

УДК 687.057.94/088.8

doi: 10.18698/0536-1044-2022-11-38-46

# Новый подход к технологии изготовления длинномерных полых изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов

**С.Н. Саяпин**

ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН»

## A New Approach to the Manufacturing Technology of Long Hollow Products Made of Fibrous Polymer Composite Materials

**S.N. Sayapin**

Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Проведен анализ основных типов оправок, применяемых для изготовления полых изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ) методом намотки на оправку. Рассмотрена проблема технологии изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ методом намотки на неразборную оправку. Предложен и отработан новый подход к технологии изготовления длинномерных изделий из ВПКМ на неразборной оправке многократного использования, выполненной в виде стальной бесшовной холоднодеформированной трубы обычной точности и без специальной обработки контактируемой поверхности. Показано, что применение разработанной технологии позволяет повысить качество и экономическую эффективность изделий данного типа. По этой технологии изготовлена и испытана экспериментальная партия длинномерных труб из углепластика КМУ-4Л длиной 3200 мм с наружным и внутренним диаметром 42 и 32 мм соответственно. Предложенный подход можно использовать при изготовлении из ВПКМ не только полых длинномерных стержней, но и полых полукольцевых элементов, также отформованных на неразборной оправке обычной точности.

**Ключевые слова:** волокнистые полимерные композиционные материалы, метод намотки, неразборная оправка, длинномерные полые изделия

The analysis of the main types of mandrels, which are used for the manufacturing the hollow products from fibrous polymer composite materials (FPCM) by winding on a mandrel, has been carried out. The problem of the technology of manufacturing the long-length hollow products from FPCM by winding on a non-separable mandrel is considered. A new approach to the technology of manufacturing long-length products from FPCM on a non-separable reusable mandrel. The mandrel is made in the form of a steel seamless cold-formed pipe of ordinary accuracy and without special treatment of the contact surface is proposed and tested. It is shown, that the application of the developed technology gives the possibility to improve the quality and economic efficiency of products of this type. On the basis of the proposed technology, an experimental batch of long pipes made of CMU-4L carbon fiber plastic with a length of 3200 mm and an outer and inner diameter of 42 and 32 mm, respectively, was manufactured and tested. The proposed approach could be used

for the manufacturing both the hollow long-length rods from FPCM and the hollow semi-circular elements, that are molded also on a non-separable mandrel of ordinary accuracy.

**Keywords:** fibrous polymer composite materials, winding method, non-separable mandrel, long hollow products

Для изготовления отечественных длинномерных полых элементов космических конструкций широко применяют волокнистые полимерные композиционные материалы (ВПКМ) с терморезактивными матрицами (реактопластами) на основе отвержденных эпоксидных связующих, обладающих повышенными упругопрочностными свойствами.

К высокомодульным ВПКМ относятся углепластики серии КМУ-4 на основе различных углеродных наполнителей и эпоксидного связующего ЭНФБ. Армирующие наполнители пропитывают связующим ЭНФБ с целью получения высокопрочных теплостойких ВПКМ (угле-, стекло- и органопластиков), из которых изготавливают детали и изделия, работающие при температуре до 150 °С [1–6].

В работе [1] отмечено, что для производства длинномерных полых изделий из ВПКМ используют такие методы, как намотка и пултрузия. Намотку, относящуюся к самым распространенным методам изготовления деталей из непрерывных волокон, применяют для последовательных процессов пропитки и формования заготовок данной формы.

В пултрузионном процессе операции пропитки, формования преформ и формирования изделий совмещены. Пултрузия — технология изготовления композитных длинномерных элементов малого диаметра с неизменным поперечным сечением. Здесь, проходя через разогретую формообразующую фильеру (+140 °С), вытягиваются детали, как правило, из стекловолокнутой материи, пропитанной терморезактивной смолой.

Технологический процесс пултрузии заключается в следующем. Волокнистые нити, как правило, из стекловолокна с катушек подаются в полимерную ванну, где пропитываются тер-

мопластичными смолами. Обработанные волокна проходят через преформовочную установку, нити выравниваются и приобретают нужную форму. Незатвердевший полимер поступает на фильеру. С помощью нескольких нагревателей создается оптимальный режим для полимеризации и выбирается скорость протяжки.

