

В настоящее время в спортивной индустрии широко используются новейшие достижения научно-технического прогресса, благодаря которым спортсмен может побеждать не только за счет своих физических и интеллектуальных способностей или возможностей, а благодаря наличию инвентаря, которого нет у соперников [4].

Инновации в области технологий получения и переработки ПКМ успешно применяются для создания изделий спортивной индустрии – теннисных и бадминтонных ракеток, бейсбольных бит, корпусов каноэ, лыж и лыжных палок, рам для велосипедов,

досок для серфинга, клюшек для гольфа и хоккея и др. До появления ПКМ в качестве материалов для изготовления спортивного инвентаря в основном использовали древесину, нержавеющую сталь и алюминиевые сплавы [5, 6].

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»).

Рынок композитов для спортивной отрасли

По данным аналитического центра MarketsandMarkets, в 2015 г. объем рынка спортивного оборудования из композиционных материалов составил 2,73 млрд долл. Рассматривая текущие тенденции, аналитики прогнозировали ежегодный рост данного направления на 5,59% в период с 2016 по 2021 г. [7].

К ключевым факторам роста мирового рынка спортивных товаров относят возрастающее число патентов на спорттовары, изготовленные с применением ПКМ [8–11], развитие обрабатывающей промышленности, а также непрекращающиеся сообщения о новых запусках продуктов, соглашениях и расширении активности компаний.

По мнению экспертов [7], использование композитов в клюшках для гольфа является самым быстроразвивающимся направлением в производстве спортивных товаров из композитов в 2016–2021 гг. Это связано с тем, что использование композиционных материалов в конструкции рукоятки клюшки уменьшает ее массу, что позволяет разработчикам увеличивать массу головки, сохраняя общую массу клюшки небольшой. Более тяжелая головка при небольшой массе клюшки помогает игроку резче замахиваться, за счет чего увеличивается дальность полета мяча.

Некоторые компании уже производят композитные клюшки для гольфа. В частности, в США это Aldila Inc., True temper, Fujikura composites, Callaway Golf. Кроме того, отмечается рост производства клюшек, изготовленных с применением ПКМ, в странах Азии и Дальнего Востока [7].

Финская компания Amer Sports является одним из основных производителей спортивного оборудования из композитов, представленного на мировом рынке.

Ведущими мировыми разработчиками и производителями материалов для изделий спортивного назначения в настоящее время являются следующие компании: Toqay Industries Inc. (Япония), Teijin Limited (Япония), SGL Group (Германия), Hexion Inc. (США), EI du Pont de Nemours and Company (США), Hexcel (США) и др., а наиболее известными производителями композитных спортивных товаров – Aldila Inc. (США), Amer Sports (Финляндия), Jarden Composites (США), Fischer Sports GmbH (Австрия), Torquey Corporation (Тайвань) и Rossingol (Франция) [7].

Применение ПКМ в спортивной индустрии

По мнению экспертов [12, 13], ожидается, что самым быстроразвивающимся и перспективным направлением станет производство оборудования, изготовленного из композитов на основе эпоксидных смол. В части армирующих наполнителей быстрорастущим сегментом индустрии спорта являются товары, изготовленные с применением углеродного волокна (УВ) [14, 15]. На основе углеволоконных композитов в настоящее время производят велосипеды, лыжи, сноуборды, скейтборды и лонгборды, ракетки для тенниса, клюшки для хоккея и гольфа.

Автоконцерн Audi в сотрудничестве с Немецкой ассоциацией лыжного спорта разработал высокотехнологичные лыжи Audi Carbon Ski, которые выполнены в виде деревянного сердечника, заключенного в алюминиевый и титановый слои с покрытием из высокопрочного УВ. Масса лыж составляет 1550 г, что на 200 г меньше массы аналогов [16].

Российская компания «Ментор» под брендом NOWING производит спортивные лодки, каноэ, весла из стекло- и углепластика [4].

В изобретении [17] представлена технология изготовления каркаса теннисной ракетки из углепластика, а в изобретении [18] – рамы велосипеда.

