

УДК 678.747.2

А.Г. Гуняева¹, А.И. Сидорина¹, А.О. Курносов¹, О.Н. Клименко¹

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ВСЭ-1212
И НАПОЛНИТЕЛЕЙ, АЛЬТЕРНАТИВНЫХ НАПОЛНИТЕЛЯМ
ФИРМ Porcher Ind. И Toho Tenax**

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26

В настоящее время в условиях санкций затруднено приобретение широко используемых в авиационной промышленности импортных наполнителей производства фирм Toho Tenax (Япония) и Porcher Ind. (Франция), необходимых для производства препрегов полимерных композиционных материалов. В связи с этим возникла острая необходимость поиска альтернативных поставщиков углеродных волокон, углеродных и стеклянных армирующих наполнителей. Приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных во ФГУП «ВИАМ», по разработке углепластиков типа ВКУ-25, ВКУ-29, ВКУ-39 и стеклопластика типа ВПС-48/7781 на основе эпоксидного связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax.

Ключевые слова: российские и китайские наполнители, углеродные волокна, полимерные композиционные материалы (ПКМ), полимерные связующие, углепластик, стеклопластик.

A.G. Gunyaeva¹, A.I. Sidorina¹, A.O. Kurnosov¹, O.N. Klimenko¹

**POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS
OF NEW GENERATION ON THE BASIS OF BINDER VSE-1212
AND THE FILLING AGENTS ALTERNATIVE TO ONES
OF Porcher Ind. AND Toho Tenax**

In the conditions of sanctions, it is difficult to purchase widely used in the aviation industry import fillers produced by firms Toho Tenax (Japan) and Porcher Ind. (France), which are necessary for prepregs production from polymeric composite materials. In this regard there was pressing need to find alternative suppliers of carbon fibers, carbon and glass reinforcing fillers. The article describes the results of experimental researches performed by FSUE «VIAM» on development carbon composite the following types VKU-25, VKU-29, VKU-39 and fiberglass composite VPS-48/7781 on the basis of epoxy binder VSE-1212 and fillers alternative to fillers of Porcher Ind. and Toho Tenax firms.

Keywords: Russian and Chinese fillers, carbon fibers, polymer composite materials (PCM), polymeric binders, carbon fiber composite, fiberglass composite.

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

В настоящее время в Российской Федерации на государственном уровне оказывается поддержка развитию производства композиционных материалов и изделий из них в рамках реализации государственной программы «Разработка технологий получения комплекса композиционных материалов (композитов) нового поколения, изделий и конструкций из них» и подпрограммы «Развитие производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них» [1–5]. В ходе реализации подпрограммы предполагается внедрение композиционных материалов и изделий из них гражданского назначения [6] в ключевых секторах экономики [7].

Во ФГУП «ВИАМ» разработан комплекс полимерных композиционных материалов (ПКМ) [8] марок ВКУ-29, ВКУ-39, ВКУ-25, ВПС-48/7781 на основе эпоксидного расплавленного связующего ВСЭ-1212 и импортных углеродных армирующих наполнителей фирм Toho Tenax (Япония) и Porcher Ind. (Франция) [9], рекомендованных к применению в разработанной АО «ОДК-Авиадвигатель» конструкции мотогондолы двигателя ПД-14 и других газотурбинных двигателей.

В рамках государственной программы «Развитие авиационной промышленности России на 2013–2025 годы» для обеспечения национальной безопасности, технологической независимости и

мобилизационной готовности возникла необходимость замены композиционных материалов [10] на основе зарубежных наполнителей [11] на ПКМ на основе связующих и наполнителей российского производства [12, 13]. В качестве альтернативных поставщиков углеродных армирующих наполнителей [14, 15] рассмотрены китайские фирмы-производители Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd, Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) и ООО «Алабуга-Волокно» (Россия). В качестве альтернативных наполнителей стеклотканям [4] Porcher (арт. 7781 и 120) производства Porcher Ind. рассмотрена продукция ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (Республика Беларусь).

