

УДК 677.024.5

А.И. Сидорина<sup>1</sup>, А.М. Сафронов<sup>1</sup>

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ С ВЫСОКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-72-80

*Рассмотрены особенности разработки технологий изготовления углеродных тканей с высокой поверхностной плотностью, применяющихся в качестве армирующих наполнителей при производстве конструкционных полимерных композиционных материалов и для изготовления композиционной оснастки. Показаны проведение технического расчета углеродных тканей и построение заправочного рисунка в зависимости от технических требований, предъявляемых к разрабатываемым углеродным тканям. Представлены результаты определения свойств углеродных тканей, полученных по установленным заправочным параметрам и технологическим режимам изготовления.*

**Ключевые слова:** углеродные ткани, углеродные волокна, армирующие наполнители, полимерный композиционный материал, препрег, углепластик, композиционная оснастка, формообразующая оснастка.

A.I. Sidorina<sup>1</sup>, A.M. Safronov<sup>1</sup>

## DEVELOPMENT OF CARBON FABRICS WITH HIGH SURFACE DENSITY MANUFACTURING TECHNOLOGIES

*The article describes features of development of carbon fabrics with high surface density manufacturing technologies for applying as reinforcing fillers at manufacturing of constructional polymeric composite materials and for manufacturing of composite equipment. The technical calculation of carbon fabrics and the construction of a filling pattern depending on the requirements for the developed carbon fabrics are shown. Results of determination of properties of the carbon fabrics received on established filling parameters and technological modes of manufacturing are presented.*

**Keywords:** carbon fabrics, carbon fibers, reinforcing fillers, polymeric composite material, prepreg, carbon plastic, composite equipment, forming equipment.

---

<sup>1</sup>Федеральное 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) являются наиболее перспективными из разрабатываемых конструкционных материалов в результате интенсивного развития технологий их получения и расширения сфер применения [1]. Среди ПКМ все большее развитие и распространение получают углепластики – композиционные материалы, в которых в качестве матрицы используется полимерное связующее, а в качестве армирующего наполнителя – углеродные материалы [2].

Повышение уровня развития научно-технического прогресса, рост требований к свойствам материалов, применяемых в таких высокотехнологичных отраслях промышленности, как производство ракетно-космической и авиационной техники, атомная

энергетика, автомобиле- и судостроение, строительство и т. д., ужесточение экологических стандартов и экономических требований к производству изделий продолжают стимулировать увеличение объема потребления углепластиков [3].

ПКМ конструкционного назначения на основе углеродных волокнистых материалов отличаются высокими значениями прочности и модуля упругости, жесткостью и низкой плотностью благодаря уникальным свойствам наполнителя – углеродного волокна [4]. Степень реализации свойств волокнистого армирующего наполнителя в ПКМ определяется не только видами волокна и связующего, но и в значительной степени текстильной формой наполнителя [5, 6]. Различные технологические приемы позволяют расположить волокна наполнителя в матрице полимерного композиционного материала таким образом, чтобы получить наиболее полную реализацию преимуществ составляющих его компонентов. Одним из таких приемов является оптимизация текстильной структуры армирующего наполнителя.

Волокнистые армирующие материалы для ПКМ могут применяться в виде штапельных волокон, непрерывных волокон, жгутов, нитей, лент, нетканых материалов, трикотажных полотен, однослойных и многослойных тканей (2D-форм), плетеных и тканых преформ (3D-форм) и др. Однако 2D-формы, тканые структуры превосходят перечисленные выше текстильные формы по ряду характеристик: постоянство структуры, однородность свойств, устойчивость формы и технологичность в процессе производства изделий из композиционных материалов. Так, наиболее распространенными углеродными армирующими наполнителями для ПКМ, применяемых в изделиях авиационно-космической промышленности, являются углеродные ткани [7].

В качестве отдельного направления в производстве конструкций из композиционных материалов для летательных и космических аппаратов можно выделить получение специальной композиционной формообразующей технологической оснастки из волокнистых ПКМ. Преимуществом данного вида технологической оснастки является отсутствие разницы между термомеханическими характеристиками (в первую очередь коэффициентами линейного термического расширения) оснастки и материалов формируемых изделий, что позволяет повысить точность изготовления и стабильность геометрических параметров формируемых конструкций, а также их эксплуатационные характеристики [8].

