

УДК 539.4:678.067

DOI: 10.18698/0536-1044-2018-3-73-80

# Исследование возможности улучшения свойств углепластиков при сжатии и сдвиге путем прошивки углеродных преформ арамидными нитями

П.В. Михеев<sup>1</sup>, С.А. Гусев<sup>2</sup>, К.Е. Белокопытова<sup>3</sup>, Т.Г. Агеева<sup>4</sup>,  
А.Н. Малышев<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ООО «АКВИФЕР», 144400, Электросталь, Московская обл., Российская Федерация, ул. Спортивная, д. 24

<sup>2</sup> АНО ВО «Сколковский институт науки и технологий», 143025, Сколково, Московская обл., Российская Федерация, ул. Новая, д. 100

<sup>3</sup> Межотраслевой инженеринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

<sup>4</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

<sup>5</sup> ЗАО «Тема-М», 141011, Мытищи, Московская обл., Российская Федерация, ул. Маркса, д. 4

## Research into the Possibility of Improving Properties of Carbon Fibers at Compression and Shear by Stitching Carbon Preforms with Aramid Threads

P.V. Mikheev<sup>1</sup>, S.A. Gusev<sup>2</sup>, K.E. Belokopytova<sup>3</sup>, T.G. Ageeva<sup>4</sup>,  
A.N. Malyshev<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ООО АКВИФЕР, 144400, Elektrostal, Moscow region, Russian Federation, Sportivnaya St., Bldg. 24

<sup>2</sup> Autonomous Non-Commercial Educational Organization of Higher Education — Skolkovo Institute of Science and Technology, 143025, Skolkovo, Moscow region, Russian Federation, Novaya St., Bldg. 100

<sup>3</sup> Interindustry Engineering Centre Composites of Russia at Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

<sup>4</sup> BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

<sup>5</sup> ZAO Tema-M, 141011, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation, Marx St., Bldg. 4



e-mail: modelan@yandex.ru, 191082@bk.ru, kristina.knopka@mail.ru, tageeva888@gmail.com,  
tema-m1@mail.ru



Рассмотрена технологическая возможность прошивки сухого пакета углеродных тканей перед пропиткой эпоксидным связующим. Для прошивки применены высокомодульные арамидные нити двух сортов — Армалон и Армос — линейной плотностью 7,9 и 60 текс соответственно. Исследованы схемы армирования слоев от однонаправленной до квазиизотропной. На полученных образцах углепластика толщиной до 5 мм определены прочность при сжатии для разных схем укладки, прочность при сдвиге и ударная вязкость. Проведено качественное сравнение модуля упругости прошитых и непрошитых образцов. Показано, что прошивка высокомодульными нитями возможна, и она не мешает движению связующего при инфузии. Прочность при сдвиге возросла на 30 %, но только при использовании нитей линейной плотностью 60 текс, т. е. даже нить, занимающая в структуре заметное место (около 0,1 мм после отверждения), не стала существенным дефектом. Ударная вязкость не изменилась, а для прочности и модуля упругости при сжатии отмечена тенденция к росту значений.

**Ключевые слова:** углепластик, прошивка сухого пакета, параарамидные волокна, прочность при сжатии, прочность при сдвиге, пропитка связующим

**i** In this work, the technological capabilities of stitching a dry preform of carbon fabrics before impregnation with epoxy resin is investigated. Two types of high-modulus aramid yarn — Armalon and Aramos — with linear density of 7.9 and 60 tex respectively are used. Reinforcement patterns, from the unidirectional to the quasi-isotropic one, are investigated. Using the obtained samples of carbon fibre with the thickness of up to 5 mm, strength at compression for various layup patterns, shear strength and impact strength are determined. A qualitative comparison of the modulus of elasticity for stitched and non-stitched samples is performed. It is shown that stitching by high-modulus threads is possible and does not hinder the movement of resin at the infusion. The shear strength increased by 30% but only when threads of linear density of 60 tex were used. It shows that even such a prominent thread in the structure (approximately 0.1 mm after curing) did not become a significant defect. The impact strength did not change, while the failure resistance and modulus of elasticity at compression showed a tendency to grow in values.