Углеродное волокно в качестве материала для спортивного инвентаря превосходит по многим характеристикам стекловолокно и другие типы волокон. Характеристики разных типов волокон представлены в виде сравнительных гистограмм на рис. 1 [19].

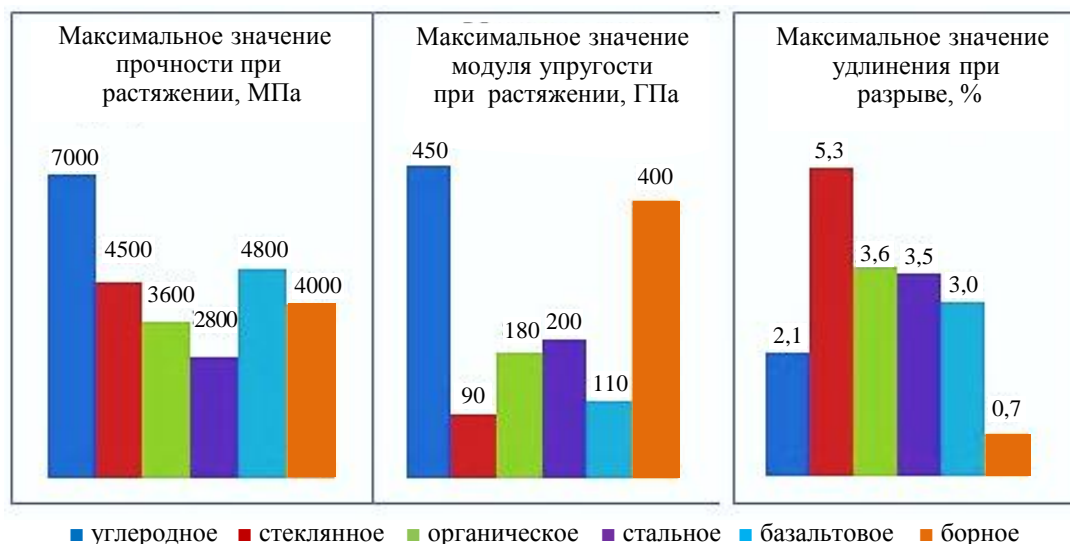


Рис. 1. Сравнительные характеристики разных типов волокон [19]

Преимуществами спортивного инвентаря из ПКМ на основе УВ перед изделиями из традиционных материалов являются: небольшая масса, высокая прочность, низкая способность к деформации, вибрационная стойкость и высокая удельная жесткость [19, 20]. Материалы на основе УВ также применяются при производстве амуниции и защитных средств для спортсменов (наколенников, налокотников и др.) [21].

ПКМ используют при изготовлении саней для бобслея – бобов. Первые сани для бобслея были сделаны в 1904 г. В самом начале развития данного вида спорта сырьем для производства саней служило исключительно дерево; в настоящее время боб состоит из цельнометаллического корпуса, который закрывают обтекателем из углепластика, а затем закрепляют на двух полозьях [22].

Полимерные композиционные материалы нашли широкое применение и при изготовлении спортивных автомобилей и мотоциклов. Первое углекомпозитное шасси для гонок «Формулы-1» изготовлено в 1981 г. Применение углепластика позволяет создать максимально прочный и в то же время легкий гоночный автомобиль. В Великобритании открыт центр углекомпозитов McLaren, на базе которого осуществляется производство легких и прочных корпусов для гоночных и спортивных автомобилей McLaren. Британским производителем изготовлен спортивный суперкар McLaren Senna, масса углекомпозитного кузова которого составляет <1360 кг [23].

В России разработан и изготовлен уникальный обвес с улучшенными аэродинамическими характеристиками из УВ для мотоцикла марки Kawasaki ZX-10RP. Применение принципиально новой аэродинамической схемы в производстве обвеса оказало положительное влияние на скоростные показатели мотоцикла, увеличив скорость на 3–4 км/ч. Кроме того, удалось достичь более эффективного торможения при прохождении поворотов. Мотоцикл с композитным обвесом меньше вибрирует и более стабилен во время гонки [24].