Свойства углеродных тканей определяются как свойствами исходного сырья, так и параметрами структуры и технологией производства самих тканей. Могут быть разработаны ткани с различными типами переплетения, геометрическими характеристиками (шириной, поверхностной плотностью, толщиной), числом нитей по основе и утку, массовым соотношением нитей по основе и утку.

В качестве исходного сырья при разработке технологии производства тканей берут углеродные жгуты различных номиналов (различной линейной плотности) с комплексом свойств, позволяющим получить конструкционные свойства углепластиков с учетом специфических особенностей готового изделия. Применение тканей в качестве армирующего элемента конструкционного ПКМ определяет повышенные требования к показателям качества, техническим характеристикам и технологическому процессу их изготовления [9].

Создание высокотехнологичного производства новых армирующих наполнителей из углеродных волокон является актуальной научно-технической задачей, и ее успешное решение позволит расширить ассортимент тканых армирующих наполнителей для ПКМ, а также будет способствовать созданию специальной технологической оснастки для авиационного машиностроения с применением новых типов композиционных материалов [10].

Целью работы является исследование свойств равнопрочных и однонаправленной углеродных тканей с высокой поверхностной плотностью и разработка технологий их изготовления.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [11].

### Материалы и методы

Объектами исследования являются углеродные ткани: равнопрочная ткань саржевого плетения с поверхностной плотностью  $385 \text{ г/м}^2$ , равнопрочная ткань полотняного плетения с поверхностной плотностью  $585 \text{ г/м}^2$ , однонаправленная ткань полотняного плетения с поверхностной плотностью  $290 \text{ г/м}^2$ .

Ширину и поверхностную плотность ткани определяли по ГОСТ 29104.1–91, количество нитей на 10 см в ткани – по ГОСТ 29104.3–91, массовое распределение нитей по основе и утку – по ГОСТ 29104.15–91.

### Результаты и обсуждение

С целью совершенствования технологического процесса получения ткани, максимального использования свойств исходного сырья, повышения производительности труда и оборудования необходимо учесть ряд технологических проблем, возникающих при переработке углеродных волокон в тканые формы.

Сложности, обусловленные особенностями применяемого исходного сырья, заключаются в неравномерности свойств углеродных материалов по длине и недостаточном уровне их вязкоупругих показателей: высоких жесткости, модуле упругости и низком удлинении при разрыве, что приводит к снижению стойкости углеродного волокна к истиранию и изгибающим нагрузкам.

Особенности технологического процесса получения ткани заключаются в воздействии растягивающих, изгибающих и ударных нагрузок на углеродные волокна как при подготовке нитей основы и утка к переработке, так и в процессе ткачества: циклически повторяющихся фрикционных воздействиях направляющих ткацкого оборудования. Подобные воздействия могут приводить к снижению физико-механических характеристик волокон и даже к их разрушению. Важное влияние на качество получаемых тканей имеют также протекание процесса зевобразования и геометрические показатели зева, которые необходимо учитывать при разработке технологий изготовления тканей различных структур из углеродных волокон.

Таким образом, переработка углеродных волокон в ткани требует разработки и уточнения оптимальных технологических параметров оборудования и готового изделия. Выбор их определяется в каждом конкретном случае в зависимости от структуры и технических показателей конечного изделия.

Одним из наиболее перспективных армирующих материалов для получения высокопрочных углепластиков являются однонаправленные углеродные ткани, что обусловлено оптимальным сочетанием свойств углеродного волокна и особенностей текстильной структуры – отсутствие перегибов углеродных жгутов позволяет достичь высокого уровня прочности волокна в ПКМ. Равнопрочные ткани саржевого переплетения обладают более стабильной текстильной структурой и высокой драпирующей способностью по сравнению с равнопрочными тканями полотняного переплетения. Препреги на основе тканей саржевого переплетения находят широкое применение при производстве изделий сложной кривизны.