**Keywords:** carbon fiber reinforced polymer, stitching of dry performs, aramid fibers, strength at compression, strength at shift, impregnation by resin

Внедрение современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) в технику сулит выигрыш в массе конструкции. Это особенно важно для транспортных средств гражданского назначения, так как ведет к снижению эксплуатационных расходов [1, 2]. Однако, обладая рекордными значениями прочности и жесткости при растяжении в направлении волокон, ПКМ имеют довольно низкие свойства при сдвиге и сжатии. Эти особенности осложняют внедрение перспективных материалов в современную технику [3, 4].

Давно существовали предположения о том, что объединение слоев в поперечном направлении путем прошивки способно повысить прочность при сдвиге и сжатии, а также ударную вязкость ПКМ [5, 6]. Для тонкостенных (толщиной до 8 мм) конструкций можно использовать автоматизированную прошивку. В результате создается трехмерная структура ПКМ, причем степень прошивки может меняться в соответствии с задачей конструктора — в местах отверстий и у краев она может быть чаще.

Создание трехмерных структур из высокопрочных волокон требует больших трудозатрат, а в ряде случаев их сборка проводится вручную. Кроме того, довольно сложно прошить препреги (текстильные формы, пропитанные связующим заранее). Появление технологий пропитки сухого пакета позволяет осуществить его прошивку до пропитки связующим [7–9], тем более что перед операцией пропитки связующим есть технологическая необходимость зафиксировать слои армирующей углеродной ткани от возможного перемещения под давлением потока эпоксидной смолы. Ранее были сделаны попыт-

ки прошивать слои стеклянных волокон углеродными нитями [10–14].

Цель работы — исследование возможности прошивки сухого пакета слоев углеродной ткани высокопрочными параарамидными волокнами, сочетающими в себе большие значения прочности (> 3 ГПа), модуля упругости (> 130 ГПа) и предельной деформации.

Для снижения негативного влияния прошивки на материал применены комплексные нити двух химических классов: ПФТА (Армалон, ЗАО «Тема-М») и ПАБИ (Армос, ООО «Лирсот») линейной плотностью 7,9 и 60 текс соответственно. Комплексные арамидные нити состояли из большого числа моноволокон и имели минимальную крутку (меньше 0,5 оборота на 1 м). Механические свойства обеих нитей были сходными [15–17].

**Исследование углепластика на прочность при сжатии, сдвиге и на ударную вязкость.** Испытуемые образцы изготовили методом вакуумной инфузии из 16 слоев однонаправленной углеродной ткани Saati Texindustria UC 350 производства итальянской компании СІТ и низковязкого эпоксидного компаунда ЭТАЛ-Инжект-SL/M по ТУ 2257-3570-18826195-03. Режим отверждения связующего соответствовал режиму, предусмотренному ТУ 2257-3570-18826195-03, а именно: 24 ч при температуре  $23\pm 2$  °С и 4 ч при температуре  $75\pm 2$  °С.

При прошивке тканевых преформ образцов менялась линейная плотность арамидной нити, а также расстояние между строчками. Преформы прошивались на промышленной швейной машине JUKI Z-391 (Япония). Были выбраны два варианта параметров строчки. В первом

Таблица 1

**Исследованные типы укладки и прошивки образцов при сжатии**

Число монослоев указанного направления армирования в структуре пакета					Шаг прошивки, мм		
Вдоль оси образца 0°	θ <sub>1</sub> , град						
0	±30	±45	±60	90	-*	4	6
16	-	-	-	-	+	+	+
8	8	-	-	-	-	+	+
8	-	8	-	-	-	+	+
8	-	-	8	-	-	+	+
8	-	-	-	8	+	-	-

\* Прошивка отсутствует.

длина стежка и межстрочное расстояние составляли 4 мм, во втором — 6 мм. В табл. 1 приведены исследованные типы укладки слоев ткани и прошивки образцов для испытания на сжатие. Во всех слоях имелся слой 0° (вдоль оси сжатия). Но в части образцов восемь слоев этого направления замещались на слои с укладкой от оси сжатия — θ<sub>1</sub>. При этом для соблюдения симметрии образца такие слои укладывались как с положительным углом +θ<sub>1</sub>, так и с отрицательным -θ<sub>1</sub>, т. е. слой — в одну сторону и слой — в другую. Прошивка проводилась в поперечном направлении без отклонения от вертикали, но с разным шагом.