Следует отметить, что применение ПКМ на основе УВ в спортивной индустрии составляет 12% от общемирового потребления углеродных волокон [12]. Таким образом, данное направление по использованию ПКМ занимает третье место после автомобилестроения (18%), ветроэнергетики (18%) и авиакосмической техники (15%) (рис. 2).

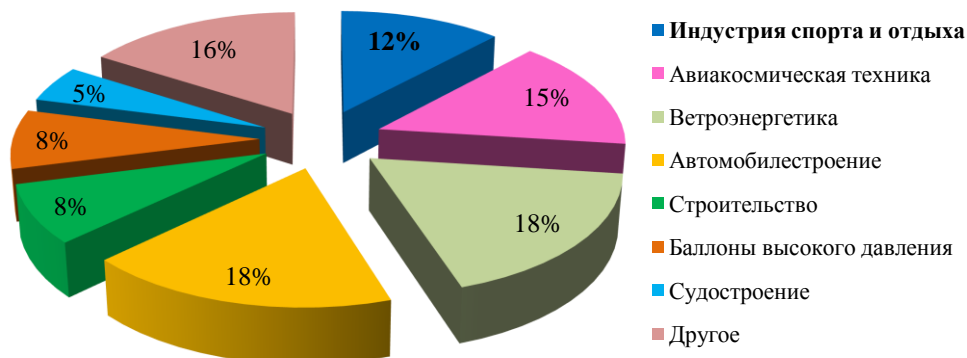


Рис. 2. Мировая структура потребления углеродных материалов [25]

Компании по производству спортивного инвентаря и одежды со всего мира постоянно совершенствуются, применяя современные технологии [20, 21, 25, 26] и являясь в том числе одними из основных потребителей быстроотверждаемых препрегов. При снижении стоимости данных видов препрегов производители изделий из ПКМ отдают предпочтение более энергоэффективным технологиям формования. Так, например, на Международной выставке спортивных товаров и технологий ISPO Munich 2020, которая проходила с 26 по 29 января в Мюнхене (Германия), было представлено связующее быстрого отверждения, которое может быть использовано для производства различных видов спортивного инвентаря – лыж, палок, сноубордов, вейкбордов, клюшек. Связующее отверждается под прессом при температуре 130 °С всего за 15 мин [27].

В феврале 2020 г. в Москве состоялся закрытый предварительный показ российских композитных клюшек «Заряд» [28] третьего поколения сезона 2020–2021 гг., обладающих улучшенными характеристиками относительно массы и прочности, а также ярким дизайном (рис. 3). В коллекции представлены модели, предназначенные для хоккеистов всех уровней подготовки – от профессионалов до любителей, включая флагманские модели семейств АК, С и Т массой всего 390 г при длине клюшки 63 см [29].



Рис. 3. Внешний вид клюшки «Заряд» [29]

В настоящее время выпускается довольно широкий ассортимент связующих и препрегов быстрого отверждения, в основном на эпоксидных (реже – на фенолформальдегидных) смолах с углеродными и стеклянными наполнителями. Создаваемые современные промышленные эпоксидные и фенолформальдегидные связующие обеспечивают относительно невысокую температуру и короткое время отверждения, а также повышенные эксплуатационные характеристики материалов на их основе. Например, компания Hexcel (США) выпускает полуфабрикаты быстрого отверждения, к которым относятся препрег углепластика марки HexPly M52, отверждаемый за 15 мин при температуре 120 °С, а также препрег углепластика марки HexPly EN04, отверждаемый за 2 мин при температуре 138 °С. Кроме того, компания Hexcel выпускает препреги, предназначенные для товаров спортивной индустрии. Такими являются препреги углепластика марок HexPly M78, отверждаемый за 7 мин при температуре 120 °С, и HexPly M77, отверждаемый за 2 мин при температуре 150 °С [30].

Дальнейшее внедрение быстроотверждаемых связующих и полуфабрикатов в спортивную индустрию позволит ускорить технологический процесс, повысить производительность, снизить энергетические затраты и объемы расходных материалов [25]. Производство и применение угле- и стеклопрепегов на основе таких связующих не требует покупки специального дополнительного оборудования, что является еще одним преимуществом.