Наиболее распространенным и перспективным методом при изготовлении композиционной формообразующей технологической оснастки считается метод препрегового формования [8]. Использование углеродных тканей с поверхностной плотностью

400–600 г/м<sup>2</sup> при изготовлении конструкций из ПКМ больших геометрических размеров помогает сократить время выкладки и снизить стоимость изделия без потери прочностных характеристик. «Тяжелые» углеродные ткани могут использоваться как отдельно в качестве заполняющих слоев для деталей большой толщины или сложной формы, так и в сочетании с поверхностными слоями из стандартных углеродных тканей (с поверхностной плотностью 200–300 г/м<sup>2</sup>). В некоторых случаях углеродные ткани с поверхностной плотностью 400–600 г/м<sup>2</sup> применяются в декоративных целях в качестве поверхностного слоя, если требуется крупный рисунок переплетения. Однако в этом случае следует учесть возможность получения неровной поверхности в готовом изделии.

В технологическом процессе изготовления углеродных тканей для ПКМ наибольшие сложности возникают при наработке тканей полотняного переплетения с высокой поверхностной плотностью, а наименьшие – при производстве тканей саржевого и сатинового переплетений с низкой поверхностной плотностью, что связано с длиной перекрытий нитей в тканях. Для предотвращения разрушения углеродных волокон в процессе переработки в ткань технологическую схему заправки ткацкой линии организуют таким образом, чтобы углеродные жгуты основы имели наименьшее возможное количество перегибов по зонам ткацкого оборудования. Для устранения пушения углеродных волокон в процессе передела также применяется увлажнение нитей основы и утка путем распыления воды.

Наибольшую значимость для отработки технологического режима получения ткани, рационального расходования ценного органического сырья и увеличения степени реализации свойств углеродных волокон, а также роста коэффициентов фактической производительности труда и оборудования имеет оптимальное решение задач по заправке всех единиц комплекса ткацкого оборудования [12].

Для определения заправочных параметров ткани (номер берда, схема проборки в бердо и ремиз, заправочная ширина ткани, заправочная плотность по основе и утку), позволяющих выработать ткань заданной структуры, необходимо провести ее технический расчет и построить заправочный рисунок. Среди основных параметров тканей наиболее значимыми являются плотность по основе и утку (количество нитей на 1 или 10 см) и тип переплетения, которые влияют на взаимное пересечение нитей основы и утка в ткани и величину ее поверхностной плотности [13].

Для разрабатываемой ткани с типом плетения саржа 2×2 и поверхностной плотностью 385 г/м<sup>2</sup> заправочный рисунок (порядок взаимного перекрытия продольными нитями основы поперечных нитей утка) представлен на рис. 1, а. Для углеродной равнопрочной ткани с типом плетения полотно и поверхностной плотностью 585 г/м<sup>2</sup> и однонаправленной ткани заправочный рисунок представлен на рис. 1, б.

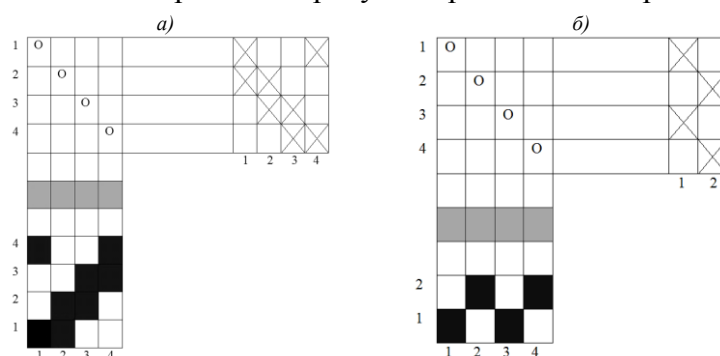


Рис. 1. Заправочный рисунок переплетения: а – саржа 2×2; б – полотно (снизу вверх: рисунок переплетения нитей основы и утка; проборка нитей основы в бердо, где число закрашенных клеток – число нитей в один зуб берда; порядок проборки нитей основы в ремиз; справа: порядок подъема ремизок для образования зева)

Технический расчет тканей проводили в соответствии с заправочными рисунками и требованиями, показанными в табл. 1. Расчет заправочных параметров выполняли по заданной поверхностной плотности тканей и по значениям линейных плотностей нитей.

