

АНАЛИЗ ТЕКСТИЛЬНЫХ СТРУКТУР АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЫБОР ОБЛАСТЕЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

М.И. Панин

А.Р. Гареев

А.П. Карпов

Д.С. Максимова

Н.А. Корчинский

mipanin@rosatom.ru

argareev@rosatom.ru

anpkarpov@rosatom.ru

dasmaksimova@rosatom.ru

nakorchinsky@rosatom.ru

АО «НИИГрафит», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнен анализ текстильных структур и технологических решений по армированию композиционных материалов специального назначения. Рассмотрены пути оптимизации структур и процессов армирования композиционных материалов, подвергаемых высоким нагрузкам при их эксплуатации. Теоретически обоснованы способы упрочнения композитов с помощью различных намоток сомкнутой структуры, а также возможности получения изделий с максимальным коэффициентом заполнения композитов армирующим компонентом, в том числе и при создании углерод-углеродных композиционных материалов специального назначения. Показано, что для сохранения физико-механических свойств композиционных материалов требуется отдавать предпочтение однопроцессным способам формирования армирующих наполнителей, которые позволяют уменьшить число истирающих воздействий на волокно. Важным фактором для армирования и создания углерод-углеродных композиционных материалов намоткой является направление внешних осевых нагрузок, которые заранее известны. Во избежание разрушения верхних слоев структуры изделия от действия осевых сил паковку следует ориентировать так, чтобы силы сцепления нити препятствовали срыву (отслоению) несвязанных витков намотки. Показано, что однопроцессный способ формирования

Ключевые слова

Композит, намотка, прочность, армирование, углеродное волокно, нить, структура

армирующего компонента композиционного материала намоткой обеспечивает минимальное истирающее (разрушающее) воздействие на нити в процессе их намотки на оправку

Поступила 27.05.2022

Принята 16.01.2023

© Автор(ы), 2023

Введение. Нарастающая потребность в новых видах высокопрочных композиционных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности, ставит перед учеными задачи по изысканию новых и совершенствованию известных технологий их производства. В настоящее время армирование композиционных материалов различного назначения проводится на базе следующих текстильных технологий: использование в качестве наполнителей элементарных волокон нитей различной природы, тканых и нетканых полотен, основвязального трикотажа и намоток. Каждая перечисленная технология армирования композиционных материалов придает конечному продукту специфичные свойства, которые определяют область их применения. Выбор той или иной технологии армирования композиционных материалов должен основываться на возможности применяемого оборудования обеспечить главные требования, предъявляемые к конечному продукту как по качественным и прочностным показателям, так и по экономической эффективности всего производства. Особенности технологии изготовления композиционных нетканых материалов приведены в [1, 2]. Показано, что среди наиболее распространенных способов превалирует сухое, влажное и аэродинамическое холстоформование. Для композиционных структур применяются следующие способы скрепления: иглопробивной, спутывание структурных элементов (спанлейс), латексный, термоскрепление, сочетание латексного и термоскрепления, гидроспутывание.

Материалы и методы решения задач. В результате анализа технологических решений создания композиционных материалов на нетканой основе выявлено, что, сочетая различные виды волокнистых наполнителей и связующего, можно регулировать свойства изделий широкого потребления, выбирая оптимальные показатели для соответствующих областей применения. Хаотичная структура расположения волокон в конечном продукте позволяет использовать такие композиционные материалы для производства изделий с невысокими показателями физико-механических свойств. Однако неконтролируемое расположение волокон в структуре таких композитов является решающим фактором, приводящим к разрушению при приложении внешних нагрузок, что ограничивает области их применения в экстремальных условиях.

Трикотаж также используется в виде наполнителя при создании полимерных композиционных материалов. Технология армирования предполагает использование свойств кулирного трикотажа для изготовления изделий сложной формы [3, 4].

Тканые структуры тоже нашли применение в армировании композиционных материалов. В настоящее время используют такие переплетения тканей, как полотняное, сатиновое и саржевое. В зависимости от областей и условий применения конечных продуктов в качестве армирующих волокон в основном используют углеродные, стеклянные и базальтовые [5]. Свойства конечных продуктов зависят от структуры базовых армирующих тканей — от числа слоев при многослойной структуре, способов перевивки нити основы и утка в смежных слоях ткани, линейной плотности применяемых нитей (толщины, тонины), степени пористости и проницаемости и др.