Основными достоинствами метода пултрузии являются:

- высокая производительность (благодаря непрерывному технологическому процессу);
- автоматизация технологического процесса (вследствие отсутствия ручного труда);
- закрытый процесс пропитки волокна;
- хорошие структурные свойства ВПКМ (так как профили имеют направленные волокна и высокое содержание наполнителя).

Главными недостатками метода пултрузии являются:

- очень высокая стоимость пултрузионной машины;
- ограниченное число связующих, которые можно отвердить за относительно малый промежуток времени;
- ограничение на геометрическую форму производимых изделий, которая, как правило, представляет собой профили различной формы сечения.

Вследствие длительности процесса полимеризации для изготовления изделий из углеродных волокон или лент, пропитанных эпоксидным связующим ЭНФБ, метод пултрузии практически не применяют.

В работе [7] дана сравнительная оценка разных методов формования изделий из ВПКМ в баллах от 1 до 10 (см. таблицу).

Таким образом, для изготовления длинномерных полых изделий из высокомодульных

**Основные характеристики методов формования изделий из ВПКМ**

Метод формования	Стоимость оборудования	Производительность	Прочность изделий	Квалификация рабочих	Сложность изделий
	баллы				
Намотка волокна (ленты)	6	6	10	2	4
Пултрузия	7	9	9	2	2

ВПКМ на основе эпоксидного связующего горячего отверждения ЭНФБ предпочтительнее использовать метод намотки.

Технология формования полых изделий из ВПКМ с термореактивными матрицами на основе эпоксидных связующих методом намотки включает в себя следующие основные операции [1–4, 8]:

- изготовление оправки;
- нанесение на оправку антиадгезионного слоя;
- намотку–выкладку препрега;
- нанесение на уложенный препрег антиадгезионного слоя;
- опрессовку уложенного препрега на оправке;
- отверждение препрега на оправке в печи при заданных температурных режимах;
- извлечение оправки на кабестанах или других приспособлениях.

Важной операцией этой технологии является оправка. Основные типы оправок, применяемых для изготовления полых изделий из

ВПКМ методом намотки [8, 9], приведены на рис. 1.

Рассмотрим особенности каждого типа оправок в части возможности их эффективного применения для изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ. Длинномерными полыми условимся считать изделия прямолинейного трубчатого профиля, у которых  $L \gg D$ , где  $L$  и  $D$  — длина и внутренний диаметр.

**Неразборные оправки** (рис. 1, *a, б*) применяют при производстве оболочковых деталей, конфигурация (цилиндр, конус) которых допускает их извлечение после полимеризации.

Достоинства неразборных оправок: технологичность, относительно низкая стоимость, возможность многократного использования, максимальная точность и высокое качество внутренней поверхности получаемого изделия, удобство в эксплуатации.

Недостатки неразборных оправок: большое усилие извлечения оправки из готового изделия (вызванное его опрессовкой и усадочными