Во ФГУП «ВИАМ» имеется опыт разработки быстроотверждаемых связующих для препреговой технологии формования ПКМ на основе фенолформальдегидных смол. Например, создано фенолформальдегидное связующее марки ВСФ-16М, которое является модификацией связующего РС-Н. Оптимальный режим отверждения данного связующего – выдержка в течение 20 мин при температуре 140 °С [31]. Кроме того, разработана широкая линейка эпоксидных и других классов связующих и ПКМ на их основе. Материалы ФГУП «ВИАМ», разрабатываемые в интересах авиационно-космической промышленности, удовлетворяющие самым высоким требованиям и обладающие необходимым уровнем эксплуатационных характеристик, также являются перспективными для применения в спортивной отрасли.

Полимерные материалы в спортивных сооружениях

Благодаря таким качествам, как высокая прочность, коррозионная стойкость и низкая удельная масса ПКМ широко применяются и в конструкциях спортивных сооружений [32, 33].

Одним из самых значимых спортивных событий в России стало проведение Чемпионата мира по футболу в 2018 г. Этому предшествовал большой объем работ по проектированию и строительству современных стадионов. Самым популярным полимерным материалом при подготовке стадионов, в частности кровли, стал поликарбонат. Поликарбонат применяется для изготовления легких конструкций с длинными пролетами, которые пропускают свет. Материал технологичен и экологичен в производстве и использовании, при этом под прозрачной крышей лучше растет газон, так как поликарбонат отражает солнечные лучи, предохраняя покрытие от перегрева. Например, на стадионе «Фишт» в г. Сочи поликарбонатом покрыты две боковые трибуны и крыша, а на стадионах «Нижний Новгород» (г. Нижний Новгород) и «Самара Арена» (г. Самара) из поликарбоната выполнены прозрачные козырьки, защищающие зрителей от непогоды. На стадионе «Лужники» (г. Москва), помимо кровли из поликарбоната, сооружен навес, предназначенный для защиты болельщиков от непогоды и яркого солнца. Для защиты от ультрафиолета, вызывающего помутнение материала, крыша из поликарбоната на стадионе «Крестовский» (г. Санкт-Петербург) покрыта тонкой, легкой,

но прочной мембраной из этилфлуорэтилена (ETFE) (рис. 4). Этот материал, разработанный в 1970-х гг. для авиационной и космической промышленности, пропускает свет, удерживает тепло и в то же время защищает от осадков – снег и пыль не задерживаются на поверхности мембраны [34].

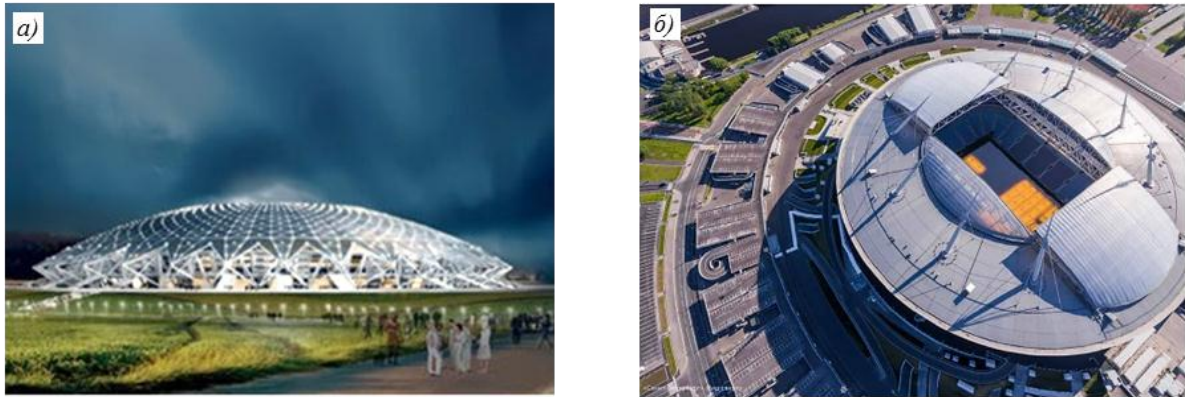


Рис. 4. Стадионы с кровлей, выполненной из поликарбоната [34]:
а – «Самара Арена» (г. Самара); б – стадион «Крестовский» (г. Санкт-Петербург)