Как показали исследования, увеличение плотности тканей по основе ведет к повышению их прочности при растяжении, но одновременно снижается прочность ткани по утку и при межслоевом сдвиге.

Главным недостатком тканых наполнителей является слабая связь слоев в пакете композиционного материала, что приводит к расслоению и разрушению слоев в условиях воздействия больших внешних нагрузок, следовательно, и к недостаточно высоким показателям прочностных свойств.

К недостаткам технологического процесса формирования наполнителей на трикотажном и ткацком производствах следует отнести большое истирающее воздействие на нити во время их формирования со стороны направляющих узлов оборудования, что приводит к разрушению волокон. Так, в процессе ткачества все нити основы подвергаются истиранию бердом, причем число истирающих циклов на каждый элемент нити равно удвоенному значению плотности вырабатываемой ткани по утку, что обусловлено возвратно-поступательным движением батана. Кроме того, большинство тканей в данном случае вырабатываются на бесчелночных ткацких станках, где нити утка являются обрезными и слабо закрепляются в кромках ткани. В совокупности это отрицательно сказывается на прочностных свойствах конечного продукта.

Отметим, что в настоящее время резко возрастает потребность в создании высокопрочных, термостойких материалов для космической и авиационной отраслей. Такая задача может быть решена путем создания углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) специального назначения.

Результаты исследования. Задача создания объемных, высокопрочных, термостойких композиционных материалов может быть выполнена за счет формирования волокнистых наполнителей объемного плетения, которые образуются размещением нитей (жгутов), в том числе их системой числом три и более, а также стержней различной архитектурно достигаемой конфигурации [6]. Данные способы армирования эффективно применяются в производстве композитов конструкционного назначения [7, 8]. Расположение армирующих элементов в них осуществляют в трех (3D) и четырех (4D) направлениях. Эти системы называются пространственными армирующими структурами (ПАС), а их составляющие — элементами пространственных армирующих структур (ЭПАС). Существует большое многообразие структур укладки ЭПАС, изотропия которых увеличивается с ростом числа направлений армирования (3D- и 4D-структуры). Кроме того, имеются разные их модификации. Рассмотренные структуры армирующих компонентов, применяемые при создании тел вращения, имеют те же достоинства и недостатки, что тканые 3D- и 4D-структуры. Отличие заключается в том, что процесс формирования многостадийный и характеризуется высокой трудоемкостью и низкой производительностью [9].

Армирование композиционных материалов структурами на базе намоток специального назначения подробно рассмотрено в [10]. Применение мотальных паковок с использованием послойной раскладки нитей различных структуры и состава позволяет в широких пределах варьировать комбинации композитов (т. е. создавать «послойную структуру» заданных типоразмеров). По сути, все армирующие намотки могут выполнять роль «препрегов», но формируемых более простым, технологичным и дешевым, однопроцессным способом. Попытки классифицировать структуры намоток мотальных паковок по каким-либо критериям с точки зрения технологии сделаны в [11, 12], а с точки зрения проектировщиков технологического оборудования — в [12, 13]. В последних работах за определяющий фактор принят угол скрещивания (подъема) β витков. Однако, как доказано в [10], структура намоток мотальных паковок определяется углом сдвига витков ψ , т. е. угловым расстоянием l_ψ между витками первой и $p + 1$ пар слоев намотки на торцах паковок (рис. 1) [14].

В зависимости от угла сдвига витков все крестовые намотки подразделяются на сомкнутые, замкнутые, спиралевидные и разомкнутые. Рассмотрим их подробнее.

У сомкнутых шаг витков намотки кратен диаметру наматываемой нити (рис. 2).

