

УДК 339.13.017:678.8

М.С. Дориомедов¹**РОССИЙСКИЙ И МИРОВОЙ РЫНОК
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37

Статья посвящена рассмотрению рынка полимерных композиционных материалов (ПКМ) в России и мире. Приведены данные: об ориентировочном объеме рынка композитов в стоимостном и натуральном выражении в мире и России на основании расчетов автора и анализа литературных источников; об объемах применения ПКМ в различных отраслях промышленности. Рассмотрено состояние производства армирующих компонентов для изготовления полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: полимерные композиты, объем мирового рынка композитов, объем российского рынка композитов, потребление, состояние российского рынка, стекловолокно, углеродное волокно, арамидное волокно.

M.S. Doriomedov¹**RUSSIAN AND WORLD MARKET
OF POLYMER COMPOSITES (review)**

The article is devoted to the market of polymer composite materials in Russia and the world. The data on the estimated volume of the composites market in value and physical terms in the world and Russia are given based on the calculations of the authors and the analysis of literary sources. The data on the volumes of application of composite materials in various industries are presented. The state of production of reinforcing components for the production of polymer composite materials is considered.

Keywords: polymer composites, global composites market volume, volume of the Russian composites market, consuming the state of the Russian market, glass fiber, carbon fiber, aramid fiber.

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

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) обладают уникальными свойствами, благодаря чему используются во многих отраслях промышленности [1, 2]. Дальнейшее совершенствование и расширение сфер их применения являются важными задачами с точки зрения научно-технического развития страны и современных технологий. В последние семь лет происходило интенсивное становление композитной отрасли России в рамках реализации подпрограммы 14. «Развитие производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них» Государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», в рамках которой в 2020 г. будет завершено 31 проект. Главная цель подпрограммы – стимулирование развития отрасли конструкционных и композиционных материалов нового поколения.

С момента реализации подпрограммы наметилась тенденция к увеличению объемов производства и применения полимерных композиционных материалов, в том числе за счет разработки и утверждения национальных стандартов в данной области.

Рост производства ПКМ, их широкое применение в различных отраслях промышленности России, большое количество работ, выполненных по линии различных министерств и ведомств, делают необходимым проведение оценки объема российского рынка полимерных композиционных материалов.

Цель данной статьи – анализ текущего состояния рынка ПКМ России с учетом всплеска 2013 г., когда началась реализация подпрограммы 14.

Мировой рынок полимерных композиционных материалов

По мнению большинства консалтинговых компаний, наблюдается непрерывный рост мирового рынка ПКМ. Его объем, по разным оценкам, составил в 2019 г. ~ (90,6–93,6) млрд долл. (рис. 1) и ~12,0 млн т в натуральном выражении. Совокупный среднегодовой темп роста прогнозируется в диапазоне от 4 до 7,7%, что до 2024 г. должно обеспечить объем рынка на уровне 103–131,6 млрд долл. и ~(13–14) млн т [3–8]. Прогнозируется, что в 2020 г. объем мирового рынка ПКМ снизится на 1,5–2,0% как в денежном, так и натуральном выражении.