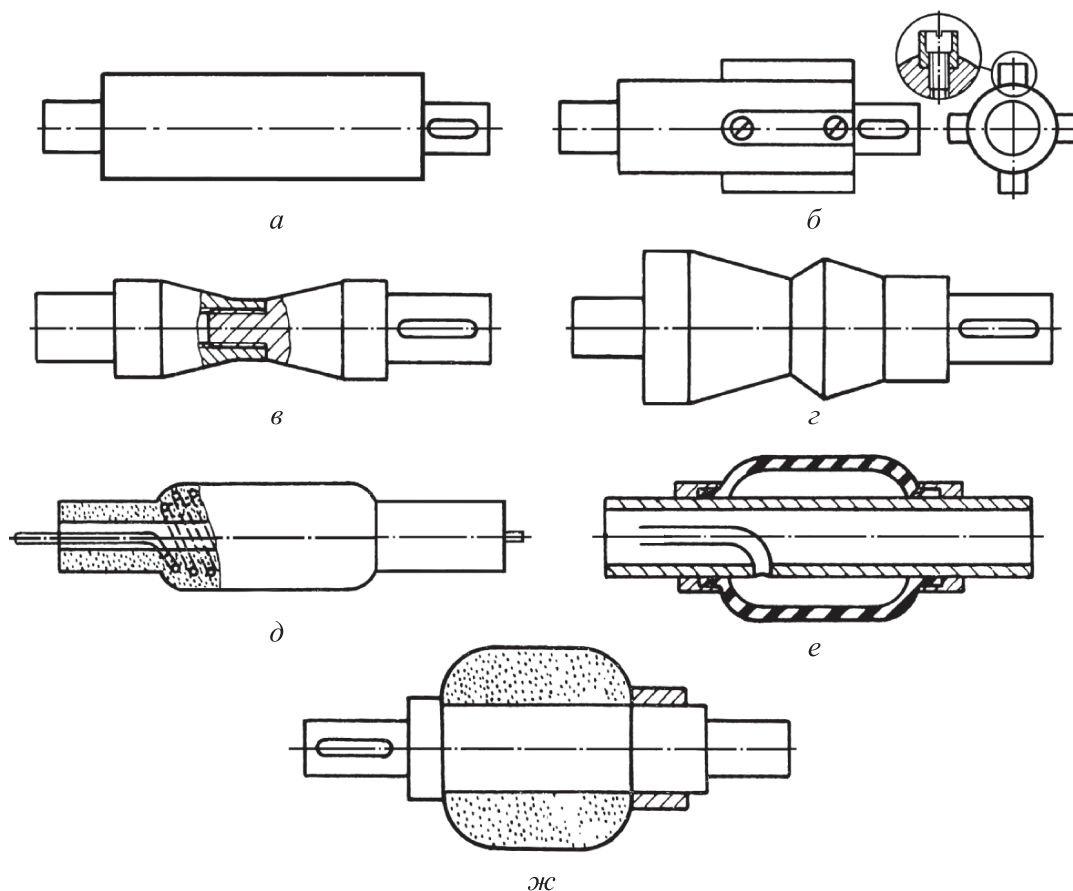


Рис. 1. Схемы оправок:  
*a* и *б* — цельных и составных неразборных; *в* — разборных; *г* — выплавляемых и растворяемых;  
*д* — разрушаемых; *е* — надувных; *ж* — комбинированных

напряжениями при полимеризации связующего), необходимость применения специальных устройств (кабестанов, лебедок, прессов и т. п.), невозможность изготовления изделий со ступенчатым переменным профилем по длине, высокая трудоемкость изготовления длинномерной оправки вследствие высоких требований к соосности, качеству точности и чистоте обработки контактируемой поверхности при низкой поперечной жесткости.

При длине  $L = 3500$  мм и внутреннем диаметре  $D = 32$  мм (т. е.  $L \gg D$ ) извлечение оправки способно привести к разрушению изделия или самой оправки для толстостенного профиля.

**Разборные оправки** (рис. 1, в) используют для формования изделий сложной конфигурации, когда их осевое извлечение является невозможным без расчленения на отдельные элементы. По сравнению с неразборными оправками разборные легче извлечь, но они значительно дороже, менее удобны в эксплуатации и требуют больше времени на сборку и подготовку к повторному применению.

С учетом невозможности поворота одной половины относительно другой при изготовлении длинномерных изделий следует выполнять их осевую стяжку (на рис. 1, в не показано). В остальном разборные оправки имеют достоинства и недостатки, аналогичные неразборным.

**Выплавляемые и растворяемые оправки** (рис. 1, з) применяют при формовании изделий, геометрия которых не позволяет задействовать неразъемные оправки, а также в тех случаях, когда разборные оправки являются неэкономичными вследствие высокой стоимости. Такие оправки используют при невысоких требованиях к качеству формируемых поверхностей. Требуется утилизация выплавляемого (растворяемого) материала, что снижает экологичность метода. Поэтому выплавляемые и растворяемые оправки нецелесообразно применять для изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ.