Таблица 2

**Результаты испытаний на сжатие прошитых и непрошитых образцов углепластика**

Укладка слоев	Расстояние между строчками, мм	Разрушающее напряжение σ, МПа	Разрушающая нагрузка F, Н	Модуль упругости E, ГПа	Деформация разрушения ε, %
0° <sub>100%</sub>	-*	402,72	16 566,25	56,13	8,86
	4	417,75	18 684,05	42,93	9,59
	6	372,04	15 410,62	108,16	4,66
0° <sub>50%</sub> /±30° <sub>50%</sub>	4	391,07	17 029,11	34,92	9,91
	6	375,79	16 550,52	90,71	4,95
0° <sub>50%</sub> /±45° <sub>50%</sub>	4	320,13	13 356,57	95,77	4,72
	6	322,14	13 251,36	92,35	4,61
0° <sub>50%</sub> /±60° <sub>50%</sub>	4	352,54	13 227,74	75,64	6,29
	6	325,00	13 621,70	-	-
0° <sub>50%</sub> /90° <sub>50%</sub>	-*	354,30	15 454,81	97,47	4,36

\* Прошивка отсутствует.

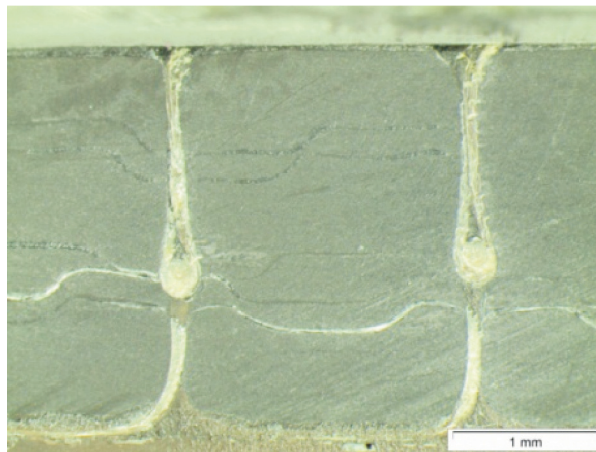


Рис. 1. Шлиф образца углепластика, прошитого нитью Армос с шагом 4 мм

Форму и размеры образцов для механических испытаний на сжатие выбирали в соответствии с ГОСТ 25.602-80 («Метод испытания на сжатие при нормальной, повышенной и пониженной температурах») [18, 19]. Образцы испытывали на сжатие и ударную вязкость. Также определяли прочность при сдвиге методом изгиба короткой балки [20, 21]. Испытания на сжатие и сдвиг проводили на универсальной машине Zwick Z-100, а испытания на ударную вязкость — на маятниковом копре РН-300 (Walter + Bai AG).

Для подтверждения качества прошивки изготовлены шлифы образцов материала. На рис. 1 представлена фотография шлифа образца углепластика, прошитого нитью Армос с шагом 4 мм.

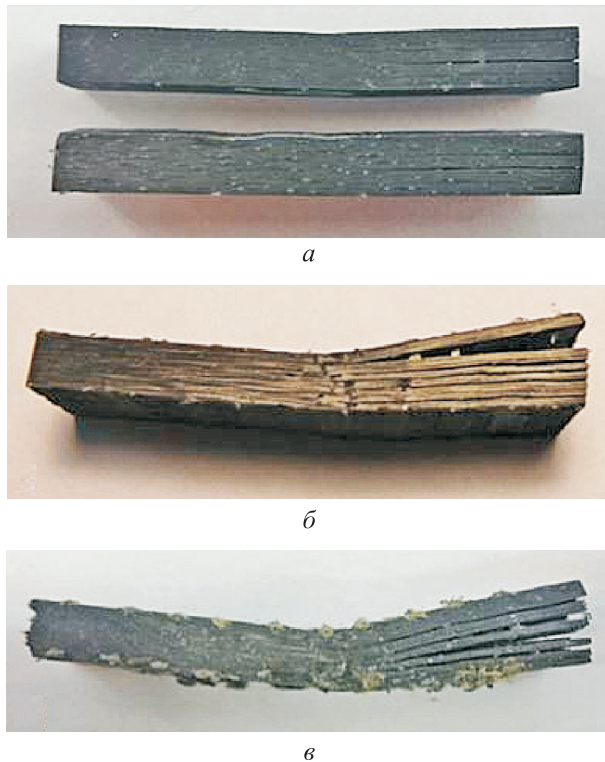


Рис. 2. Образцы после испытаний на сдвиг: а — без прошивки; б и в — с прошивкой нитью Армалон и Армос