Таблица 1

Требования к разрабатываемым углеродным тканям

Нить		Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Переплетение	Количество нитей по основе/утку, нитей на 1 см	Массовое распределение нитей по основе/утку, %	Ширина ткани, мм
основа	уток					
Равнопрочные ткани						
12К	12К	385	Саржа 2×2	2,4/2,4	50/50	1000
		585	Полотно	3,6/3,6		
Однонаправленная ткань						
12К	Текстильная из стекловолокна с покрытием из термопласта	290	Полотно	3,6/0,5	99/1	1000

Для разрабатываемой ткани плетения саржа 2×2 с числом нитей в 1 см по основе и утку, равным 2,4, и поверхностной плотностью 385 г/м<sup>2</sup> из углеродного жгута с линейной плотностью 800 текс ( $T_{\phi}$ ) определяли:

– среднюю массу основы ( $M_o$ ) в 1 м<sup>2</sup> ткани, г:

$$M_o = 385 \cdot 50 / 100 = 192,5;$$

– суммарную длину нити основы ( $L_o$ ) в 1 м<sup>2</sup> ткани, м:

$$L_o = M_o / T_{\phi} \cdot 1000 = 241;$$

– количество нитей основы ( $N_o$ ) в 1 м<sup>2</sup> ткани с учетом ширины готовой ткани  $B_T = 1000$  мм (коэффициентом уработки нити ( $k_n$ ) в ткани пренебрегаем):

$$N_o = L_o \cdot k_n = 241 \cdot 1,0 = 241.$$

Аналогично определяли массу утка ( $M_y$ ), суммарную длину нити утка ( $L_y$ ) и количество нитей утка ( $N_y$ ) в 1 м<sup>2</sup> ткани:

$$M_y = 192,5 \text{ г}; L_y = 241 \text{ м}; N_y = 241.$$

Далее рассчитывали заправочную ширину ткани (ширину заправки ткани по берду) ( $B_3$ ), мм:

$$B_3 = B_T / k_n = 1000 / 1,0 = 1000.$$

Заправочная плотность ткани по основе ( $P_{o3}$ ) составила:

$$P_{o3} = N_o / B_3 = 241 / 1000 = 0,24 \text{ (нитей/мм)}.$$

Таким образом, для изготовления ткани плетения саржа 2×2 с числом нитей в 1 см по основе и утку, равным 2,4, и поверхностной плотностью 385 г/м<sup>2</sup> с порядком проборки в бердо по одной нити в зуб должно применяться бердо №24, тогда ширина заправки ткани по переднему берду составит 241/0,24=1004 (мм).

Заправочная плотность по утку составила:

$$P_{y3} = (N_y / 1000) \cdot k_n = 0,24 \text{ (нитей/мм)}.$$

В такой же последовательности рассчитали заправочные параметры для разрабатываемой равнопрочной ткани плетения полотно с числом нитей в 1 см по основе

и утку, равным 3,6, и поверхностной плотностью 585 г/м<sup>2</sup> и для однонаправленной ткани плетения полотно с числом нитей в 1 см по основе 3,6 и по утку 0,5 из углеродного жгута с линейной плотностью 800 текс и нити из стекловолокна с покрытием из термопласта с линейной плотностью 55,5 текс (при проведении технического расчета однонаправленной ткани коэффициентом уработки нити в ткани пренебрегаем). Для равнопрочной ткани плетения полотно  $k_n=0,985$ . Результаты технологического расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Заправочные параметры для разрабатываемых углеродных тканей**

Ассортимент	Количество нитей по основе/утку, нитей на 1 см		Число нитей в основе	Номер берда	Ширина заправки ткани по переднему берду, мм
Равнопрочные ткани					
Ткань плетения саржа 2×2 с поверхностной плотностью 385 г/м <sup>2</sup>	2,4	2,4	241	24	1004
Ткань плетения полотно с поверхностной плотностью 585 г/м <sup>2</sup>	3,6	3,6	361	36	1003
Однонаправленная ткань					
Ткань плетения полотно с поверхностной плотностью 290 г/м <sup>2</sup>	3,6	0,5	359	36	997

Для изготовления углеродных тканей необходимо специально подготовленное ткацкое оборудование, обеспечивающее минимальные повреждения углеродных волокон при переработке [14, 15]. Подачу нитей основы в зону образования ткани выполняли со шпулярика. Использование шпуляриков с системой для выравнивания натяжения нитей и расположением бобин с нитями основы на отдельных посадочных местах позволяет осуществлять индивидуальное сматывание и подачу каждой нити основы в зону формирования ткани, а также индивидуальное торможение каждой нити. Изготовление тканей проводили на рапирном ткацком станке, который обеспечивает минимизацию износа углеродного волокна в процессе ткачества.