**Разрушаемые оправки** (рис. 1, д) используют при производстве оболочек сложной конфигурации, которые невозможно выполнить с помощью разборных оправок. В качестве разрушаемого материала выступает, как правило, гипс. Одноразовое применение разрушаемых

оправок резко повышает стоимость технологической оснастки и трудоемкость ее изготовления. Требуется утилизация разрушаемого материала, что снижает экологичность метода. Поэтому разрушаемые оправки нецелесообразно применять для изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ.

**Надувные оправки** (рис. 1, е) многообразного использования предназначены для производства оболочек сложной конфигурации. Для придания жесткости эластичную оболочку соответствующего контура заполняют сжатым воздухом, жидкостью или сыпучим веществом. После формования и отверждения изделия из ВПКМ воздух стравливают (жидкость или сыпучее вещество удаляют), и эластичную оболочку легко извлекают из полости изделия.

Недостатки надувных оправок: низкая точность контактируемой поверхности и невозможность использования для намотки некоторых технологических методов (например, токарной намотки) из-за трудности передачи крутящего момента. Поэтому применение надувных оправок для изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ является нецелесообразным.

**Комбинированные оправки** (рис. 1, ж). К ним относятся разборно-выплавляемые оправки, которые должны отвечать следующим требованиям: иметь соответствующие заданным значениям для изделия из ВПКМ точность и чистоту рабочих поверхностей и сохранять их в пределах допуска на всех стадиях технологического процесса, выдерживать все технологические нагрузки (контактное давление, технологическое натяжение, крутящий момент и др.) при формовании изделия, противостоять (не разрушаясь) воздействию связующего и температуры, допускать удаление из изделия, не вызывая при этом его разрушения или изменения качественных характеристик.

Недостатки комбинированных оправок аналогичны таковым для разборных и выплавляемых оправок. Поэтому комбинированные оправки нецелесообразно применять для изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ.

Кроме того, общим недостатком всех видов извлекаемых или разрушаемых оправок является то, что после их извлечения из отвержденного изделия нарушается технологическое равно-

весие системы, и остаточные внутренние напряжения в ВПКМ трансформируются в геометрические изменения форм поверхностей и конфигурации изделий, т. е. происходит коробление стенок [8].

Цель статьи — разработка технологии изготовления путем намотки на неразборную оправку длинномерных полых изделий постоянного и переменного (ступенчатого) профиля, а также полукольцевых полых конструкций замкнутого профиля, выполненных из ВПКМ.

Для достижения поставленной цели создана и реализована новая технология изготовления длинномерных полых изделий, которая не имеет перечисленных недостатков [10, 11]. Также показана возможность изготовления подобным образом полукольцевых полых изделий замкнутого профиля.

В состав крупногабаритных космических конструкций, например опорной системы прецизионных зеркальных антенн, входят длинномерные трубчатые элементы из высокомодульных ВПКМ, обеспечивающих максимальный модуль упругости в продольном направлении. Для этого используют симметричную схему армирования с минимальным количеством радиальных или квазирадиальных и максимальным количеством продольных слоев.

Радиальные слои служат для предотвращения растрескивания изделия типа «китайского

фонарика», продольные слои обеспечивают осевую жесткость. В отличие от непрерывных продольных слоев радиальные или квазирадиальные можно выполнить однослойными с разрывами (например, в виде коротких участков труб из того же материала) без ухудшения механических характеристик трубы.

Эта особенность положена в основу предлагаемого нового подхода к технологии изготовления длинномерных полых изделий из высокомодульных ВПКМ методом намотки с использованием неразрушаемой оправки [10, 11].