Результаты испытаний на сжатие прошитых и непрошитых образцов углепластика приведены в табл. 2. Здесь указаны средние значения прочности, разрушающей нагрузки и модуля упругости в зависимости от укладки слоев.

Результаты испытаний прошитых и непрошитых образцов (выполненных из однонаправленной ткани) на сдвиг методом изгиба короткой балки представлены на рис. 2, где видно, как меняется механизм разрушения при наличии прошивки.

Результаты испытаний образцов углепластика на ударную вязкость — удельную энергию разрушения — для прошитых и непрошитых образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты испытаний образцов углепластика на ударную вязкость**

Тип образца	Энергия разрушения, Дж	Удельная энергия, кДж/м <sup>2</sup>
Непрошитый	6,93	161,12
Прошитый нитью Армалон	8,70	155,86
Прошитый нитью Армос	10,77	171,72

**Обсуждение результатов.** Проведенные исследования показали, что прошивка не помешала пропитке образцов связующим и технически возможна при разных схемах укладки.

Зависимости модуля упругости образцов без прошивки [17] и с прошивкой от схемы армирования показаны на рис. 3, а. Из приведенных данных следует, что при сложной схеме армирования модуль упругости прошитых образцов снижается не так быстро как у непрошитых, а прочность остается не ниже 350 МПа даже для квазиизотропных образцов.

Влияние типа прошивки и схемы армирования на прочность при сжатии вдоль слоев показано на рис. 3, б. Заметной зависимости между этими факторами нет, но доля поперечного армирования не превышала 0,3 % от площади образцов в этом направлении.

Наиболее значительное воздействие оказала прошивка в поперечном направлении на прочность при сдвиге, причем только при использовании нитей линейной плотностью 60 текс (рис. 4).

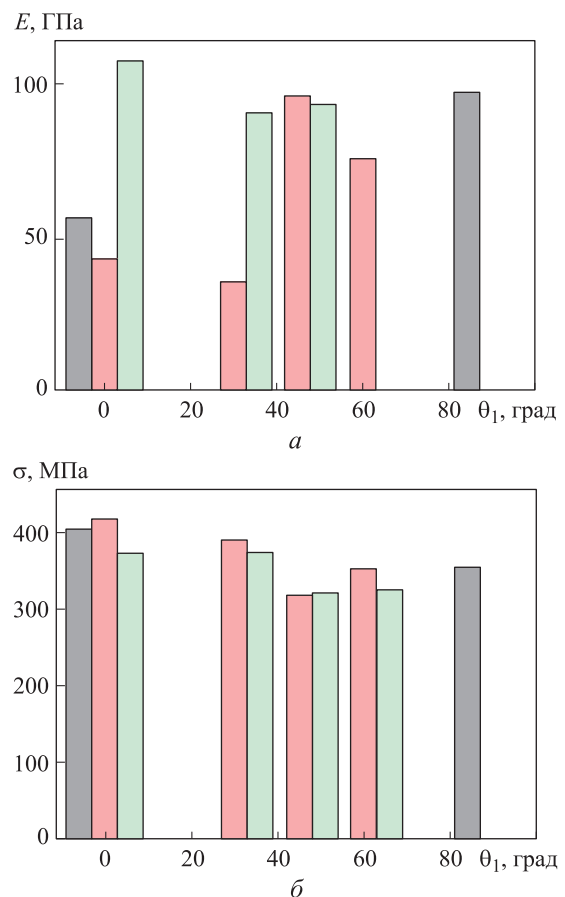


Рис. 3. Зависимости модуля упругости  $E$  (а) и предела прочности при сжатии  $\sigma$  (б) от направления укладки дополнительных слоев  $\theta_1$  для разных образцов: ■ — непрошитых; ■ и ■ — прошитых с шагом 4 и 6 мм