В соответствии с заправочными параметрами осуществили заправку ткацкого станка: проборку нитей основы в бердо, проборку основы в ремиз, программирование порядка подъема ремизных рам для образования зева с целью формирования ткани нужного переплетения. Проборку нитей основы в ремиз проводили по одной нити в глазок каждого галева по порядку в каждую раму. Проборку нитей основы в бердо осуществляли по одной нити в зуб берда.

Одним из важнейших этапов процесса изготовления тканей является выравнивание натяжения нитей основы. В процессе изготовления ткани необходимо поддерживать минимальную разницу в степени натяжения между нитями основы для получения в готовой ткани равно натянутых нитей. В этом случае в процессе эксплуатации ткани будет обеспечено равномерное распределение нагрузки на волокно. Натяжение уточной нити устанавливали путем подбора торможения нити на податчике утка таким образом, чтобы не допустить провисания нити, коротких или длинных нитей утка с целью предотвращения наработки брака и нецелевого расходования ценного органического сырья. Таким образом, в процессе переработки углеродного волокна было определено минимально необходимое для стабильного протекания процесса натяжения нитей основы и утка, которое составило 60–80 сН/текс. Скорость станка для углеродной равнопрочной ткани саржевого плетения изменяли в диапазоне 40–150 об/мин, а для равнопрочной полотняной и однонаправленной тканей – в диапазоне 40–60 об/мин.

По установленным параметрам изготовлены экспериментальные партии тканей (рис. 2–4), исследованы и определены их основные свойства: ширина и поверхностная плотность, количество нитей на 10 см с коэффициентами вариации и массовая доля компонентов нитей в тканях. Результаты исследований представлены в табл. 3.

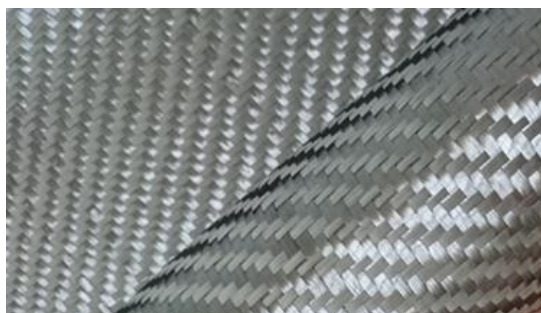


Рис. 2. Углеродная равнопрочная ткань саржевого плетения марки ВТкУ-6 с поверхностной плотностью 385 г/м<sup>2</sup>



Рис. 3. Углеродная равнопрочная ткань полотняного плетения марки ВТкУ-7 с поверхностной плотностью 585 г/м<sup>2</sup>



Рис. 4. Углеродная однонаправленная ткань полотняного плетения марки ВТкУ-3.290 с поверхностной плотностью 290 г/м<sup>2</sup>

Таблица 3

**Свойства углеродных тканей**

Свойства	Значения свойств для углеродных тканей плетения		
	саржа 2×2 (с поверхностной плотностью 385 г/м <sup>2</sup> )	полотно (с поверхностной плотностью 585 г/м <sup>2</sup> )	полотно (с поверхностной плотностью 290 г/м <sup>2</sup> )
Ширина*, мм (ГОСТ 29104.1–91)	<u>1004–1008</u> 1006 (0,12%)**	<u>1000–1003</u> 1002 (0,14%)	<u>1005–1008</u> 1006 (0,13%)
Поверхностная плотность*, г/м <sup>2</sup> (ГОСТ 29104.1–91)	<u>382–395</u> 389 (1,19%)	<u>585–590</u> 587 (0,35%)	<u>290–290</u> 290 (0%)
Количество нитей по основе/утку, нитей на 10 см (ГОСТ 29104.3–91)	(24–24)/(24–25) (0/1,91%)	(36–36)/(36–36) (0/0%)	(36–36)/(5–5) (0/0%)
Массовое распределение нитей по основе/утку, % (ГОСТ 29104.15–91)	50/50	50/50	99/1
* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние. ** В скобках приведены коэффициенты вариации.			