По такой технологии изготовили и испытали экспериментальную партию длинномерных труб из углепластика КМУ-4Л длиной 3200 мм с наружным и внутренним диаметром 42 и 32 мм соответственно (рис. 2, б). Получены следующие характеристики: отклонение от соосности — не более 3 мм; модуль упругости при сжатии — 100 700 МПа; плотность — 1,42 г/см<sup>3</sup> (соответствует углепластику КМУ-4Л); предел прочности при растяжении — не менее 800 МПа; схема армирования:  $+80^{\circ}_1/0^{\circ}_{12}/-80^{\circ}_1/0^{\circ}_{12}/+80^{\circ}_1$ . Здесь нижний индекс указывает на количество слоев, а значения углов соответствуют углам армирования  $\varphi$  (углам между продольной осью оправки и направлением наматываемых или выкладываемых волокон).

Трубчатую оправку с отформованным изделием, показанную на рис. 2, изготавливали по

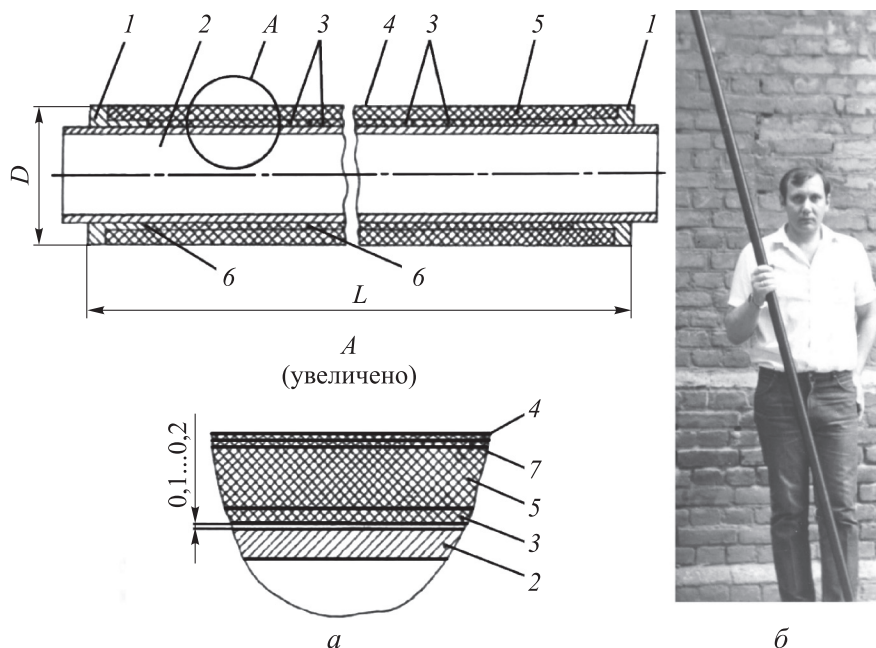


Рис. 2. Схема отформованной на неразборной оправке длинномерной трубы (а) и внешний вид экспериментального образца трубы из углепластика КМУ-4Л длиной 3200 мм с наружным и внутренним диаметром 42 и 32 мм соответственно (б)

предлагаемой технологии следующим образом. Короткие участки углепластиковых труб 3 из КМУ-4Л, выполненные заранее (толщина стенки 0,5...0,6 мм, схема армирования — радиальная), насаживали на длинномерную оправку 2 в виде трубы обычной точности без какой-либо специальной обработки с гарантированным зазором 0,1...0,2 мм (в качестве оправки применяли водопроводную трубу длиной 3500 мм и сечением 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> дюймов без обработки) и зажимали по торцам втулками 1, которые фиксировали на оправке.

Стыки 6 между короткими участками труб и втулками изолировали материалом, через который можно передавать крутящий момент от одного участка к другому и втулке, — пластирем из стеклоткани Э2-62 (ГОСТ 19907-2015) [12], который пропитывали клеем К-300-61 (ОСТ В 6-06-5100-96). При этом следили, чтобы клей не попадал в зазор между короткими участками труб и оправкой.

После отверждения пластирей оправку с герметично соединенными между собой короткими участками труб устанавливали на токарно-винторезном станке 1622 с расстоянием между центрами РМЦ = 2500 мм. При этом один конец оправки зажимали в трехкулачковом патроне передней бабки, а второй — поджимали пинолью с центром задней бабки.