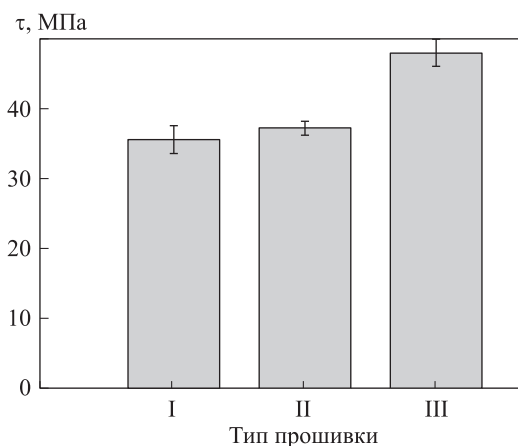


Рис. 4. Значения предела прочности при сдвиге  $\tau$  для разных образцов: I — непрошитых; II и III — прошитых нитью Армалон и Армос

В проведенном исследовании поперечное армирование составляло не более 0,26 %. Мы предполагаем, что при увеличении армирования в поперечном направлении до 1 % прочность при сдвиге можно повысить.

Влияние типа прошивки на ударную вязкость оказалось незначительным (см. табл. 3). Существует небольшая тенденция к росту, но прошивка существенно поменяла механизм разрушения от расслоения к квазихрупкому, т.е. энергия удара не рассеивается в образце, а сосредоточена в одном месте. Однако использованная методика (по Шарпи) подразумевала разрушение образца, а для технического применения важнее площадь разрушения и прочность после удара, поэтому в данном случае прошивка может оказать положительное влияние.

## Выводы

1. Экспериментально показана осуществимость идеи прошивки углеродных 16-слойных преформ параарамидными нитями с их дальнейшей переработкой в ПКМ толщиной до 5 мм методом инфузии полимерного связующего. Прошивка не повлияла на качество пропитки образца.

2. Прочность при сжатии исследованных ПКМ увеличивается до 10 % при уменьшении шага прошивки, и существуют тенденции к дальнейшему улучшению этого показателя.

3. Модуль упругости при сжатии увеличивается для прошивки нитью Армос с шагом 6 мм и для сложных схем армирования.

4. Если прошивка осуществляется нитью Армалон (7,9 текс) с шагом 4 мм, то прочность при сдвиге  $\tau$  возрастает незначительно, а если нитью Армос (60 текс) — существенно. При шаге 4 мм прочность исходного материала увеличивается на 34,9 %, при этом доля нитей в поперечном направлении не превышает 0,3 %.

5. Отмечено, что в ряде случаев при одинаковой укладке слоев модуль упругости прошитых образцов выше, чем у непрошитых.

6. Механизм разрушения при сдвиге меняется: при прошивке разрушение становится более вязким.

7. Ударная вязкость ПКМ, выраженная в удельной энергии разрушения, при прошивке существенно не изменилась, ее значение лежит в диапазоне от 161,12 (для непрошеного материала) до 171,72 кДж/м<sup>2</sup> (для прошитого материала).

## Литература

- [1] Михайлин Ю.А. *Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике*. Санкт-Петербург, ЦОП «Профессия», 2013. 752 с.
- [2] Мэттьюз Ф., Ролингс Р. *Композитные материалы. Механика и технология*. Москва, Техносфера, 2004. 408 с.
- [3] Полилов А.Н., Татусь Н.А. Экспериментальное обоснование критериев прочности волокнистых композитов, проявляющих направленный характер разрушения. *Вестник ПНИПУ. Механика*, 2012, № 2, с. 140–163.
- [4] Резник С.В. Актуальные проблемы проектирования, производства и испытания ракетно-космических композитных конструкций. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/638.html> (дата обращения 15 ноября 2017).
- [5] Скопинский В.Н. *Специалы механики конструкций*. Москва, МГИУ, 2003. 144 с.
- [6] Гарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. *Пространственно-армированные композиционные материалы. Справочник*. Москва, Машиностроение, 1987. 224 с.
- [7] Смотров С.А., Наумов С.М., Смотров А.В. *Технологии изготовления силовых агрегатов авиационных конструкций*. Москва, Техносфера, 2015. 216 с.