Результаты экспериментальных исследований альтернативных наполнителей показали, что по своим прочностным характеристикам [16] они находятся на уровне наполнителей производства фирм Toho Tenax и Porcher Ind.

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») [1].

Материалы и методы

В качестве объектов для исследований выбраны ПКМ (стеклопластик и углепластики) на основе:

- жгутового наполнителя из углеродного волокна Umatex UMT49-12K-EP производства ООО «Алабуга-Волокно» – аналога углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax;

- равнопрочной углеродной ткани (тип плетения – саржа) марки УТ-1000-200 с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна Umatex UMT40-3K-EP производства ООО «Алабуга-Волокно» – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

- однонаправленной углеродной ткани (тип плетения – полотно) марки УТ-1000-205-12K с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна Umatex UMT49-12K-EP производства ООО «Алабуга-Волокно» – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

- жгутового наполнителя из углеродного волокна SYT49(S)-12K производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd (КНР) – аналога углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax;

- равнопрочной углеродной ткани (тип плетения – саржа) марки CCT205 (производства фирмы Beijing ORIT Co. Ltd) с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна SYT45-3K производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

- однонаправленной углеродной ткани (тип плетения – полотно) марки CPP205 (производства фирмы Beijing ORIT Co. Ltd) с поверхностной плотностью

200 г/м^2 из углеродного волокна SYT49(S)-12K производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

- жгутового наполнителя из углеродного волокна HF30-12K производства фирмы Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) – аналога углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax;

- равнопрочной углеродной ткани (тип плетения – саржа) марки CCT205 (производства фирмы Beijing ORIT Co. Ltd) с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна HF10-3K производства фирмы Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

- однонаправленной углеродной ткани (тип плетения – полотно) марки CPP205 (производства фирмы Beijing ORIT Co. Ltd) с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна HF30-12K производства фирмы Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

- равнопрочной углеродной ткани (тип плетения – саржа) марки ВТкУ-2.200 (производства ФГУП «ВИАМ») с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна SYT45-3K производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

- однонаправленной углеродной ткани (тип плетения – полотно) марки ВТкУ-3 (производства ФГУП «ВИАМ») с поверхностной плотностью 200 г/м^2 из углеродного волокна SYT49(S)-12K производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd (КНР) – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

- стеклоткани арт. 7781 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» – аналога ткани фирмы Porcher арт. 7781;

- связующего ВСЭ-1212.

Испытания физико-механических характеристик образцов из ПКМ проводили с применением зарубежных стандартизованных методов (ASTM) на испытательной базе ФГУП «ВИАМ».

Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования по разработке углепластиков типа ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе углеродных наполнителей из углеродных волокон производства ООО «Алабуга-Волокно»

Проведены работы по опробованию экспериментальных партий углеродных волокон и армирующих наполнителей на их основе.

Исследованы свойства углеродного волокна Umatex UMT49-12K-EP и образцы микропластика на его основе и связующего ВСЭ-1212. Результаты представлены в табл. 1.

Установлено, что полученные значения линейной плотности, плотности волокна и содержания

Свойства углеродного волокна Umatex UMT49-12K-EP

Свойства	Требования по стандарту (сертификат качества)	Значения свойств для волокна Umatex UMT49-12K-EP по результатам испытаний	
		во ФГУП «ВИАМ»*	в ООО «Алабуга-Волокно»
Массовая доля замасливателя (содержание аппрета), % (ASTM C613)	1,0–1,7	$\frac{0,9-1,2}{1,0}$	1,2
Линейная плотность, текс (ASTM D3776)	728–773	$\frac{767-770}{768}$	768
Плотность волокна, г/см ³ (ASTM D792)	1,75–1,81	$\frac{1,78-1,80}{1,79}$	1,77
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D4018)	5000	$\frac{4100-4360}{4240}$	≥4500
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D4018)	269	$\frac{262-360}{278}$	255–280
Относительное удлинение при разрыве, % (ASTM D4018)	1,2	$\frac{1,8-2,4}{2,2}$	1,0–1,7

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

аппрета соответствуют значениям, указанным в сертификате качества на волокно Umatex UMT49-12K-EP, и совпадают с результатами испытаний в ООО «Алабуга-Волокно».