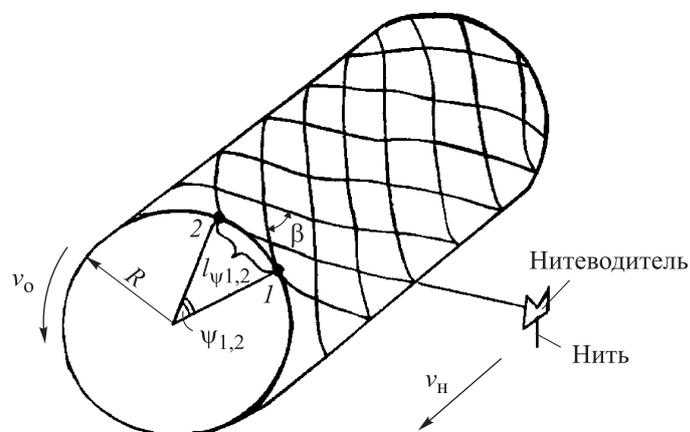


Рис. 1. Угол сдвига между витками первого (1) и второго (2) слоев намотки



Рис. 2. Сомкнутая структура намотки нити

Замкнутыми структурами намотки (рис. 3) являются те, у которых угол сдвига витков ψ равен нулю, а степень замыкания p представляет числа натурального ряда 0, 1, 2, 3, ... Намотки замкнутой структуры высокой степени замыкания p и их производные в виде набора пакетов раз-

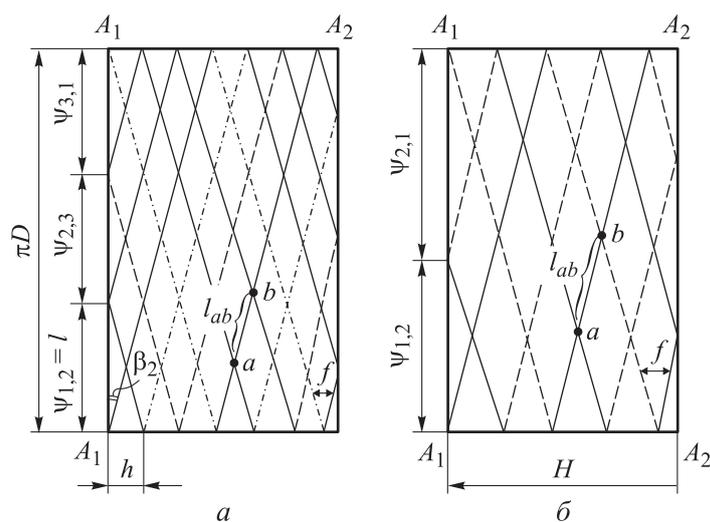


Рис. 3. Схемы трех- (а) и двухзамкнутой (б) структур намотки нити

личных типоразмеров и формы могут быть успешно использованы совместно или вместо волокнистых элементов объемного плетения различной сложности, набираемых из жгутов в виде индивидуальных стержней.

Сотовые структуры намотки (рис. 4) для армирования углепластиков могут использоваться в качестве заполнителей лопастей и лонжеронов хвостового оперения в самолетостроении и космической промышленности [15].



Рис. 4. Сотовая структура намотки нити

Разомкнутыми намотками называют такие, у которых витки нити не ложатся вплотную друг к другу и шаг намотки больше диаметра нити.

К разомкнутым намоткам относятся замкнутые намотки, угол сдвига их витков $\psi_{1,p+1}$ рассчитывается по формуле

$$\psi_{1,p+1} = 2\pi p(ni_o - n_1), \quad (1)$$

где $p = 1, 2, 3, \dots$ — степень замыкания намотки или число двойных ходов нитеводителя вдоль образующей паковки (слева направо и обратно), по истечении которого витки пары $p + 1$ слоев намотки наложатся на витки первой пары слоев; n — число оборотов кулачка нитеводителя за цикл движения нити (слева направо и обратно); i_o — общее передаточное отношение от нитеводителя к оси паковки, создаваемое мотальным механизмом; n_1 — целая часть числа ni_o .

Такой подход позволил четко классифицировать виды намоток, в том числе и сомкнутые, условие получения которых можно записать так:

$$\psi_{1,p+1} = 2\pi p(ni_o - n_1) = \frac{2d}{D \sin(\beta/2)} = \psi_c, \quad (2)$$

где d — условный диаметр нити, наматываемой на паковку; D — текущий диаметр намотки мотальной паковки; $\beta/2$ — угол подъема витков (половина угла скрещивания витков), определяющий механическую прочность намотки, т. е. устойчивость к ее рассыпанию (при намотке на паковки без фланцев).