На футбольном поле стадиона «Лужники» (г. Москва) также использованы полимерные материалы. За натуральным газоном, соответствующим требованиям Международной федерации футбола, намного сложнее ухаживать, чем за его искусственным аналогом, при этом еще и суровый российский климат создает дополнительные проблемы – из-за перепадов температур и осадков газон «расползается». Для поддержания состояния газона на необходимом уровне на столичной арене использовали прием «прошивки» травы мягкими полиэтиленовыми волокнами (рис. 5) – таким образом газон укрепляется и при этом соответствует требованиям по минимизации травм футболистов.



Рис. 5. Футбольное поле стадиона «Лужники» (г. Москва) [34]

В настоящее время для покрытия трибун используют полиуретановые составы. Например, на стадионе «Самара Арена» (г. Самара) применили дополнительное многослойное защитное покрытие для трибун, состоящее из грунта, кварцевого песка, клея и полиуретана. Результатом использования такого покрытия является образование прочного невидимого барьера, защищающего поле от ультрафиолетовых излучений, осадков

и механических повреждений. Подобные покрытия характеризуются высокими механической прочностью и износостойкостью, что делает их более долговечными по сравнению с бетонными полами или плиткой.

Еще одной конструкцией на стадионе, выполненной из пластика, являются кресла, основное требование к которым – прочность, так как на них воздействуют как время и непогода, так и активные болельщики. Вторым обязательным критерием – удобство для болельщиков. Установленные на стадионе «Нижний Новгород» (г. Нижний Новгород) кресла сделаны из полипропилена повышенной прочности и прикреплены к ступеням трибун с использованием полиамидных консолей, или ног-опор. Полиамид не подвергается коррозии и не теряет своих свойств под воздействием осадков. По мнению разработчиков, кресла со временем не потеряют своей эргономичной формы и рассчитаны на длительную эксплуатацию [35].

Заключения

Полимерные композиционные материалы нашли массовое применение в спортивной инфраструктуре благодаря широкому спектру свойств – относительно низкой удельной массе; повышенным физико-механическим характеристикам, оптимальным для спортивного инвентаря; высокому сопротивлению трению и истиранию, а также долговечности. Лидерами на мировом рынке спортивного инвентаря являются крупные компании из Японии, Германии, США, Финляндии, которые владеют филиалами во многих странах мира.

В настоящее время в России имеется опыт производства спортивного оборудования из ПКМ. Развитие производства отечественного спортивного инвентаря, обладающего передовыми характеристиками, позволит заполнить нишу на российском и международных рынках и станет важным фактором роста потенциала российских спортсменов как на профессиональном, так и на любительском уровне.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработка на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // *Металлы Евразии*. 2015. №1. С. 36–39.
3. 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.
4. Все на матч // *Нефтехимия*. 2017. №1. С. 28–33. URL: <http://neftehimia-journal.ru/infrastructure/vse-na-match> (дата обращения: 25.06.2020).
5. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
6. Zhang L. The application of composite fiber materials in sports equipment // *5th International Conference on Education, Management, Information and Medicine (EMIM 2015)*. 2015. April. P. 450–453. URL: <https://www.atlantis-pess.com/proceedings/emim-15/21459> (дата обращения: 20.06.2020).
7. Спортивный рынок композитов к 2021 году составит почти \$4 млрд // *Basalt. Today*. URL: <http://basalt.today/2016/06/5270> (дата обращения: 25.06.2020).
8. Спортивный шест для прыжков в высоту и полимерный композиционный материал для его изготовления: пат. 2050879 Рос. Федерация. №92012699/12; заявл. 17.12.92; опубл. 27.12.95.