На автоматизированной пропиточной установке Coatema BL-2800 изготовлены экспериментальные партии препрегов углепластиков типа ВКУ-29, ВКУ-39 и ВКУ-25 на основе связующего ВСЭ-1212 и российских наполнителей производства ООО «Алабуга-Волокно», альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax:

– препрега углепластика ВКУ-39/UMT40.200 на основе связующего ВСЭ-1212 и равнопрочной углеродной ткани (тип плетения – саржа) марки УТ-1000-200 с поверхностной плотностью 200 г/м² из волокна Umatex UMT40-3K-EP (ООО «Алабуга-Волокно») – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

– препрега углепластика ВКУ-29/UMT49.200 на основе связующего ВСЭ-1212 и однонаправленной углеродной ткани (тип плетения – полотно) марки УТ-1000-205-12К с поверхностной плотностью 200 г/м² из волокна Umatex UMT49-12K-EP (ООО «Алабуга-Волокно») – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

– препрега углепластика ВКУ-25/UMT49 на основе связующего ВСЭ-1212 и жгутового наполнителя из волокна UMT49-12K-EP (ООО «Алабуга-Волокно») – аналога углеродного жгута HTS-45 12К фирмы Toho Tenax.

Из полученных препрегов на основе российских углеродных наполнителей и связующего ВСЭ-1212 изготовлены партии экспериментальных образцов из углепластиков марок ВКУ-25/UMT49, ВКУ-29/UMT49.200 и ВКУ-39/UMT40.200, исследованы их механические свойства с укладкой [0°]. Результаты представлены в табл. 2–4.

По уровню механических характеристик экспериментальные образцы углепластиков ВКУ-25/UMT49, ВКУ-29/UMT49.200 и ВКУ-39/UMT40.200 на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей из российских углеродных волокон Umatex производства ООО «Алабуга-Волокно» находятся на уровне (разброс значений – до 10%) аналогов – углепластиков ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей фирм Porcher Ind. и Toho Tenax.

Экспериментальные исследования по разработке углепластиков типа ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе углеродных наполнителей из углеродных волокон производства КНР

Из ассортимента выпускаемых КНР углеродных материалов для исследований выбраны углеродные волокна SYT45-3K, SYT49(S)-12K фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd и HF10-3K, HF30-12K фирмы Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd, аналогичные углеродным волокнам HTA-40, HTS-45 фирмы Toho Tenax.

На примере углеродных волокон SYT49(S)-12K фирмы Zhongfu Shen Ying и HF30-12K фирмы Jiangsu Hengshen с целью оценки возможности их применения в производстве препрегов углепластиков типа ВКУ-25 и ВКУ-29 проведены испытания углеродных волокон и микропластиков на их основе, а также сравнение полученных результатов с зарубежным аналогом – углеродным волокном HTS-45 12К фирмы Toho Tenax (Япония). Результаты исследований представлены в табл. 5.

Установлено, что по значениям линейной плотности, содержания аппрета, предела прочности при растяжении и модуля упругости при растяжении углеродное волокно SYT49(S)-12K

Таблица 2

**Результаты испытаний экспериментальных образцов из углепластика ВКУ-25/UMT49
при температуре 20°C в сравнении с аналогом**

Свойства	Значения свойств* для углепластика	
	марки ВКУ-25/UMT49 на основе жгутового наполнителя из волокна Umatex UMT49-12К-EP фирмы ООО «Алабуга-Волокно»	аналога – марки ВКУ-25 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродного жгута HTS-45 12К фирмы Toho Tenax
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{1830-1890}{1870}$	$\frac{2030-2270}{2180}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{126-128}{127}$	$\frac{120-145}{135}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{1000-1050}{1030}$	$\frac{1120-1250}{1190}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{88-89}{88}$	$\frac{84-92}{88}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 3

**Результаты испытаний экспериментальных образцов
из углепластика ВКУ-29/UMT49.200 при температуре 20°C в сравнении с аналогом**