Понятие цикла намотки введено в [10] (цикл намотки соответствует числу двойных ходов нитеводителя, при котором паковка совершает целое число оборотов). Замкнутые намотки характеризуются ячеистой структурой, размеры пор в которых определяются степенью замыкания p намотки. При высоких степенях замыкания p намоток, а точнее, при условии

$$\Delta = \frac{x}{l_y} = 0, \quad (3)$$

где x — шаг витков намотки; l_y — длина дуги на торце паковки, соответствующая смещению витков на угол сдвига, на паковке будет формироваться сомкнутая намотка, отличающаяся максимальным заполнением нитями объема паковки, т. е. максимальной плотностью. Такая структура равномерна как в осевом, так и в радиальном направлениях формируемой паковки и более других подходит для армирования толсто-стенных изделий прессованием без выкладки (например, тормозных колодок и др.). Как показали исследования [10], намотки сомкнутой структуры имеют высокую устойчивость к воздействию внешних нагрузок ввиду максимального сцепления витков между собой, что позволяет формировать на их основе сосуды высокого давления и крупногабаритные конструкции.

Промежуточное положение между сомкнутыми и замкнутыми намотками имеют намотки спиралевидной структуры, у которых поры смещаются в радиальном направлении паковки по спиралям Архимеда, т. е. точки пересечения витков в различных слоях намотки смещены по поверхности намотки паковки на расстоянии в пределах:

$$0 < l_y < \frac{d}{\sin(\beta/2)}, \quad (4)$$

где l_y — длина дуги на торце паковки, соответствующая смещению витков на угол сдвига, находящийся в пределах

$$360Z + \psi_c > \psi_{m, p+m} > 360Z \quad (5)$$

при опережающей намотке, или

$$360Z > \psi_{m, p+m} > 360Z - \psi_c \quad (6)$$

при отстающей намотке ($m = 1, 2, 3, \dots$ — номер текущей пары слоев намотки; $Z = 1, 2, 3, \dots$ — кратность замыкания намотки).

Структуры спиралевидной намотки подразделяются на опережающие и отстающие. У опережающих намоток поры (точки пересечения витков) смещаются в каждом последующем слое намотки относительно предыдущего по ходу часовой стрелки. У отстающей, наоборот, — против хода часовой стрелки, что имеет важное значение при формировании на их базе пространственных армирующих структур цельных композитов винтовой формы (шнеков, корабельных винтов, лопастей самолетов и др.). Особенно это важно для создания изделий, направление внешних осевых нагрузок на которые заранее известно, например ракет. Во избежание разрушения структуры конечного продукта от воздействия осевых сил, прикладываемых к паковке, его следует ориентировать так, чтобы силы сцепления витков нити препятствовали срыву (отслоению) несвязанных витков. На рис. 5 приведена схема спиралевидной намотки.



Рис. 5. Схема спиралевидной намотки

При производстве УУКМ для повышения эксплуатационных свойств наибольший интерес представляют намоточные структуры, позволяющие расчетным путем формировать заданную пористость и проницаемость замкнутых и спиралевидных структур намоток цилиндрической формы.

Формирование мотальных паковок более сложной формы, например конусов, при использовании таких структур намотки, крайне затруднительно. Это происходит вследствие неравновесного (неустойчивого) положения нитей на наклонных и кривых плоскостях формируемой паковки, слабого сцепления витков между собой (их трения о намотку). В результате это приводит к слетам и обрыву нити, нарушению условия равновесности намотки, сформулированного профессором А.П. Минаковым:

$$\operatorname{tg} \theta \geq \mu, \quad (7)$$

где θ — угол геодезического отклонения витка (угол, образованный главной нормалью к поверхности намотки и перпендикуляром в точке наматывания, проходящем в плоскости, перпендикулярной оси паковки); μ — коэффициент трения нити о намотку (зависит от материала, из которого изготавливают нить, и числа витков в намотке).

Показатели сравнительного анализа технологий армирования композиционных материалов приведены в таблице.

**Коэффициент заполнения и качественные показатели
волоконистых композиционных материалов**

Технологии армирования	Результат сравнительного анализа технологий армирования по			
	коэффициенту заполнения композиционного материала армирующим компонентом k_3	выходному продукту	трудоемкости и стадийности	потерям сырья, угарам, %
Нетканые полотна	0,57	Плоские структуры	Подготовка волокон. Формование полотна	До 0,4
Ткачество	0,62	Плоские структуры	Подготовка нитей основы и утка. Сновка. Ткачество. Обработка	До 5
Трико-тажные полотна	0,47	Объемные элементы малой прочности	Подготовка. Вязание. Обработка	До 4
Намотки	0,785	Тела, имеющие ось вращения	Перемотка	0,01

Обсуждение полученных результатов. В результате анализа данных таблицы выявлено, что намоточные структуры имеют ряд преимуществ перед другими текстильными технологическими решениями производства армирующих компонентов композиционных материалов. Армирование композиционных материалов с использованием структур сомкнутых и замкнутых намоток позволяет при минимальной трудоемкости и отходах получить конечный продукт с максимально возможным коэффициентом заполнения объема композита волокнистым материалом однопроцессным способом. Применение замкнутых намоток с различной степенью замыкания и, следовательно, с расчетной пористостью и проницаемостью структуры, позволяет проектировать УУКМ с ранее заданными свойствами. Мотальные паковки заданной (произвольной) формы

намотки могут использоваться в качестве армирующих компонентов композиционных материалов при изготовлении цельных деталей различного рода, имеющих ось вращения.

Заключение. Рассмотренные текстильные технологии армирования композиционных материалов имеют полное право на их использование с учетом получаемых свойств конечного продукта.

Однопроцессный способ формирования армирующего компонента композиционного материала намоткой обеспечивает минимальное истирающее (разрушающее) воздействие на нити в процессе их намотки на оправку и, следовательно, сохраняет высокие прочностные параметры нити и конечного продукта, в этом и состоит его главное преимущество перед другими технологиями.

Регулируемая, т. е. задаваемая расчетным путем, степень замыкания намотки позволяет проектировать и создавать заданные параметры (пористость и проницаемость замкнутых и спиралевидных структур намоток цилиндрической формы) композиционного материала, обеспечивает формирование сложных пространственных армирующих структур любых (заданных) типоразмеров и их использование при производстве УУКМ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Трещалин Ю.М. Эффективность и перспективы применения инновационных композиционных материалов на нетканой основе. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, 2014, № 10, с. 15–17.
- [2] Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. М., Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015.
- [3] Труевцев А.В., Цобкалло Е.С., Москалюк О.А. и др. Полимерные композиты с кулирным трикотажным наполнителем. СПб., СПбГУПТД, 2020.
- [4] Далидович А.С. Основы теории вязания. М., Легкая индустрия, 1970.
- [5] Базаева Е.М., Еремкин Д.И., Литвинов В.Б. и др. Разработка преформы цельнотканого трехмерного каркаса вентиляторной лопасти. *Авиационная промышленность*, 2008, № 1, с. 42–44.
- [6] Соколин Ю.В., Ташкинов А.А., Вотинов А.М. и др. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций. М., ФИЗМАТЛИТ, 1996.
- [7] Колесников С.А. Технологическое обеспечение изготовления крупногабаритных конструкций из углерод-углеродных композиционных материалов. *Конструкции из композиционных материалов*, 2017, № 4, с. 18–27.
- [8] Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.

[9] Берлин А.А. Полимерные композиционные материалы. Свойства. Структура. Технологии. СПб., Профессия, 2009.

[10] Панин М.И. Разработка композиционных материалов на базе мотальных паковок специального назначения. Дис. ... канд. техн. наук. М., МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2012.

[11] Сокерин Н.М., Бобков Е.А. К вопросу о стабилизации натяжения утка на уточномотальных автоматах. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1971, № 1, с. 45–58.