Так как длина оправки (3500 мм) превышала РМЦ (2500 мм), заднюю бабку станка сняли с направляющих станины и установили на выносном пилоне вне станины, а после центровки со шпинделем передней бабки жестко зафиксировали на пилоне. При этом суппорт переместили в крайнее левое положение.

Поверхность втулок покрывали антиадгезионным слоем — резиновой смесью 5р-129 (ТУ 38 0051166-2015), а наружную поверхность коротких участков трубы обезжировали ацетоном. Затем по требуемой схеме армирования вручную осуществляли выкладку на оправке с короткими участками продольных слоев препрега 5 и намотку его радиальных слоев, который опрессовывали через фторопластовую ленту 7 лентой 4 (стеклолентой ЛЭС ГОСТ 5937-81) [13].

Усилия поперечной намотки, пропитанной связующим ЭНФБ (ТУ 1-596-36-2005), углеродной лентой ЛУ-П/0,2-А (ГОСТ 28006-88) [14] и опрессующей лентой составляли не менее 150 и 250 Н соответственно. Усилия контролировали динамометром. Оправку с опрессованным изделием помещали в печь и проводили отвержде-

ние отформованной трубы в соответствии с требуемым температурно-временным режимом.

После отверждения втулки расфиксировывали, снимали опрессовку с фторопластовой лентой и без особых усилий и кабестанов (благодаря наличию гарантированного зазора между короткими участками трубы и оправкой) извлекали оправку и втулки.

Следует отметить, что в процессе полимеризации изделия усадочные напряжения воспринимаются короткими участками труб. Поэтому после извлечения оправки система (базовый слой в виде тонкостенных коротких участков и отвержденный препрег) остается в равновесии, т. е. не происходит деформаций (коробления) изделия. При этом базовый слой в виде тонкостенных коротких участков из ВПКМ остается в изделии.

В статье [15] отмечена необходимость введения в схему армирования трубчатого профиля хотя бы одного слоя радиального армирования ( $\varphi = 90^\circ$ ). Таким образом, благодаря радиальной или квазирадиальной схеме армирования коротких участков трубы последние не являются балластом в длинномерном изделии, а выполняют вполне определенную функцию по повышению его несущей способности. Чтобы изготовить по описанной технологии трубы большей длины, следует использовать люнет.

Указанные длинномерные изделия целесообразно применять в тех конструкциях, где нежелательны элементы стыковки, например в опорах облучателей параболических и других антенн, внутри которых должны проходить коммуникации, а наличие соединительных фланцев является нежелательным.

Экспериментальные исследования позволили отработать и внедрить в производство новый подход к технологии изготовления длинномерных полых изделий из ВПКМ, обеспечивающий по сравнению с известными технологиями следующие преимущества:

- повышение геометрической точности выполнения полых изделий из ВПКМ путем исключения коробления после извлечения оправки;
- снижение трудоемкости изготовления оправки и отказ от необходимости применения специальной оснастки (кабестанов и др.) для ее извлечения;
- возможность свободного извлечения оправки вручную из отвержденного изделия без специальной оснастки (кабестанов).

## Выводы

1. Применение разработанной технологии позволяет повысить качество и экономическую эффективность изделий рассмотренного типа.

2. Предложенный подход можно использовать при изготовлении из ВПКМ не только полых длинномерных стержней, но и полых полукольцевых элементов, также отформованных на неразборной оправке обычной точности.