Свойства	Значения свойств* для углепластика	
	марки ВКУ-29/UMT49.200 на основе однонаправленной ткани УТ-1000-205-12К из волокна Umatex UMT49-12К-EP фирмы ООО «Алабуга-Волокно»	аналога – марки ВКУ-29 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродной ткани фирмы Porcher арт. 4510 из углеродного жгута HTS40 12К фирмы Toho Tenax
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{1800-1840}{1820}$	$\frac{1830-1990}{1910}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{105-115}{110}$	$\frac{106-145}{123}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{900-915}{910}$	$\frac{920-1050}{990}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{75-76}{76}$	$\frac{77-84}{80}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 4

**Результаты испытаний экспериментальных образцов из углепластика ВКУ-39/UMT40.200
при температуре 20°C в сравнении с аналогом**

Свойства	Значения свойств* для углепластика	
	марки ВКУ-39/UMT40.200 на основе равнопрочной ткани УТ-1000-200 из волокна Umatex UMT40-3К-EP фирмы ООО «Алабуга-Волокно»	аналога – марки ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и ткани фирмы Porcher арт. 3692 из углеродного жгута HTA40 3К фирмы Toho Tenax
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{755-780}{770}$	$\frac{750-800}{780}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{66-70}{68}$	$\frac{64-68}{65}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{680-700}{690}$	$\frac{680-780}{720}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{65-70}{68}$	$\frac{67-78}{73}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

**Результаты испытаний образцов из углеродных волокон производства КНР
и микропластиков на их основе**

Свойства	Значения свойств* для углеродного волокна марки		
	SYT49(S)-12K фирмы Zhongfu Shen Ying (КНР)	HF30-12K фирмы Jiangsu Hengshen (КНР)	зарубежного аналога – HTS-45 12K фирмы Toho Tenax (Япония)
Содержание аппрета, % (ASTM C613-14)	<u>1,1–1,3</u> 1,2	<u>1,1–1,2</u> 1,1	<u>1,2–1,3</u> 1,2
Линейная плотность, текс (ASTM D3776)	<u>789–793</u> 791	<u>779–782</u> 781	<u>790–794</u> 792
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D4018-17)	<u>4030–4540</u> 4270	<u>4140–4510</u> 4270	<u>3900–4310</u> 4125
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D4018-17)	<u>240–257</u> 247	<u>221–249</u> 236	<u>235–251</u> 243
Относительное удлинение, % (ASTM D4018-17)	<u>2,2–2,9</u> 2,4	<u>1,7–2,2</u> 2,0	<u>1,8–2,2</u> 2,1

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

находится на уровне свойств аналога – углеродного волокна HTS-45 12K. Относительное удлинение – на 14% выше по сравнению с аналогом. По значениям линейной плотности, предела прочности при растяжении, модуля упругости при растяжении и относительного удлинения углеродное волокно HF30-12K находится на уровне свойств аналога – углеродного волокна HTS-45 12K. Содержание аппрета для углеродного волокна HF30-12K на 8% ниже, а относительное удлинение на 11% выше по сравнению с аналогом.

По техническим требованиям ФГУП «ВИАМ» фирмой Beijing ORIT Co. Ltd изготовлены углеродные тканые наполнители, альтернативные наполнителям фирмы Porcher Ind., из углеродного волокна обеих рассматриваемых фирм-производителей КНР.

На автоматизированной пропиточной установке Coatema BL-2800 изготовлены экспериментальные партии препрегов углепластиков типа ВКУ-29, ВКУ-39 и ВКУ-25 на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей из углеродных волокон производства КНР (от каждого альтернативного производителя):

1. Производитель №1 – фирма Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd – опробованы углеродные волокна SYT45-3K и SYT49(S)-12K в экспериментальных образцах препрегов и углепластиков:

– типа ВКУ-39 на основе углеродной равнопрочной ткани саржевого плетения арт. CCT205 из углеродного волокна SYT45-3K – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692 из углеродного жгута HTA40 3K фирмы Toho Tenax (Япония);

– типа ВКУ-29 на основе углеродной однонаправленной ткани полотняного плетения арт. CPP205 из углеродного волокна SYT49(S)-12K – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510 из углеродного жгута HTS40 12K фирмы Toho Tenax (Япония);