[12] Морозов И.В. Влияние условий формирования трубчатых початков на слетообразование льняного утка в ткачестве. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1982, № 5, с. 123–132.

[13] Матюшев И.И. О переходных кривых кулачков нитераскладчиков на участке реверса. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1982, № 3, с. 45–56.

[14] Моисеев Г.К. Изменение угла геодезического отклонения при наматывании конических паковок. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1976, № 3, с. 134–147.

[15] Панин М.И., Хакимов Р.В. Разработка технологии производства композиционных материалов для авиационной промышленности на базе пековых углеродных волокон. *Сборник аннотаций конкурсных работ конф. «Молодежь и будущее авиации и космонавтики»*. М., НИИГрафит, 2020, с. 242–243.

Панин Михаил Иванович — канд. техн. наук, начальник отдела разработки новых типов УУКМ АО «НИИГрафит» (Российская Федерация, 111524, Москва, Электродная ул., д. 2).

Гареев Артур Радикович — канд. техн. наук, заместитель директора по науке и инновациям АО «НИИГрафит» (Российская Федерация, 111524, Москва, Электродная ул., д. 2).

Карпов Андрей Павлович — начальник управления УУКМ АО «НИИГрафит» (Российская Федерация, 111524, Москва, Электродная ул., д. 2).

Максимова Дарья Сергеевна — начальник отдела разработки и организации производства УУКМ АО «НИИГрафит» (Российская Федерация, 111524, Москва, Электродная ул., д. 2).

Корчинский Никита Андреевич — научный сотрудник отдела разработки новых типов УУКМ АО «НИИГрафит» (Российская Федерация, 111524, Москва, Электродная ул., д. 2).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Панин М.И., Гареев А.Р., Карпов А.П. и др. Анализ текстильных структур армирующих компонентов композиционных материалов и выбор областей их применения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2023, № 2 (145), с. 15–28. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-2-15-28>

**ANALYSIS OF TEXTILE STRUCTURES
IN REINFORCING COMPONENTS
OF THE COMPOSITE MATERIALS
AND SELECTION OF THEIR APPLICATION AREAS**

M.I. Panin

mipanin@rosatom.ru

A.R. Gareev

argareev@rosatom.ru

A.P. Karpov

anpkarpov@rosatom.ru

D.S. Maksimova

dasmaksimova@rosatom.ru

N.A. Korchinskiy

nakorchinsky@rosatom.ru

JSC “NIIgrafit”, Moscow, Russian Federation

Abstract

Textile structures and technological solutions in reinforcement of the special purpose composite materials were analyzed. Ways to optimize structures and processes of reinforcing the composite materials subjected to high loads in their operation were considered. Composite materials methods of strengthening with various windings of closed structure were theoretically substantiated, as well as possibilities to obtain products with the maximum filling factor of composites with the reinforcing component, including creation of the carbon-carbon composite materials for special purposes. It is shown that in order to preserve physical and mechanical properties of the composite materials, it is required to give preference to the one-process methods in formation of the reinforcing fillers, which could reduce the number of abrasion effects on the fiber. An important factor in reinforcing and creating the carbon-carbon composite materials by winding is the direction of external axial loads, which are known in advance. In order to avoid destruction of the upper layers of the product structure exposed to action of the axial forces, the package should be oriented in such a way that the thread cohesive forces prevent separation (peeling) of the unbound winding turns. It is shown that the one-process method of forming the composite material reinforcing component by winding ensures minimum abrasive (destructive) effect on the threads during their winding on a mandrel