- [8] Vasiliev V.V., Morozov E. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements*. Elsevier, 2013. 816 p.
- [9] Ling Shan Liu, Tao Zhang, Peng Wang, Xavier Legrand, Damien Soulat. Influence of the tufting yarns on formability of tufted 3-Dimensional composite reinforcement. *Composites. Part A*, 2015, vol. 78, pp. 403–411.
- [10] Ling Shan Liu, Peng Wang, Xavier Legrand, Damien Soulat Investigation of mechanical properties of tufted composites: Influence of tuft length through the thickness reinforcement. *Composite Structures*, 2017, vol. 172, pp. 221–228.
- [11] Xiaoming Chen, Li Chen, Chunyan Zhang, Leilei Song, Diantang Zhang. Three-dimensional needle-punching for composites — A review. *Composites. Part A*, 2016, vol. 85, pp. 12–30.
- [12] Mouritz A.P. Review of z-pinned composite laminates. *Composites. Part A*, 2007, vol. 38, pp. 2383–2397.
- [13] Кавун Н.С., Давыдова И.Ф., Гребнева Т.В. Влияние прошивки стеклянного и углеродного армирующих волокон на остаточную прочность композиционного материала после удара. *Композиты и наноструктуры*, 2013, № 1, с. 20–23.
- [14] Hong Hu, Mingxing Zhang, Raul Figueiro and Mario de Araujo, Mechanical properties of composite materials made of 3d stitched woven-knitted preforms. *Journal of Composite Materials*, 2010, vol. 44, no. 14, pp. 1753–1767.
- [15] Михеев П.В., Орлов М.А., Малышев А.Н., Шаталов Р.Л., Ветров Е.Ю. Использование арамидных волокон для увеличения прочности углепластика при сдвиге вдоль слоев. *Известия Московского государственного технического университета МАМИ*, 2015, т. 2, № 1(23), с. 37–40.
- [16] Шаталов Р.Л., Верхов Е.Ю., Михеев П.В., Орлов М.А. Влияние прошивки преформы арамидными нитями на сдвиговые характеристики конечного изделия из углепластика. *Системные технологии*, 2015, № 3(16), с. 37–43.
- [17] Mikheev P.V., Dalinkevich A.A., Gusev S.A., Igonin T.N., Maksaeva L.B., Nenasheva T.A. Research of long-term properties of high-strength fiberglasses by means of the built-in FBG sensors. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 77, no. 05003, doi: 10.1051/mateconf/20167705003.
- [18] Михеев П.В., Муранов А.Н., Гусев С.А. Экспериментальное определение модуля межслоевого сдвига слоистого углепластика. *Конструкции из композиционных материалов*, 2015, № 4(140), с. 46–50.
- [19] Шах В. *Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения*. Санкт-Петербург, Научные основы и технологии, 2009. 732 с.
- [20] Грелльман В., Зайдлер С. *Испытания пластмасс*. Санкт-Петербург, Профессия, 2010. 715 с.
- [21] Гарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. *Методы статических испытаний армированных пластиков*. Москва, Химия, 1981. 272 с.

## References

- [1] Mikhailin Iu.A. *Voloknistye polimernye kompozitsionnye materialy v tekhnike* [Fibrous polymer composite materials in engineering]. Sankt-Petersburg, Professiia publ., 2013. 752 p.
- [2] Mett'iuз F., Rolings R. *Kompozitnye materialy. Mekhanika i tekhnologiya* [Composite materials. Mechanics and technology]. Moscow, Tekhnosfera publ., 2004. 408 p.
- [3] Polilov A.N., Tatus' N.A. Eksperimental'no obosnovanie kriteriev prochnosti voloknistykh kompozitov, proiavlaiushchikh napravlennyi kharakter razrusheniia [Experimental substantiation of strength criteria for FRP showing directional type of fracture]. *Vestnik PNIPU. Mekhanika* [PNRPU Mechanics Bulletin]. 2012, no. 2, pp. 140–163.
- [4] Reznik S.V. Aktual'nye problemy proektirovaniia, proizvodstva i ispytaniia raketno-kosmicheskikh kompozitnykh konstruksii [Topical problems of rocket-space composite structures designing, production and testing]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, is. 3. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/638.html> (accessed 15 November 2017).