– типа ВКУ-25 (присвоена марка ВКУ-25/SYT49S) на основе углеродного жгутового наполнителя из углеродного волокна SYT49(S)-12K – аналога углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax;

2. Производитель №2 – фирма Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd – опробованы углеродные волокна HF10-3K и HF30-12K в экспериментальных образцах препрегов и углепластиков:

– типа ВКУ-39 на основе углеродной равнопрочной ткани саржевого плетения CCT205 из углеродного волокна HF10-3K – аналога ткани фирмы Porcher арт. 3692;

– типа ВКУ-29 на основе углеродной однонаправленной ткани полотняного плетения арт. CPP205 из углеродного волокна HF30-12K – аналога ткани фирмы Porcher арт. 4510;

– типа ВКУ-25 (присвоена марка ВКУ-25/HF30S) на основе углеродного жгутового наполнителя из углеродного волокна HF30-12K – аналога углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax.

Из полученных препрегов изготовлены образцы из углепластиков с укладкой [0°] и исследованы их свойства. Результаты исследований представлены в табл. 6–8.

По уровню свойств экспериментальные образцы из углепластиков типа ВКУ-39, ВКУ-29 и ВКУ-25 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей из углеродных волокон фирм Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd и Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) не уступают и даже превосходят аналоги – углепластики ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей фирм Porcher Ind. и Toho Tenax.

Изготовленные фирмой Beijing ORIT Co. Ltd (КНР) тканые наполнители соответствуют по техническим требованиям разработанным во

Таблица 6

Свойства экспериментальных образцов из углепластика типа ВКУ-39 на основе волокон производства КНР при температуре 20°C в сравнении с аналогом

Свойства	Значения свойств* углепластика		
	типа ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и равнопрочной углеродной ткани арт. ССТ205 из углеродного волокна марки		русского аналога – ВКУ-39 на основе ткани фирмы Porcher арт. 3692 из углеродного жгута HTA40 3K фирмы Toho Tenax
	SYT45-3K	HF10-3K	
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{990-1070}{1020}$	$\frac{930-1090}{1010}$	$\frac{750-800}{780}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{68-73}{70}$	$\frac{67-73}{70}$	$\frac{64-68}{65}$
Относительное удлинение при растяжении, % (ASTM D3039)	$\frac{1,4-1,4}{1,4}$	$\frac{1,3-1,4}{1,4}$	$\frac{1,3-1,3}{1,2}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{720-790}{750}$	$\frac{690-790}{740}$	$\frac{680-780}{720}$
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ASTM D6641)	$\frac{55-63}{60}$	$\frac{55-61}{58}$	$\frac{52-58}{54}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{65-70}{67}$	$\frac{68-73}{71}$	$\frac{67-78}{73}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 7

Свойства экспериментальных образцов из углепластиков типа ВКУ-29 на основе волокон производства КНР при температуре 20°C в сравнении с аналогом

Свойства	Значения свойств* углепластика		
	типа ВКУ-29 на основе связующего ВСЭ-1212 и однонаправленной углеродной ткани арт. СРР205 из углеродного волокна марки		русского аналога – ВКУ-29 на основе углеродной ткани фирмы Porcher арт. 4510 из углеродного жгута HTS40 12K фирмы Toho Tenax
	SYT49(S)-12K	HF30-12K	
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{1930-2050}{1990}$	$\frac{1990-2130}{2050}$	$\frac{1830-1990}{1910}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{115-121}{119}$	$\frac{118-130}{123}$	$\frac{106-145}{123}$
Относительное удлинение при растяжении, % (ASTM D3039)	$\frac{1,2-1,5}{1,3}$	$\frac{1,2-1,5}{1,4}$	$\frac{1,3-1,5}{1,3}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{950-1010}{980}$	$\frac{960-1090}{1000}$	$\frac{920-1050}{990}$
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ASTM D6641)	$\frac{114-118}{116}$	$\frac{115-123}{118}$	$\frac{104-116}{110}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{81-94}{87}$	$\frac{84-97}{91}$	$\frac{77-84}{80}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Таблица 8