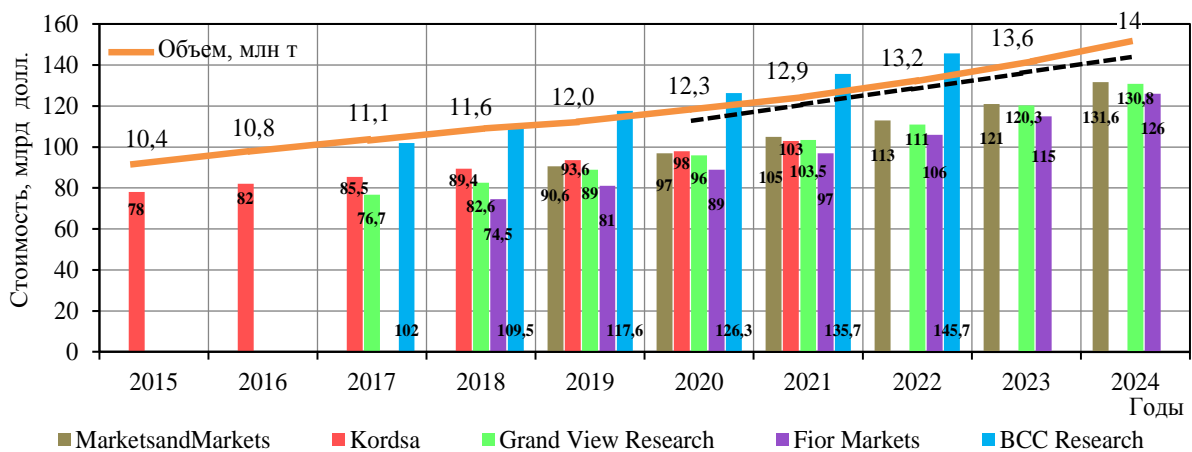


Рис. 1. Оценка мирового рынка полимерных композиционных материалов

На Азиатский регион приходится наибольшая доля рынка в индустрии полимерных композиционных материалов благодаря растущей экономике Китая и Индии. Транспортная, строительная, ветроэнергетическая отрасли, а также производство труб и резервуаров интенсивно развиваются в странах региона, тем самым стимулируя спрос на ПКМ.

В 2019 г. на азиатский рынок приходилось 48% от мирового рынка в натуральном выражении и 43% – в стоимостном, при этом только на китайский рынок 28% от мирового рынка в натуральном выражении, или 3,4 млн т (табл. 1).

Таблица 1

Структура рынка ПКМ по странам в 2019 г.

Натуральное и стоимостное выражение	Северная Америка	Европа	Китай	Азия (без Китая)	Африка и Ближний Восток	Южная Америка	Сумма
млн т/%	3,1/26	2,4/20	3,4/28	2,4/20	0,4/4	0,3/2	12,0/100
млрд долл./%	27,9/30	19,5/21	23,3/25	16,7/18	3,7/4	1,9/2	~(90–93)/100

Рынок Северной Америки с объемом 3,1 млн т занимает 26% от мирового рынка в натуральном выражении и 30% – в стоимостном. На рынок Южной Америки приходится 2% от мирового рынка, или 0,3 млн т [4].

На европейский рынок приходится около 20% от мирового рынка, как с точки зрения объема, так и стоимости. Рынок Африки и Ближнего Востока с 0,4 млн т занимает 4% от мирового рынка, как по объему, так и по стоимости.

Структура рынка полимерных композиционных материалов с дифференциацией по странам на 2019 г. и прогноз изменений до 2024 г. представлены на рис. 2.

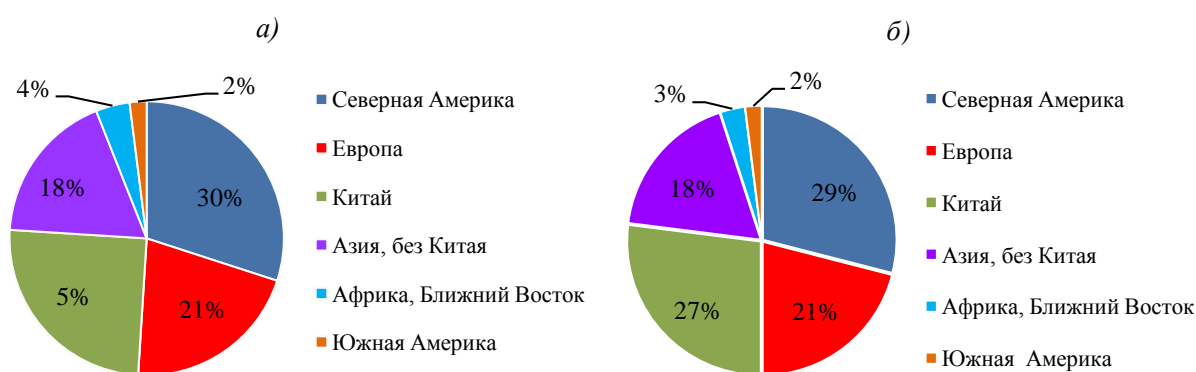


Рис. 2. Структура рынка ПКМ по странам в 2019 г. (а) и прогноз на 2024 г. (б) в стоимостном выражении

Полимерные композиционные материалы все чаще применяются в транспортном машиностроении (28%), строительстве (19%), электронике (16%), производстве труб и резервуаров (15%) – цифры могут варьироваться в зависимости от региона и меняться со временем.