## Литература

- [1] Михайлин Ю.А. *Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике*. Санкт-Петербург, Научные основы и технологии, 2013. 720 с.
- [2] Аккуратов И.Л., Алямовский А.И., Давыдов Д.А. и др. Опыт разработки и изготовления корпусных элементов оптико-электронного модуля космического аппарата из композиционных материалов. *Космическая техника и технологии*, 2014, № 1, с. 92–100.
- [3] Биткин В.Е., Жидкова О.Г., Комаров В.А. Выбор материалов для изготовления размеростабильных несущих конструкций. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2018, т. 17, № 1, с. 100–117, doi: <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2018-17-1-100-117>
- [4] Комков М.А., Тарасов В.А. *Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 431 с.
- [5] Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А. и др. Конструкционные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2012, № 5, с. 101–105.
- [6] Гуняев Г.М., Сорина Т.Г., Хорошилова И.П. и др. Конструкционные эпоксидные углепластики. *Авиационная промышленность*, 1984, № 12, с. 41–45.
- [7] Казаков И.А. *Разработка технологии непрерывного формования осесимметричных композитных изделий методом пултрузии*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, МГТУ СТАНКИН, 2016. 186 с.
- [8] Цыплаков О.Г. *Научные основы технологии композиционно-волоконистых материалов*. Ч. 1. Пермское кн. изд-во, 1974. 317 с.
- [9] Сурков А.А., Коноплин А.Ю. Анализ видов оправок используемых при изготовлении полых деталей машин из полимерных композиционных материалов. *Новые материалы и технологии в машиностроении*, 2019, № 29, с. 100–103.
- [10] Саяпин С.Н., Евтов В.Д., Битушан Е.И. и др. *Способ изготовления полых изделий из композиционных материалов*. Патент СССР 1666336. Заявл. 27.07.1988, опубл. 30.07.1991.
- [11] Саяпин С.Н. *Анализ и синтез раскрываемых на орбите прецизионных крупногабаритных механизмов и конструкций космических радиотелескопов лепесткового типа*. Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, ИМАШ РАН, 2003. 446 с.
- [12] ГОСТ 19907–2015. *Ткани электроизоляционные из стеклянных крученых комплексных нитей*. Москва, Стандартинформ, 2015. 9 с.
- [13] ГОСТ 5937–81. *Ленты электроизоляционные из стеклянных крученых комплексных нитей. Технические условия*. Москва, Издательство стандартов, 2002. 7 с.
- [14] ГОСТ 28006–88. *Лента углеродная конструкционная. Технические условия*. Москва, Издательство стандартов, 1989. 14 с.
- [15] Хитров В.В., Катаржнов О.И. Технологически е способы повышения несущей способности сжимаемых стержней из композитов. *Механика композитных материалов*, 1985, № 2, с. 316–322.

## References

- [1] Mikhaylin Yu.A. *Voloknistye polimernye kompozitsionnye materialy v tekhnike* [Polymer fiber composites in technics]. Sankt-Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2013. 720 p. (In Russ.).