Свойства экспериментальных образцов из углепластиков типа ВКУ-25 на основе волокон производства КНР при температуре 20°C в сравнении с аналогом

Свойства	Значения свойств* углепластика		
	типа ВКУ-25 на основе связующего ВСЭ-1212 и жгутового наполнителя из углеродного волокна марки		русского аналога – ВКУ-25 на основе углеродного жгута HTS-45 12K фирмы Toho Tenax
	SYT49(S)-12K	HF30-12K	
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	$\frac{2010-2320}{2190}$	$\frac{2010-2440}{2180}$	$\frac{2030-2270}{2180}$
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	$\frac{141-170}{149}$	$\frac{141-172}{150}$	$\frac{120-145}{135}$
Относительное удлинение при растяжении, % (ASTM D3039)	$\frac{1,4-1,7}{1,6}$	$\frac{1,5-1,8}{1,7}$	$\frac{1,5-1,8}{1,6}$
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	$\frac{1090-1320}{1190}$	$\frac{1110-1510}{1290}$	$\frac{1120-1250}{1190}$
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ASTM D6641)	$\frac{107-113}{110}$	$\frac{115-123}{120}$	$\frac{95-130}{115}$
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	$\frac{108-110}{109}$	$\frac{104-114}{110}$	$\frac{84-92}{88}$

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

**Свойства образцов из углепластика марки ВКУ-39/ВТкУ-2.200
в сравнении с аналогом (средние значения)**

Свойства	Значения свойств углепластика	
	ВКУ-39/ВТкУ-2.200 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродного наполнителя ВТкУ-2.200 из углеродного волокна SYT45-3К	русского аналога – ВКУ-39 на основе ткани Porcher арт. 3692 из углеродного жгута HTA40 3К
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	840	780
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	58	65
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	745	720
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ASTM D6641)	73	54
Предел прочности при изгибе, МПа (ASTM D 7264)	1000	750
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ASTM D 7264)	60	50
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	75	73

ФГУП «ВИАМ» тканым углеродным армирующим наполнителям: однонаправленной ткани ВТкУ-3 из углеродного волокна SYT49(S)-12K (аналога однонаправленной ткани фирмы Porcher Ind. арт. 4510) и равнопрочной ткани ВТкУ-2.200 из углеродного волокна SYT45-3K (аналога равнопрочной ткани фирмы Porcher арт. 3692).

Результаты свойств углепластиков типа ВКУ-39 и ВКУ-29 на основе тканых углеродных армирующих наполнителей ВТкУ-2.200 и ВТкУ-3 (производства ФГУП «ВИАМ») из углеродных волокон SYT49(S)-12K и SYT45-3K (производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd) и связующего ВСЭ-1212 соответственно представлены в табл. 9 и 10.

**Свойства образцов из углепластика ВКУ-29/ВТкУ-3
в сравнении с аналогом (средние значения)**

Свойства	Значения свойств углепластика	
	ВКУ-29/ВТкУ-3 на основе связующего ВСЭ-1212 и однонаправленной углеродной ткани ВТкУ-3 из углеродного волокна SYT49(S)-12K	русского аналога – ВКУ-29 на основе углеродной ткани фирмы Porcher арт. 4510 из углеродного жгута HTS40 12K
Предел прочности при растяжении, МПа (ASTM D3039)	2290	1910
Модуль упругости при растяжении, ГПа (ASTM D3039)	144	121
Предел прочности при сжатии, МПа (ASTM D6641)	1070	990
Модуль упругости при сжатии, ГПа (ASTM D6641)	123	110
Предел прочности при изгибе, МПа (ASTM D7264)	2055	1300
Модуль упругости при изгибе, ГПа (ASTM D7264)	125	100
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D2344)	83	80