Среди полимерных матриц с экологической точки зрения термопласты являются желательными для использования в ПКМ, однако высокая вязкость расплава и стоимость сырья являются основными ограничениями их массового применения. Термопласты требуют дорогостоящих технологий обработки, при которой используются высокие температуры (200–400 °С) и давление для реализации процесса инфильтрации и оптимального уплотнения. Реактопласты обладают низкой вязкостью, что делает их идеальными для недорогой обработки, удобной пропитки армирующих волокон, поэтому они являются наиболее распространенными. Потребление ПКМ по типу полимерной матрицы в мире оценивается следующим образом: 67% – реактопласты; 33% – термопласты (табл. 2, рис. 3). Структура рынка получена путем усреднения значений, приведенных в источниках [4, 9], – данные значения могут варьироваться в различных источниках в пределах $\pm 3\%$ и меняться со временем.

Таблица 2

Структура рынка ПКМ в зависимости от типа матрицы и армирующего компонента

Матрица, %		Армирующее волокно, %			
термо-реактивная	термо-пластичная	стекло-волокно	угле-волокно	aramидное волокно	остальные
67	33	87	11	1	1

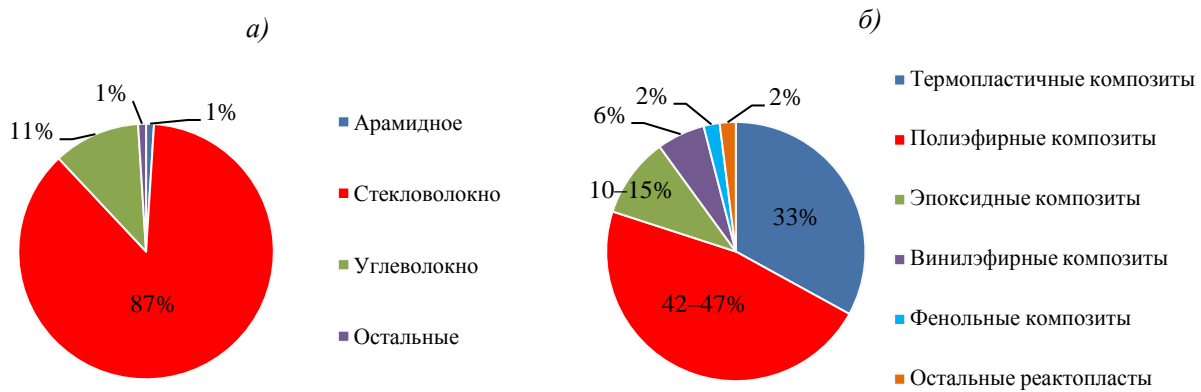


Рис. 3. Структура рынка ПКМ по типу армирующего компонента (а) и типу полимерной матрицы (б) [10]

В табл. 3 представлено распределение рынка терморезактивных и термопластичных композиционных материалов в натуральном выражении в зависимости от регионов. На Азиатско-Тихоокеанский регион приходится основная доля рынка как терморезактивных, так и термопластичных композитов в натуральном и стоимостном выражении.

Таблица 3

Структура рынка ПКМ в зависимости от типа полимерных матриц по ключевым регионам в 2019 г.

Структура рынка	Северная Америка	Европа	Азиатско-Тихоокеанский регион	Ближний Восток и Африка	Южная Америка	Итого
ПКМ, млн т/%	~3,1/26	~2,4/20	~5,8/48	~0,4/4	~0,3/2	~12,0/100
Термопласты, млн т/%	0,93/30,3	0,72/30,3	1,90/32,8	0,01/2,9	0,01/3,8	3,57/100
Реактопласты, млн т/%	2,17/26	1,68/20	3,90/46	0,39/5	0,29/3	8,43/100

Терморезактивные полимерные материалы имеют низкую стоимость и обладают высокими эксплуатационными свойствами. Среди них наиболее часто применяются полиэфирные смолы и гибриды (например, винилэфирные смолы), на долю которых приходится 67% от мирового производства терморезактивных смол, 22% приходится на эпоксидные смолы, а остальные 11% – на другие типы смол (фенольные, полиимидные, цианатные, полиуретановые, кремнийорганические). По данным источника [11], общемировое производство терморезактивных смол в 2017 г. составило ~8,26 млн т. Стекловолокно дешевле, чем углеродное и арамидное волокно, а также обладает хорошими физико-механическими свойствами. Композиционные материалы на их основе используются при изготовлении труб, резервуаров, лодок, в строительстве, самолетостроении, ветроэнергетике, электрике и электронике, судостроении.