Keywords

Composite, winding, strength, reinforcement, carbon fiber, thread, structure

Received 27.05.2022

Accepted 16.01.2023

© Author(s), 2023

REFERENCES

- [1] Treshchalin Yu.M. Efficiency and prospects of innovative composite materials on the nonwoven basis. *Stroitelnye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the XXI century], 2014, no. 10, pp. 15–17 (in Russ.).
- [2] Treshchalin Yu.M. Kompozitsionnye materialy na osnove netkanykh poloten [Composite materials based on nonwoven fabrics]. Moscow, Lomonosov MSU Publ., 2015.
- [3] Truevtsev A.V., Tsobkallo E.S., Moskalyuk O.A., et al. Polimernye kompozity s kulirnym trikotazhnym napolnitelem [Polymer composites with a knitwear filler]. St. Petersburg, SPbSUPTD Publ., 2020.
- [4] Dalidovich A.S. Osnovy teorii vyazaniya [Fundamentals of knitting theory]. Moscow, Legkaya industriya Publ., 1970.
- [5] Bazaeva E.M., Eremkin D.I., Litvinov V.B., et al. Designing preform of a solid-woven three-dimensional frame of a fan blade. *Aviatsionnaya promyshlennost* [Aviation Industry], 2008, no. 1, pp. 42–44 (in Russ.).
- [6] Sokolin Yu.V., Tashkinov A.A., Votinov A.M., et al. Tekhnologiya i proektirovanie uglerod-uglerodnykh kompozitov i konstruktsiy [Technology and design of carbon-carbon composites and structures]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 1996.
- [7] Kolesnikov S.A. Technological maintenance of manufacturing of large-sized structures made of carbon-carbon composite materials. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov* [Composite Materials Constructions], 2017, no. 4, pp. 18–27 (in Russ.).
- [8] Bulanov I.M., Vorobey V.V. Tekhnologiya raketnykh i aerokosmicheskikh konstruktsiy iz kompozitsionnykh materialov [Technology of rocket and aerospace structures made of composite materials]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 1998.
- [9] Berlin A.A. Polimernye kompozitsionnye materialy. Svoystva. Struktura. Tekhnologii [Polymer composite materials. Features. Structure. Technologies]. St. Petersburg, Profesiya Publ., 2009.
- [10] Panin M.I. Razrabotka kompozitsionnykh materialov na baze metalnykh pakovok spetsialnogo naznacheniya. Dis. kand. tekhn. nauk [Development of composite materials based on special purpose winding packs. Cand. Sc. (Eng.). Diss.]. Moscow, Kosygin MSTU, 2012.
- [11] Sokerin N.M., Bobkov E.A. On problem of stabilization of the weft tension on precision machines. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 1971, no. 1, pp. 45–58 (in Russ.).
- [12] Morozov I.V. Effect of conditions for tubular ears formation on flax weft formation in weaving. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 1982, no. 5, pp. 123–132 (in Russ.).
- [13] Matyushev I.I. On the transition curves of niterascladers cams on the section of the river. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 1982, no. 3, pp. 45–56 (in Russ.).

[14] Moiseev G.K. Change in the angle of geodetic deviation when winding conical packages. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 1976, no. 3, pp. 134–147 (in Russ.).

[15] Panin M.I., Khakimov R.V. [Development of composites production technology based on pitch carbon fibers for the aviation industry]. *Sbornik annotatsiy konkursnykh rabot konf. "Molodezh i budushchee aviatsii i kosmonavtiki"* [Abs. Youth and Future of Aeronautics and Astronautics Conf.]. Moscow, NIIgrafit Publ., 2020, pp. 242–243 (in Russ.).

Panin M.I. — Cand. Sc. (Eng.), Head of the Department of the Development of New Types of CCCM, JSC “NIIgrafit” (Elektrodnaya ul. 2, Moscow, 111524 Russian Federation).

Gareev A.R. — Cand. Sc. (Eng.), Deputy Director for Science and Innovations, JSC “NIIgrafit” (Elektrodnaya ul. 2, Moscow, 111524 Russian Federation).

Karpov A.P. — Head of the Department of CCCM, JSC “NIIgrafit” (Elektrodnaya ul. 2, Moscow, 111524 Russian Federation).

Maksimova D.S. — Head of the Department of Development and Organization of Production of CCCM, JSC “NIIgrafit” (Elektrodnaya ul. 2, Moscow, 111524 Russian Federation).

Korchinskiy N.A. — Researcher, Department of Development of New Types of CCCM, JSC “NIIgrafit” (Elektrodnaya ul. 2, Moscow, 111524 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Panin M.I., Gareev A.R., Karpov A.P., et al. Analysis of textile structures in reinforcing components of the composite materials and selection of their application areas. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2023, no. 2 (145), pp. 15–28 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2023-2-15-28>