Таблица 11

Основные свойства стеклоткани типа 7781-14 в сравнении с аналогом

Ткань (производитель)	Ширина, мм	Переплетение	Число нитей (по основе/по утку)	Структура нити	Масса на единицу площади, г/м ²	Аппрет
7781-14 (ОАО «Полоцк-Стекловолокно»)	1000	Сатин 8/3	22,0/21,5	ЕС7 34×2	296±15	14
Porcher арт. 7781 (Porcher Ind.)	1000	Сатин Н8	22,9/21,1	ЕС6 68	296±10	К506

Согласно данным, представленным в табл. 9, по прочности при растяжении образцы из углепластика ВКУ-39/ВТкУ-2.200 превосходят российский аналог – углепластик ВКУ-39 (на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродной ткани фирмы Porcher арт. 3692) – на 45%, по модулю упругости при растяжении – на 32%, по прочности при сжатии – на 24%, по прочности при изгибе – на 64%, по модулю упругости при изгибе – на 38%, а по прочности при межслойном сдвиге находятся на его уровне.

Показано, что по прочности при растяжении образцы из углепластика ВКУ-29/ВТкУ-3 превосходят российский аналог – углепластик ВКУ-29 (на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродной ткани фирмы Porcher арт. 4510) – на 43%, по модулю упругости при растяжении – на 31%, по прочности при сжатии – на 7%, по прочности при изгибе – на 58%, по модулю упругости при изгибе – на 25% и по прочности при межслойном сдвиге – на 19% (табл. 10).

Экспериментальные исследования по разработке стеклопластика типа ВПС-48/7781 на основе стеклоткани арт. 7781 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно»

С целью оценки возможности применения стеклоткани типа 7781-14 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (ТУ ВУ 300059047.111–2018) при изготовлении стеклопластика типа ВПС-48/7781, проведено сравнение ее характеристик с характеристиками стеклоткани Porcher арт. 7781 (ТУ 5774-006-37827480–2013) производства фир-

мы Porcher Ind. Значения сравнительных характеристик представлены в табл. 11.

Из представленных в табл. 11 данных видно, что основные характеристики стеклоткани типа 7781-14 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» находятся на уровне характеристик стеклоткани Porcher арт. 7781 производства фирмы Porcher Ind.

На автоматизированной пропиточной установке Coatema BL-2800 изготовлена экспериментальная партия препрега стеклопластика типа ВПС-48/7781 на основе связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани типа 7781-14 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

Из полученной экспериментальной партии препрега по отработанным режимам изготовлены образцы из стеклопластика и определены их основные физико-механические свойства – плотность, предел прочности и модуль упругости при растяжении при температуре испытаний 20°C, а также предел прочности при сдвиге при температурах испытаний 20 и 120°C. В табл. 12 представлены значения указанных характеристик стеклопластика на основе стеклянной ткани арт. 7781-14 в сравнении с результатами испытаний стеклопластика на основе стеклянной ткани арт. 7781 производства фирмы Porcher Ind.

Установлено, что по уровню основных физико-механических характеристик экспериментальные образцы из стеклопластика типа ВПС-48/7781 на основе связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани типа 7781-14 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» находятся на уровне свойств материала-аналога – стеклопластика ВПС-48/7781 на основе связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани арт. 7781 производства фирмы Porcher Ind.

Таблица 12

Свойства экспериментальных образцов из стеклопластика типа ВПС-48/7781 на основе стеклоткани производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» в сравнении с аналогом

Свойства	Температура испытания, °С	Значения свойств* стеклопластика ВПС-48/7781	
		экспериментальных образцов	на основе стеклянной ткани фирмы Porcher арт. 7781
Плотность, г/см ³	20	1,89–1,93	1,87–1,91
		1,91	1,89
Предел прочности при растяжении, МПа	20	440–490	425–475
		460	450
Модуль упругости при растяжении, ГПа	20	24–25	27–30
		24	29
Предел прочности при сдвиге (короткая балка), МПа	20	54–62	65–73
	120	59	71
		44–48	50–54
		45	53

* В числителе – минимальные и максимальные значения, в знаменателе – средние.