Российский рынок полимерных композиционных материалов

В России более 100 предприятий занимаются производством полимерных композиционных материалов, 61 из которых – средние и крупные предприятия, где, по различным оценкам, работают более 30 тыс. человек. Производство ПКМ увеличивается, но не такими высокими темпами, как в США, Европе или Азии. Так, потребление композиционных материалов на душу населения колеблется в мире между 4 и 10 кг (табл. 4), в России данный показатель на 2019 г. составил ~0,5 кг (в 2013 г. 0,3 кг).

Таблица 4

Потребление композитов на душу населения по странам [4]

Потребление на душу населения	США	Япония	Германия	Австрия	Франция	Англия	Испания, Португалия	Участники Бенилюкс	Скандинавские страны	Италия	Греция	Турция
кг	7,1	5,8	9,1	4,0	3,9	2,3	3,1	10,6	4,4	4,7	3,2	3,4

В 2019 г. объем российского рынка ПКМ достиг показателя в 57,9 млрд руб. в стоимостном выражении и >70 тыс. т в натуральном выражении, что практически в 2,5 раза больше, чем в 2013 г.

Композиты активно применяются в автомобильной и сельскохозяйственной технике, железнодорожном машиностроении, строительном секторе и т. п. Так, на транспортное машиностроение приходится ~15 тыс. т композитов, главным образом при производстве автомобилей «КамАЗ», LADA, модернизированной техники «Кировец» серии К-744Р, «Урал Next» [12], а также подвижных локомотивов (электропоездов, тепловозов), вагонов метро серии 81-765/766/767 «Москва» (дальнейшее развитие – вагоны серии 81-760/761/763 «Ока») [13]. Кроме того, в инфраструктуре железнодорожного транспорта растет потребление композитных водоотводных лотков, шпал, изолирующих накладок (суммарно ~4 тыс. т). В строительном секторе увеличивается производство композитной арматуры (13,7 тыс. т в 2018 г., что на 2,4 тыс. т больше, чем в 2016 г. [14]), светопрозрачных конструкций (за счет ввода в эксплуатацию новых квартир), стеклопластиковых труб (по данным АСГ [15], в 2016 г. в России было произведено 24 тыс. т труб из стеклопластика).

В оборонной промышленности основной объем потребления ПКМ приходится на военное судостроение – главным образом при изготовлении минных тральщиков проекта 12700, корветов проекта 20380 [16], а также стеклопластиковой тары для боеприпасов (~1600 т в 2019 г.). Высок объем их потребления при производстве изделий для военной авиационной техники (>150 т), стрелкового вооружения и т. п.

Распределение потребления полимерных композиционных материалов по отраслям в мире и России приведено в табл. 5.

Таблица 5

Распределение потребления полимерных композиционных материалов по отраслям промышленности [2, 4]

Отрасль промышленности	Потребление ПКМ, %		
	в мире	в Европе	в России
Транспортное машиностроение	28	30	20
Строительство	19	20	30
Электроника	16	14	Н/д*
Трубы и резервуары	15	13,5	42
Потребительские товары	8	3	Н/д
Ветроэнергетика	7	12	Н/д
Судостроение	3	5	2,5
Оборона и авиация	0,5	0,5	3,5
Прочее	3,5	2	Н/д

* Н/д – нет данных.

Видно, что основным сегментом мирового рынка с точки зрения объемов потребления ПКМ является транспортное машиностроение (28–30%), в то время как в России аналогичный сегмент занимает ~20%. Это может быть связано с недостаточно

высоким производством соответствующей отрасли в России. В то же время большой объем потребления композиционных материалов в строительстве (~30%), в сравнении с мировым объемом потребления в данном секторе (19–20%), связан с реализацией программы повышения энергетической эффективности, а также правительственными планами по увеличению объемов жилищного строительства не менее чем до 120 млн м². Еще одно отличие российского рынка от мирового заключается в доле ПКМ, используемых при изготовлении электроники, элементов ветрогенераторов: 12–14% – в мире; <0,5% – в России.

Обзор цен за 1 кг полимерного композиционного материала в 2019 г. показывает, что ПКМ для оборонной промышленности имеют самую высокую добавленную стоимость (>100 долл./кг). Стоимость полимерных композиционных материалов для строительства (профили, арматура, трубы) и потребительских товаров находится в диапазоне от 3 до 10 долл./кг.