- [5] Skopinskii V.N. *Spetsglavy mekhaniki konstruksii* [Special chapters of structural mechanics]. Moscow, MGIU publ., 2003. 144 p.
- [6] Tarnopol'skii Iu.M., Zhigun I.G., Poliakov V.A. *Prostranstvenno-armirovannye kompozitsionnye materialy. Spravochnik* [Space-reinforced composite materials. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987. 224 p.
- [7] Smotrova S.A., Naumov S.M., Smotrov A.V. *Tekhnologii izgotovleniia silovykh agregatov aviatsionnykh konstruksii* [Manufacturing technology of power units of aircraft structures made of composite materials]. Moscow, Tekhnosfera publ., 2015. 216 p.
- [8] Vasiliev V.V., Morozov E. *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements*. Elsevier, 2013. 816 p.
- [9] Liu L., Zhang T., Wang P., Legrand X., Soulat D. Influence of the tufting yarns on formability of tufted 3-Dimensional composite reinforcement. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2015, vol. 78, pp. 403–411.
- [10] Liu L., Wang P., Legrand X., Soulat D. Investigation of mechanical properties of tufted composites: Influence of tuft length through the thickness reinforcement. *Composite Structures*, 2017, vol. 172, pp. 221–228.
- [11] Chen X., Chen L., Zhang C., Song L., Zhang D. Three-dimensional needle-punching for composites — A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2016, vol. 85, pp. 12–30.
- [12] Mouritz A.P. Review of z-pinned composite laminates. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2007, vol. 38, pp. 2383–2397.
- [13] Kavun N.S., Davydova I.F., Grebneva T.V. Vliianie proshivki stekliannogo i uglerodnogo armiruiushchikh volokon na ostatochnuiu prochnost' kompozitsionnogo materiala posle udara [An effect of stitching glass and carbon reinforcements on residual strength of composite materials after impact]. *Kompozity i nanostrukturny* [Composites and Nanostructures]. 2013, no. 1, pp. 20–23.
- [14] Hong H., Mingxing Z., Fanguero R., De Araujo M. Mechanical properties of composite materials made of 3d stitched woven-knitted preforms. *Journal of Composite Materials*, 2010, vol. 44, no. 14, pp. 1753–1767.
- [15] Mikheev P.V., Orlov M.A., Malyshev A.N., Shatalov R.L., Vetrov E.Iu. Ispol'zovanie aramidnykh volokon dlia uvelicheniia prochnosti ugleplastika pri sdvige vdol' sloev [Use of aramid fibers to increase strength of carbon fiber shear along layers]. *Izvestiia Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Proceedings of the Moscow State Technical University MAMI]. 2015, vol. 2, no. 1(23), pp. 37–40.
- [16] Shatalov R.L., Verkhov E.Iu., Mikheev P.V., Orlov M.A. Vliianie proshivki preformy aramidnymi nitiami na sdvigovye kharakteristiki konechnogo izdeliia iz ugleplastika [Effect of stitching preforms with aramid strands on the shear characteristics of the final product from carbon fiber]. *Sistemnye tekhnologii* [System technologies]. 2015, no. 3(16), pp. 37–43.
- [17] Mikheev P.V., Dalinkevich A.A., Gusev S.A., Igonin T.N., Maksaeva L.B., Nenasheva T.A. Research of long-term properties of high-strength fiberglasses by means of the built-in FBG sensors. *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 77, no. 05003, doi: 10.1051/mateconf/20167705003.
- [18] Mikheev P.V., Muranov A.N., Gusev S.A. Eksperimental'noe opredelenie modulia mezhsloevogo sdviga sloistogo ugleplastika [Experimental definition of the module of interlayered shift of the layered carbon fibre reinforced plastic]. *Konstruksii iz kompozitsionnykh materialov* [Composite materials constructions]. 2015, no. 4(140), pp. 46–50.
- [19] Shakh V. *Spravochnoe rukovodstvo po ispytaniiam plastmass i analizu prichin ikh razrusheniia* [Reference manual on testing of plastics and analysis of the reasons for their destruction]. Sankt-Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii publ., 2009. 732 p.
- [20] Grell'man V., Zaidler S. *Ispytaniia plastmass* [Testing of plastics]. Sankt-Petersburg, Professii publ., 2010. 715 p.
- [21] Tarnopol'skii Iu.M., Kintsis T.Ia. *Metody staticheskikh ispytanii armirovannykh plastikov* [Methods of static tests of reinforced plastics]. Moscow, Khimii publ., 1981. 272 p.