Заключения

На основании проведенных исследований и анализа в качестве поставщика углеродных волокон, аналогичных углеродным волокнам HTA-40, HTS-45 фирмы Toho Tenax (Япония), выбраны фирма КНР Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd, выпускающая углеродные волокна SYT49(S)-12K, SYT45-3K, и российская фирма ООО «Алабуга-Волокно», выпускающая углеродные волокна марки Umatex, а в качестве поставщика стеклоткани типа 7781 выбрано ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

Проведены исследования механических характеристик экспериментальных образцов ПКМ.

Установлено, что по уровню механических характеристик экспериментальные образцы углепластиков типа ВКУ-39, ВКУ-29 и ВКУ-25:

– на основе наполнителей из российских углеродных волокон Umatex производства ООО «Алабуга-Волокно» и связующего ВСЭ-1212 находятся на уровне и не уступают аналогам – углепластикам ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей фирм Porcher Ind. и Toho Tenax;

– на основе углеродных наполнителей из углеродных

волокон фирм Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd и Jiangsu Hengshen Fiber Material Co. Ltd (КНР) и связующего ВСЭ-1212 не уступают и даже превосходят аналоги – углепластики ВКУ-25, ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей фирм Porcher Ind. и Toho Tenax;

– на основе тканых углеродных армирующих наполнителей ВТкУ-2.200 и ВТкУ-3 (производства ФГУП «ВИАМ») из углеродных волокон SYT49(S)-12K и SYT45-3K (производства фирмы Zhongfu Shen Ying Carbon Fiber Co. Ltd) и связующего ВСЭ-1212 не уступают аналогам – углепластикам ВКУ-29 и ВКУ-39 на основе связующего ВСЭ-1212 и углеродных наполнителей фирм Porcher Ind. и Toho Tenax.

Установлено также, что по уровню основных физико-механических характеристик экспериментальные образцы стеклопластика на основе связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани типа 7781-14 производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» находятся на уровне материала аналога – стеклопластика ВПС-48/7781 на основе связующего ВСЭ-1212 и стеклоткани арт. 7781 производства фирмы Porcher Ind.

ЛИТЕРАТУРА

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. Сидорина А.И., Гуляева А.Г. Рынок углеродных волокон и композитов на их основе (обзор) // *Химические волокна*. 2016. №4. С. 48–53.
4. Курносоев А.О., Вавилова М.И., Мельников Д.А. Технологии производства стеклянных наполнителей и исследование влияния аппретирующего вещества на физико-механические характеристики стеклопластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. №1 (50). С. 64–70. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-64-70.
5. Каблов Е.Н. Тенденции и ориентиры инновационного развития России: сб. науч.-информ. материалов. 3-е изд. М.: ВИАМ, 2015. 720 с.
6. Душин М.И., Донецкий К.И., Караваев Р.Ю. Установление причин образования пористости при изготовлении ПКМ // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2016. №6. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 13.04.2018). DOI: 10.18555/2307-6046-2016-0-6-8-8.
7. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // *Пермские авиационные двигатели: информ. бюл.* 2014. №31. С. 43–47.
8. Соколов И.И., Раскутин А.Е. Углепластики и стеклопластики нового поколения // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №4. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.04.2018).
9. Мишуров К.С., Файзрахманов Н.Г., Иванов Н.В. Влияние внешней среды на свойства углепластика ВКУ-29 // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №8. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.04.2018). DOI: 10.18557/2307-6046-2017-0-8-8-8.
10. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
11. Конкин А.А. Углеродные волокна и другие жаростойкие волокнистые материалы. М: Химия, 1974. 376 с.
12. Зеленский Э.С., Куперман А.М., Горбаткина Ю.А. и др. Армированные пластики – современные конструкционные материалы // *Российский химический журнал*. 2001. Т. XLV. №2. С. 56–74.
13. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2015. 720 с.
14. Валуева М.И., Зеленина И.В., Хасков М.А., Гуляев А.И. Подготовка углеродного волокна к нанесению интерфазного покрытия для композиционных материалов с керамической матрицей // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2017. №10. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 08.04.2018). DOI: 10.18557/2307-6046-2017-0-10-9-9.
15. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. М.: САЙНС-ПРЕСС, 2007. 192 с.
16. Бобович Б.Б. Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение). М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. 400 с.