Статистика потребления ПКМ в России в целом соответствует мировым тенденциям. Основной объем приходится на полимерные композиционные материалы, армированные стекловолокном (>80%), далее следуют угле- и арамидное волокно.

Стекловолокно

В России общий суммарный объем производства стекловолокна в натуральном выражении составляет >200 тыс. т. В 2019 г. основной объем выпускаемой продукции приходится на производство ленты, ровницы, пряжи из стекловолокна (135,7 тыс. т, что на 6,2 тыс. т больше, чем в 2018 г.). Товарная номенклатура производства стекловолокна и изделий из него в России представлена в табл. 6, экспорт и импорт стекловолокна по группам продукции – в табл. 7.

Таблица 6

**Объемы производства стеклянных наполнителей в России
(по данным Росстата)**

Номенклатура	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Ткани из стекловолокна (включая узкие ткани), т	19568	25377	35482
Ленты, ровинг (ровница) и пряжа из стекловолокна, стекловолокно рубленое, т	127751	129495	135738
Сетки, холсты, маты, матрасы, плиты и прочие изделия из стекловолокна, кроме стеклотканей, тыс. м ³	73952	82135	82036

Таблица 7

**Экспорт и импорт стекловолокна по группам продукции
(по данным Федеральной таможенной службы России)**

Номенклатура	Экспорт			Импорт		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Ткани из стекловолокна, т	6743	9238	9936	21545	25759	26720
Ленты, ровинг (ровница) и пряжа из стекловолокна, стекловолокно рубленое, т	10917	10946	10092	31202	39136	42021
Сетки, холсты, маты, матрасы, тонкие ткани (вуали), плиты и прочие изделия из стекловолокна, кроме стеклотканей, т	92383	95469	88477	7513	12890	14237

Общие объемы производства стекловолокна в России не позволяют говорить об экспортном потенциале данных наполнителей и их конкурентоспособности на мировом рынке, однако для удовлетворения нужд внутреннего рынка объемов производства достаточно. Основными производителями являются: АО «ОС Стекловолокно» (34% рынка (от выручки)), АО «НПО «Стеклопластик» (22%), АО «Стеклонит» (18%), ООО «П-Д Татнефть – Алабуга Стекловолокно» (14%), ПАО «Астраханское стекловолокно» (5%),

ООО «Ступинский завод стеклопластиков» (5%), ПАО «Новгородский завод стекловолокна» (2%), ООО «Махачкалинский завод стекловолокна» (1%), ОАО «Завод стекловолокна» (0,2%).

Углеволокно

По данным экспертов [17, 18], потребление углеволокна в России составляет 1–1,6% от мирового спроса, который, согласно [19], на 2018 г. составлял 78,5 тыс. т, а мощности производства – 149 тыс. т. Основными потребителями углеродных наполнителей в России являются атомная, космическая и авиационная промышленность, а основными производителями выступают ООО «Алабуга-Волокно», ООО «Аргон», ООО «ЗУКМ». Наиболее полная информация о рынке российских углеродных наполнителей приведена в работе [17].

Арамидное волокно

В России объем производства арамидного волокна не превышает 500 т. Арамидные волокна выпускают под торговыми марками: СВМ, Руслан, Армос, Артек, Русар-С, Русар-НТ, и используют для изготовления средств индивидуальной бронезащиты, кабельных изделий, огнезащитной одежды, а также в качестве армирующих наполнителей высокопрочных органопластиков. Органопластики широко применяются в конструкциях самолетов и вертолетов и являются самыми легкими полимерными композиционными материалами. Производителями выступают АО «Каменскволокно» (94% рынка), АО НПП «Термотекс» (4%), ООО «Лирсот» (2%). Производимое волокно по своему составу и принятой технологии обеспечивает более высокие свойства волокон, чем у зарубежных аналогов [20]. В табл. 8 представлен экспорт и импорт арамидного волокна по группам продукции.

Таблица 8

Экспорт и импорт арамидного волокна по группам продукции (по данным Федеральной таможенной службы России)

Номенклатура	Экспорт			Импорт		
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Ткани из арамидов, т	4,1	23,1	54,2	34,1	168,6	69,9
Волокна, т	2,3	0,1	11	152	212	169
Жгуты, т	0,015	0,013	0	0,8	0,25	0

Лидерами в экспорте тканей из арамидов в Россию в 2019 г. являются Беларусь (41%), Чехия (35%), Китай (11%), США (5%), Германия (3%). Основные импортеры тканей из России – Казахстан (65%), Нидерланды (25%), Беларусь (8%), Украина (2%).

В 2019 г. в Россию импортировано 169 т арамидных волокон (могут быть включены метаарамидные волокна, которые в России не производятся). Основными импортерами являлись Корея (51%), Китай (32%), Таиланд (11%), США (3%).

Разработки ФГУП «ВИАМ» в области производства ПКМ

Первый композиционный материал, имевший название «дельта-древесина», был получен в ВИАМ в 1939 г. и в годы войны являлся основным конструкционным материалом планеров и воздушных винтов самолетов [2]. В настоящее время ФГУП «ВИАМ» – ведущее предприятие по разработке и производству ПКМ для авиации, энергетики и строительства.

Так, для авиационного двигателя ПД-14 в институте разработаны материалы марок ВКУ-25/SYT49S, ВКУ-39/ВТкУ-2.200, ВКУ-29/ВТкУ-3, ВПС-48/7781, применяемые в узлах мотогондолы двигателя. Для конструктивных элементов крыла самолета МС-21 в ВИАМ разработана линейка препрегов с пониженной температурой отверждения: ВПС-53/120, ВКУ-45/УМТ-3К.РТН, ВКУ-45/УМТ-12К.ОЖН [21, 22]. На основе

арамидных волокон СВМ, Руслан разработаны конструкционные органопластики (Органит 7Т, Органит 11ТЛ, Органит 12Т(М)-Рус, ВКО-19 и др.), которые используются для изготовления конструктивных элементов самолетов и вертолетов. Для перегородки кабины экипажа самолета Sukhoi Superjet и других защитных элементов конструкций разработаны ударо-, баллистически стойкие органопластики ВКО-2ТБ, ВКО-20, обеспечивающие защиту от пуль легкого ручного оружия, осколков взрывных устройств и механизмов при возникновении нештатной ситуации [23, 24].

Для строительной отрасли разработаны материалы марок ВКУ-51 (углепластик) и ВПС-58 (стеклопластик), которые прошли общую квалификацию, включающую ускоренные и натурные климатические испытания. Материалы применяются для изготовления изогнутых полых конструктивных элементов, которые могут быть использованы при строительстве арочных мостов. Пример применения материалов в качестве несущей конструкции – арочный автомобильный мост с двумя пешеходными переходами длиной 20 м, шириной 12 м и максимальной нагрузкой 100 т, построенный в р.п. Языково (Карсунский район, Ульяновская область) [25, 26]. Разработаны также стеклопластик ВПС-60Р и технология изготовления на его основе шпунтов двух типов (цилиндрический, шпунт Ларсена).

Для энергетической отрасли разработаны материалы, применяемые при силовой сборке на импульсных фототиристорах, – ВПС-61/Т-25, ВПС-61, ВКУ-49. Использование данных композиционных материалов обеспечивает снижение массы изделия на 35%.

Заключения

Анализ российского и мирового рынка полимерных композиционных материалов указывает на произошедшее за последние годы существенное увеличение объемов производства и потребления ПКМ как в Российской Федерации, так и в мире. В частности, данные по российскому рынку ПКМ свидетельствуют о серьезном росте потребления материалов в строительном секторе и транспортном машиностроении.

Основным сегментом мирового рынка с точки зрения объема потребления ПКМ является транспортное машиностроение (28–30%), в то время как в РФ аналогичный сегмент занимает около 20%. Это может быть связано с недостаточно высоким производством соответствующей отрасли. В то же время высокая доля строительной отрасли в российском рынке ПКМ (около 30% по объему потребления), в сравнении с долей строительства в мировом рынке (19–20%), связана с реализацией программы повышения энергетической эффективности, а также с правительственными планами по увеличению объемов жилищного строительства не менее чем до 120 млн м².

Библиографический список

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. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
3. Composites Market by Fiber Type (Glass Fiber Composites, Carbon Fiber Composites, Natural Fiber Composites), Resin Type (Thermoset Composites, Thermoplastic Composites), Manufacturing Process, End-use Industry and Region – Global Forecast to 2024. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/composite-market-200051282.html> (дата обращения: 10.02.2020).
4. Hacıoğlu I.H. A Review of the Global Composites Market and Turkish Composites Market. URL: <https://www.reinforcer.com/en/category/detail/A-Review-of-the-Global-Composites-Market-and-Turkish-Composites-Market/61/350/0> (дата обращения: 10.02.2020).
5. Composites Market Size Worth \$130.83 Billion By 2024 | CAGR 7.8%. URL: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-composites-market> (дата обращения: 10.02.2020).
6. Композиты 21 века: возможности и реальность // Neftegaz.ru. 2019. №2 (86). С. 30–33.