9. Hockey stick shaft: пат. US5419553A №07/954,156; filed 30.09.92; publ. 30.05.95.
10. Хоккейная клюшка из одной полой исходной трубки: пат. 2401688 Рос. Федерация. №2006135849/05; заявл. 10.10.06; опубл. 20.10.10; Бюл. №29.
11. Усовершенствованная конструкция спортивной клюшки: пат. 2472559 Рос. Федерация. №2010108680/12; заявл. 21.08.08; опубл. 20.01.13; Бюл. №2.
12. Тюнина А.В. Композитные материалы: производство, применение, тенденции рынка // Полимерные материалы. 2018. №2. С. 27–29.
13. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. №3. С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
14. Paton W. Carbon fibre in sports equipment // Composites. 1970. Vol. 1. No. 4. P. 221–226.
15. Tang D. The application of carbon fiber materials in sports equipment // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 443. P. 613–666. URL: <https://www.scientific.net/AMM.443.613> (дата обращения: 20.06.2020).
16. Audi Carbon Ski: легкая конструкция для зимних видов спорта. URL: <https://www.drive.ru/blogs/audi/4efb339100f11713001e5d01.html> (дата обращения: 25.06.2020).
17. Способ изготовления каркаса теннисной ракетки: пат. SU1801525A1 №4862846/12; заявл. 27.06.90; опубл. 15.03.93; Бюл. №10.
18. Рама велосипеда: пат. 2452649 Рос. Федерация. №2011105881/11; заявл. 17.02.11; опубл. 10.06.11; Бюл. №16.
19. Спорт: новые рекорды и спортивные победы. URL: <https://umatex.com/applications/sport> (дата обращения: 25.06.2020).
20. Кияненко Е.А., Зенитова Л.А., Кузьмин М.Г. Инновационные технологии в производстве сотовых панелей // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. №19. С. 60–63.
21. Калашников А.А. Технологии вакуумного формования и прессования листовых термопластичных композитов с последующей механической обработкой от фирмы GEISS AG // Материалы конференции «Полимерные композиционные материалы нового поколения для гражданских отраслей промышленности» (Москва, 11 сентября 2015 г.). М.: ВИАМ, 2015. URL: <https://conf.viam.ru/conf/165/proceedings> (дата обращения: 25.06.2020).
22. Как устроен бобслей // Популярная механика. 2014. №2. URL: <https://www.popmech.ru/adrenalin/15339-gonki-na-bobakh> (дата обращения: 25.06.2020).
23. Центр углекомполитов McLaren // Композитный мир. 2018. №1. С. 11.
24. Композиты на первом месте // Композитный мир. 2019. №5. С. 58–59.
25. Мишкин С.И., Малаховский С.С. Быстроотверждаемые связующие и препреги: получение, свойства и области применения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2019. №5 (77). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.06.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-32-40.
26. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е., Донецкий К.И. Применение плетеных преформ для полимерных композиционных материалов в гражданских отраслях промышленности // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2015. №1. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.06.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-1-5-5.
27. ISPO MUNICH 2020. URL: <https://www.ispo.com/en/munich> (дата обращения: 25.06.2020).
28. Способ изготовления клюшки из полимерных композиционных материалов: пат. 2635137 Рос. Федерация. №2016111517; заявл. 28.03.16; опубл. 03.10.17; Бюл. №31.
29. Российское производство хоккейных клюшек // Заряд: офиц. сайт. URL: <https://заряд.рф> (дата обращения: 25.06.2020).
30. Композитные материалы и структуры // Hexcel: офиц. сайт. URL: <https://www.hexcel.com/Products/Prepregs-and-Resins/HexPly-Prepregs> (дата обращения: 25.06.2020).

31. 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.
32. Соколов И.И., Лукина А.И., Тундайкин К.О., Коваленко А.В. Оценка свойств и структуры SMC-материалов // Пластические массы. 2019. №1–2. С. 52–56.
33. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
34. Зарубин А., Чистяков Г. ЧМ-2018: особенности проведения государственной экспертизы футбольных стадионов // Вестник государственной экспертизы. 2018. №2. С. 18–34. URL: <https://www.gge.ru/upload/iblock/002/vestnik-02-2018.pdf> (дата обращения: 25.06.2020).
35. Арены Казани, Калининграда и Ростова-на-Дону: изменение архитектурных образов в ходе эволюции проектов. URL: <http://sportengineering.ru/article/futbolnye-stadiony-izmenenie-arhitekturnyh-obrazov-v-hode-evoljutsii-proektov> (дата обращения: 25.06.2020).