- [2] Akkuratov I.L., Alyamovskiy A.I., Davydov D.A. et al. An attempt to develop and build composite structural elements for an electro-optical module of a spacecraft. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space Technique and Technologies], 2014, no. 1, pp. 92–100. (In Russ.).
- [3] Bitkin V.E., Zhidkova O.G., Komarov V.A. Choice of materials for producing dimensionally stable load-carrying structures. *Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie* [Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering], 2018, vol. 17, no. 1, pp. 100–117, doi: <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2018-17-1-100-117> (in Russ.).
- [4] Komkov M.A., Tarasov V.A. *Tekhnologiya namotki kompozitnykh konstruktsey raket i sredstv porazheniya* [Technology for spinning of composite constructions of rockets and weapons]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2011. 431 p. (In Russ.).
- [5] Popov N.N., Filonov A.S., Dontsov G.A. et al. Construction materials for optical modules of remote Earth sensing apparatus. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2012, no. 5, pp. 101–105. (In Russ.).
- [6] Gunyaev G.M., Sorina T.G., Khoroshilova I.P. et al. Epoxide construction carbon composites. *Aviatsionnaya promyshlennost'*, 1984, no. 12, pp. 41–45. (In Russ.).
- [7] Kazakov I.A. *Razrabotka tekhnologii nepreryvnogo formovaniya osesimmetrichnykh kompozitnykh izdeliy metodom pultruzii*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of technology for continuous spinning of composite parts with axial symmetry by pultrusion method. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, MGTU STANKIN Publ., 2016. 186 p. (In Russ.).
- [8] Tsyplakov O.G. *Nauchnye osnovy tekhnologii kompozitsionno-voloknistykh materialov*. Ch. 1 [Scientific foundations of fibered composites technology. P. 1]. Permskoe kn. izd-vo Publ., 1974. 317 p. (In Russ.).
- [9] Surkov A.A., Konoplin A.Yu. Analysis of the types of tooling used in the manufacture of hollow machine parts from polymeric composite materials. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii*, 2019, no. 29, pp. 100–103. (In Russ.).
- [10] Sayapin S.N., Evtov V.D., Bitushan E.I. et al. *Sposob izgotovleniya polykh izdeliy iz kompozitsionnykh materialov* [Method for manufacture of hollow composite products]. Patent SU 1666336. Appl. 27.07.1988, publ. 30.07.1991. (In Russ.).
- [11] Sayapin S.N. *Analiz i sintez raskryvaemykh na orbite pretsizionnykh krupnogabaritnykh mekhanizmov i konstruktsey kosmicheskikh radioteleskopov lepestkovogo tipa*. Diss. dok. tekhn. nauk [Analysis and synthesis on the orbit of large precision mechanisms and space radio telescope of leaf-type. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, IMASH RAN Publ., 2003. 446 p. (In Russ.).
- [12] GOST 19907–2015. *Tkani elektroizolyatsionnye iz steklyannykh kruchenykh kompleksnykh nitey* [State standard GOST 19907-2015. Dielectric fabrics made of glass twisted complex threads. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 9 p. (In Russ.).
- [13] GOST 5937–81. *Lenty elektroizolyatsionnye iz steklyannykh kruchenykh kompleksnykh nitey. Tekhnicheskie usloviya* [State standard GOST 5937-81. Insulating tapes of glass twisted complex threads. Specification]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2002. 7 p. (In Russ.).
- [14] GOST 28006–88. *Lenta uglerodnaya konstruksionnaya. Tekhnicheskie usloviya* [State standard GOST 28006–88. Structural carbonic strip. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 14 p. (In Russ.).
- [15] Khitrov V.V., Katarzhnov O.I. Technological methods for raising bearing capacity of a compressional composite rod. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 1985, no. 2, pp. 316–322. (In Russ.).



## Информация об авторе

**САЯПИН Сергей Николаевич** — доктор технических наук, главный научный сотрудник. ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский пер., д. 4, e-mail: S.Sayapin@rambler.ru).

## Information about the author

**SAYAPIN Sergey Nikolaevich** — Doctor of Science (Eng.), Chief Research Worker. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101000, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonyevskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: S.Sayapin@rambler.ru).

### Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Саяпин С.Н. Новый подход к технологии изготовления длинномерных полых изделий из волокнистых полимерных композиционных материалов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 11, с. 38–46, doi: 10.18698/0536-1044-2022-11-38-46

### Please cite this article in English as:

Sayapin S.N. A New Approach to the Manufacturing Technology of Long Hollow Products Made of Fibrous Polymer Composite Materials. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 11, pp. 38–46, doi: 10.18698/0536-1044-2022-11-38-46



## Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана предлагает читателям материалы конференции «Иновационные технологии, оборудование и материалы заготовительных производств в машиностроении»

Сборник трудов посвящен актуальным вопросам создания новых технологий и оборудования заготовительных производств в машиностроении (литейное, кузнечно-штамповочное, прокатно-волочильное производства, высокоэнергетические методы изготовления заготовок), восстановления и упрочнения деталей в машиностроении, триботехники в реновации, модернизации и повышения надежности машиностроительного оборудования, а также проблемам контроля и диагностики деталей и оборудования в машиностроении. В книге отражены результаты исследований, проводимых учеными и специалистами вузов, научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России, Беларуси, Казахстана, Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Словацкой Республики и Китая.

Для преподавателей вузов, молодых ученых, аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Машиностроение», «Материаловедение и технологии материалов», «Проектирование технологических машин и комплексов», а также специалистов научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий, занимающихся разработкой и применением технологий и оборудования заготовительных производств и восстановительных технологий в машиностроении.

### По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://bmstu.press>