Из данных табл. 3 видно, что определенные в результате технического расчета заправочные параметры и технологические режимы изготовления (натяжение нитей, скорость работы станка) позволяют изготовить углеродные ткани с высокой степенью равномерности (величина коэффициентов вариации не превышает 2%).

### Заключения

Во ФГУП «ВИАМ» разработаны технологии изготовления и основано производство углеродных тканей на рапирном ткацком станке. Полученным углеродным тканям присвоены следующие марки: равнопрочной ткани саржевого плетения с поверхностной плотностью 385 г/м<sup>2</sup> – марка ВТкУ-6, равнопрочной ткани полотняного плетения с поверхностной плотностью 585 г/м<sup>2</sup> – марка ВТкУ-7, однонаправленной ткани полотняного плетения с поверхностной плотностью 290 г/м<sup>2</sup> – марка ВТкУ-3.290.

На разработанные углеродные ткани выпущена необходимая технологическая документация для их изготовления и поставки.

Производимые углеродные ткани обладают стабильными характеристиками и предназначены для использования в качестве армирующего наполнителя при изготовлении препрегов углепластиков, а также могут применяться для изготовления композиционной оснастки [8, 9].

Возможны разработки технологии изготовления и освоение производства новых марок тканых армирующих наполнителей для ПКМ и тканей для индустриального применения со свойствами, отвечающими требованиям потребителей, и для применения в конкретном изделии [16].

Проведен технологический расчет тканей и определены заправочные параметры в соответствии с требованиями, предъявляемыми к разрабатываемым углеродным тканям с высокой поверхностной плотностью.

В процессе отработки процесса изготовления тканей с высокой поверхностной плотностью на комплексе ткацкого оборудования установлены технологические режимы, позволяющие получать углеродные ткани со стабильными свойствами.

Определены основные свойства экспериментальных партий углеродных тканей с высокой поверхностной плотностью.

### Библиографический список

1. Перепелкин Е.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 360 с.
2. Сидорина А.И., Гуняева А.Г. Рынок углеродных волокон и композитов на их основе. Обзор // Химические волокна. 2016. №4. С. 48–53.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
4. Тимошков П.Н. Оборудование и материалы для технологии автоматизированной выкладки препрегов // Авиационные материалы и технологии. 2016. №2 (41). С. 35–39. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-35-39.
5. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П., Пономаренко С.А., Ахмадиева К.Р., Павлюк Б.Ф. Влияние тканых волокнистых наполнителей различных типов на свойства отвержденного связующего ВС-2526К // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2018. №3 (63). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 26.02.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-28-36.
6. Куцевич К.Е., Тюменова Т.Ю., Петрова А.П. Влияние наполнителей на свойства клеевых препрегов и ПКМ на их основе // Авиационные материалы и технологии. 2017. №4 (49). С. 51–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-51-55.

7. Сидорина А.И., Гуняева А.Г. Тканые армирующие наполнители для полимерных композиционных материалов. Обзор // Химические волокна. 2017. №2. С. 20–23.
8. Жидкова О.Г., Каштанов П.П., Туманин А.Н. Особенности проектирования композитной формообразующей оснастки для изготовления высокоточных размеростабильных зеркальных композитных антенн интегральной конструкции // Конструкции из композиционных материалов. 2019. №1. С. 36–44.
9. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносков А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // Авиационные материалы и технологии. 2018. №3 (52). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
10. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники // 75 лет. Авиационные материалы. М.: ВИАМ, 2007. С. 20–26.
11. 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.
12. Проектирование технологического процесса ткацкого производства: метод. указания по выполнению курсового и дипломного проектов / сост. Г.С. Шипилова. Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 2004. 43 с.
13. Полякова Л.П. Технические расчеты в ткачестве: учеб. пособие. СПб.: СПГУТД, 2004. 57 с.
14. Фомченкова Л.Н. Современное оборудование для ткацкого производства на отечественном рынке // Текстильная промышленность. 2010. №2. С. 48–55.
15. Терентьев В.И. Тенденции совершенствования современных ткацких машин // Текстильная промышленность. 2010. №2. С. 6–10.
16. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. №5–6. С. 40–44.