7. Global Composites Market is Expected to Reach USD 181.49 Billion by 2026: Fior Markets. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/01/17/1971822/0/en/Global-Composites-Market-is-Expected-to-Rreach-USD-181-49-Billion-by-2026-Fior-Markets.html> (дата обращения: 01.03.2020).
8. The Global Market for Composites: Resins, Fillers, Reinforcements, Natural Fibers and Nanocomposites Through 2022. URL: <http://www.bccresearch.com> (дата обращения: 10.02.2020).
9. Biron M. Thermoplastic Composites // Thermoplastics and Thermoplastic Composites (Third Edition). William Andrew, 2018. P. 821–882. DOI: 10.1016/B978-0-08-102501-7.00006-0.
10. Composites Market Report: Trends, Forecast and Competitive Analysis. 2020. URL: <https://www.lucintel.com/composites-market.aspx> (дата обращения: 22.04.2020).
11. Посмолим по-своему?: пост-релиз конференции «Полиэфирные и эпоксидные смолы – 2018» // Композитный мир. 2018. №5 (80). С. 24–27.
12. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2017. №6 (54). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.03.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-6-7-7.
13. Дориомедов М.С., Дасковский М.И., Скрипачев С.Ю., Шеин Е.А. Полимерные композиционные материалы в железнодорожном транспорте России (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №7 (43). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.03.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-7-12-12.
14. Российский рынок композитной арматуры. Итоги 2018 // Композитный мир. 2019. №3 (84). С. 28–29.
15. Рынок труб из стеклопластика в России. Текущая ситуация и прогноз 2020–2024 гг. URL: <https://alto-group.ru/otchet/marketing/861-rynok-trub-iz-stekloplastika-tekuschaya-situaciya-i-prognoz-2017-2021-gg.html> (дата обращения: 19.03.2020).
16. Мишкин С.И., Дориомедов М.С., Кучеровский А.И. Полимерные композиционные материалы в судостроении // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-техн. журн. 2017. №1 (25). Ст. 08. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 01.03.2020).
17. Валуева М.И., Сидорина А.И., Гуляев И.Н. Рынок российских углеродных наполнителей сегодня (обзор) // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-техн. журн. 2016. №4 (22). Ст. 07. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 01.03.2020).
18. Сидорина А.И., Гуняева А.Г. Рынок углеродных волокон и композитов на их основе (обзор) // Химические волокна. 2016. №4. С. 48–53.
19. Лысенко А.А., Гладунова О.И. Мировое производство углеродных волокон // Композитный мир. 2019. №6 (87). С. 28–31.
20. Дориомедов М.С., Железина Г.Ф. Российский рынок арамидного наполнителя // Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-техн. журн. 2017. № 3–4 (27). Ст. 09. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 01.03.2020).
21. Тимошков П.Н. Современные полимерные композиционные материалы для применения в авиационной технике // Материалы III Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». М.: ВИАМ, 2018. С. 40–56.
22. Каблов Е.Н. ВИАМ: материалы нового поколения для ПД-14 // Крылья Родины. 2019. №7–8. С. 54–58.
23. Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Макрушин К.В., Рысин Л.С. Полимерные композиционные материалы для изготовления пылезащитного устройства перспективного вертолетного двигателя // Авиационные материалы и технологии. 2018. №1 (50). С. 58–63. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-58-63.
24. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Соловьева Н.А., Кулагина Г.С. Арамидные органотекстолиты для ударостойких авиационных конструкций // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92. Вып. 3. С. 358–364.
25. Евдокимов А.А., Мишкин С.И., Дышенко В.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов для изготовления элементов конструкции быстровозводимых мостовых сооружений // Материалы III Всерос. науч.-техн. конф. «Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения». М.: ВИАМ, 2018. С. 101–112.
26. Способ изготовления полого конструктивного элемента из композиционного материала: пат. 2633719 Рос. Федерация. № 2016140184; заявл. 12.10.16; опубл. 17.10.17.