## Информация об авторах

**МИХЕЕВ Петр Викторович** (Электросталь) — кандидат физико-математических наук, заместитель директора. ООО «АКВИФЕР» (144400, Электросталь, Московская обл., Российская Федерация, ул. Спортивная, д. 24, e-mail: modelan@yandex.ru).

**ГУСЕВ Сергей Александрович** (Сколково) — инженер. АНОО ВО «Сколковский институт науки и технологий» (143025, Сколково, Московская обл., Российская Федерация, ул. Новая, д. 100, e-mail: 191082@bk.ru).

**БЕЛОКОПЫТОВА Кристина Евгеньевна** (Москва) — инженер. Межотраслевой инжиниринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: kristina.knopka@mail.ru).

**АГЕЕВА Татьяна Геннадьевна** (Москва) — кандидат технических наук, ассистент кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: tageeva888@gmail.com).

**МАЛЫШЕВ Александр Николаевич** (Мытищи) — кандидат технических наук, директор. ЗАО «Тема-М» (141011, Мытищи, Московская обл., Российская Федерация, ул. Маркса, д. 4, e-mail: tema-m1@mail.ru).

## Information about the authors

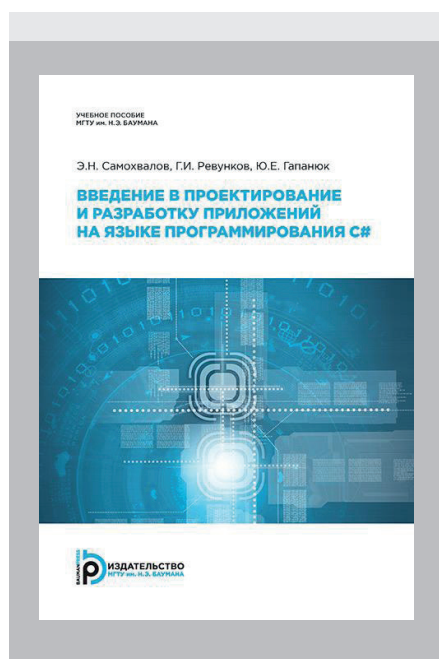
**MIKHEEV Petr Viktorovich** (Elektrostal) — Candidate of Science (Physics and Maths), Deputy Director. OOO AKVIFER (144400, Elektrostal, Moscow region, Russian Federation, Sportivnaya St., Bldg. 24, e-mail: modelan@yandex.ru).

**GUSEV Sergey Aleksandrovich** (Skolkovo) — Engineer. Autonomous Non-Commercial Educational Organization of Higher Education — Skolkovo Institute of Science and Technology (143025, Skolkovo, Moscow region, Russian Federation, Novaya St., Bldg. 100, e-mail: 191082@bk.ru).

**BELOKOPYTOVA Kristina Evgenievna** (Moscow) — Engineer. Interindustry Engineering Centre Composites of Russia at Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: kristina.knopka@mail.ru).

**AGEEVA Tatiana Gennadievna** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Teaching Assistant, Space-Rocket Composite Design Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: tageeva888@gmail.com).

**MALYSHEV Aleksandr Nikolaevich** (Mytishchi) — Candidate of Science (Eng.), Director. ZAO Tema-M (141011, Mytishchi, Moscow region, Russian Federation, Marx St., Bldg. 4, e-mail: tema-m1@mail.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана

вышло в свет учебное пособие

**Э.Н. Самохвалова, Г.И. Ревункова, Ю.Е. Гапанюка**

**«Введение в проектирование и разработку приложений на языке программирования C#»**

Представлены основы языка программирования C#. Рассмотрены среда исполнения .NET, конструкции языка C# и объектно-ориентированное программирование на нем, работа с коллекциями, файловой системой, рефлексией, а также параллельная обработка данных. Дано введение в технологию разработки оконных пользовательских интерфейсов Windows Forms.

Для студентов, изучающих информатику и вычислительную технику в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;

press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru