

УДК 621

DOI 10.47367/0021-3497_2024_2_69

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДРАПИРУЕМОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ И ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ***

**STUDY OF DRAPABILITY INDICATORS OF TECHNICAL FABRICS
AND THERMOPLASTIC POLYMER COMPOSITE MATERIALS ON THEIR BASIS**

А.Г. ТЕРЕШКОВ, Г.В. МАЛЫШЕВА, А.И. СОЛОВЬЕВ, Ш.И. ДЖАФАРОВА

A.G. TERESHKOV, G.V. MALYSHEVA, A.I. SOLOVIEV, S.I. DZHAFAROVA

(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет))

(Bauman Moscow State Technical University)

E-mail: atereshkov@emtc.ru

В работе проведены экспериментальные исследования драпируемости технических тканей (углеродных, стеклянных и базальтовых) и термопластичных препрегов на их основе. Исследования проводились по методике ГОСТ Р 57470-2017, адаптированной с учетом исследуемых материалов. Приведенная методика позволила количественно оценить технологичность препрегов при использовании термопластичных связующих (полисульфон и полипропилен) и тканевых армирующих наполнителей. Рассмотрены препреги, полученные по разным технологиям: порошковой, растворной и пленочной. Приведены результаты оценки коэффициентов драпируемости термопластичных препрегов на основе различных тканей и изготовленных по различным технологиям и на основании полученных результатов определены рациональные значения технологических параметров, таких как: температурные режимы при выкладке препрега и концентрация раствора при производстве препрега по растворной технологии. Установлено, что значения коэффициентов драпируемости армирующих материалов в меньшей степени зависят от химической природы волокна и в большей степени определяются структурой ткани; все исследуемые образцы обладают анизотропией драпируемости; коэффициенты драпируемости препрегов составляют от 17% до 25% значения соответствующих сухих тканей.

*Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы (НТИ) на базе образовательных учреждений высшего образования и научных организаций (Центр НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Баумана).

The work carried out experimental studies of the drapability of technical fabrics (carbon, glass and basalt) and thermoplastic prepregs based on them. The studies were carried out using a methodology based on the standard method (according to GOST R 57470-2017) and adapted taking into account the materials under study. The presented methodology made it possible to quantitatively assess the manufacturability of prepregs when using thermoplastic binders (polysulfone and polypropylene) and fabric reinforcing fillers. Prepregs obtained using different technologies are considered: powder, solution and film. The results of assessing the drapability coefficients of thermoplastic prepregs based on various fabrics and obtained using various technologies are presented, and, based on the results obtained, rational values of technological parameters are determined, such as: temperature conditions when laying out the prepreg and the concentration of the solution during the production of prepreg according to solution technology. It has been established that the values of drapability coefficients depend to a lesser extent on the chemical nature of the fiber and are largely determined by the structure of the fabric. It was found that all prepreg drapability coefficients from 75% to 83% are less than those of the corresponding dry fabrics. It was established that all studied samples of reinforcing materials have anisotropy of drapability.

Ключевые слова: ткань, препрег, термопластичный материал, драпируемость.

Keywords: fabric, prepreg, thermoplastic material, drapability.

Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), в том числе углепластики, стеклопластики и базальтопластики, широко используют при изготовлении современной техники, т.к. они обладают очень высокими удельными характеристиками прочности и жесткости [1...5]. Традиционно в качестве связующих использовали терморезактивные материалы, как правило, эпоксидные [6...8]. Себестоимость таких композиционных материалов достаточно высокая, что во многом связано с большими энергозатратами на процесс отверждения. В настоящее время им на смену пришли термопласты, что обеспечивает существенное сокращение времени на формование (за счет отсутствия технологической операции отверждения), менее токсичный химический состав, простоту и удобство вторичной переработки [9, 10]. В связи с этим актуальным является разработка технологии отечественных термопластичных препрегов.

Однако в технической литературе основное внимание авторы уделяют механи-

ческим и теплофизическим характеристикам термопластичных препрегов и не рассматривают их технологические свойства, не изучив которые невозможно разрабатывать технологические процессы и изготавливать детали из ПКМ [11...13]. Основной проблемой является сложность выполнения стандартной технологической операции выкладки. Мерой количественной оценки технологичности термопластичных препрегов является коэффициент драпируемости, который позволяет количественно оценить возможность или невозможность бесшовной выкладки ткани на поверхность криволинейной оснастки. Чем выше коэффициент драпируемости, тем проще выкладывать ткань без складок с минимальным количеством кусков.

Целью работы является оценка драпируемости технических тканей (углеродных, стеклянных, базальтовых).

Поставленная цель достигается путем экспериментальной оценки значений коэффициентов драпируемости технических тканей и препрегов на их основе, что позволит разработать эффективные техноло-

гии формирования деталей из ПКМ на основе термопластичных связующих, обладающих комплексом ранее недостижимых свойств.

Объекты и методы

В работе использовались два вида связующих: полисульфон и полипропилен. Полисульфон использовался для получения препрегов по технологиям пропитки раствором и порошковой технологии. Полипропилен использовался для получения препрегов по пленочной технологии.

В качестве основных армирующих наполнителей использовались: углеродная однонаправленная лента, углеродная ткань саржевого плетения, стеклоткань и базальтовая ткань саржевого плетения.

Для определения коэффициента драпируемости использовалась методика измерения на стойке с иглой [14], адаптированная для термопластичных препрегов. Изготавливался круглый образец ткани с разметкой контрольных точек по основным направлениям, который устанавливался на специальную опору по центру. После выдержки образца в течение 15 минут проводились измерения положения контрольных точек. Значение коэффициента определялось как соотношение разницы между исходным диаметром в контрольной точке и измеренным значением к исходному диаметру:

$$D = \frac{D - D_{\text{изм.}}}{D} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Исследованы образцы из следующих тканей: однонаправленная углеродная лента, углеродная саржевая ткань, стеклянная

ткань и базальтовая ткань. Для каждого вида ткани изготавливалось по пять образцов. Измерения проводились в направлениях 0° , $+45^\circ$, -45° и 90° .

Результаты и обсуждение

Исследование коэффициента драпируемости тканей

По результатам испытаний составлены диаграммы драпируемости, пример такой диаграммы показан на рис. 1. Данные диаграммы составлены для всех образцов тканей и препрегов. На основании диаграмм проводились расчеты значений коэффициентов драпируемости. Как видно из полученных данных, для всех испытанных образцов ось изгиба смещена на 10° от направления 0° , что указывает на анизотропию драпируемости.

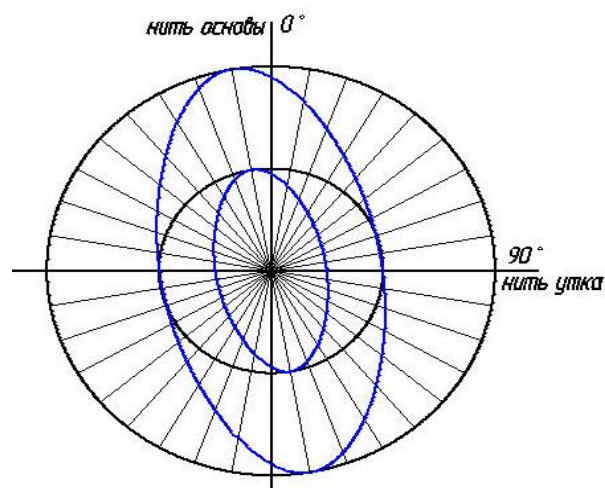


Рис. 1

Полученные значения коэффициентов драпируемости представлены в табл. 1.

Таблица 1

Тип ткани	Коэффициент драпируемости, %			
	в направлении 0°	в направлении -45°	в направлении 90°	в направлении 45°
Однонаправленная углеродная лента	10	40	60	50
Углеродная саржевая ткань	10	20	40	30
Стеклянная ткань	10	25	45	35
Базальтовая ткань	10	20	40	30

Далее проведен комплекс исследований, что позволило оценить влияние масштабного фактора на коэффициент драпируемости. Для этого испытаны образцы из

углеродной ткани диаметрами от 100 до 300 мм. Результаты испытаний приведены на рис. 2. Как видно из полученных данных, с увеличением диаметра увеличива-

ется коэффициент драпируемости по всем направлениям, кроме 0° . Установлено, что зависимость практически линейна. В связи с этим для дальнейших исследований выбраны образцы диаметром 200 мм.

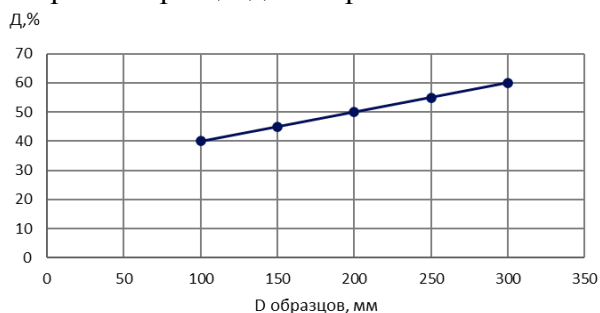


Рис. 2

В работе последовательно проведена оценка зависимости драпируемости от поверхностной плотности в направлениях 0° , $+45^\circ$, -45° и 90° . Результаты испытаний приведены на рис. 3. Наивысшие значения драпируемости получены в направлении 90° и составили 50%. Наихудшие значения – в направлении 0° .

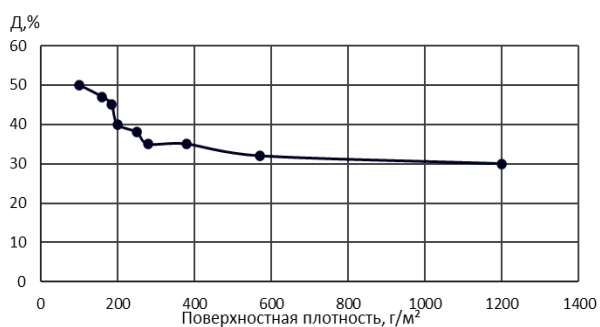


Рис. 3

Аналогичные испытания проведены для стеклянных тканей. Результаты испытаний приведены на рис. 4. По сравнению с углеродной тканью драпируемость ниже на 5...7%.

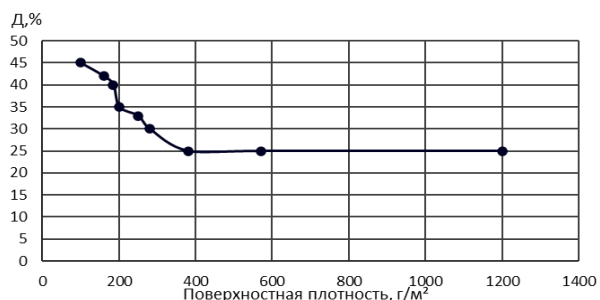


Рис. 4

Далее оценили драпируемость базальтовой ткани, она аналогична драпируемости стеклоткани. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

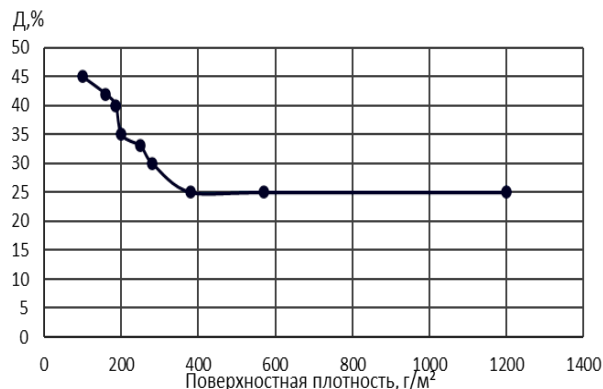


Рис. 5

Таким образом, имеет место схожая зависимость для всех типов тканей и направлений измерений. Отсюда следует, что поверхностная плотность практически одинаково влияет на значения коэффициента драпируемости.

Исследование коэффициента драпируемости препрегов.

Для оценки коэффициента драпируемости исследованы образцы препрегов на основе различных тканей. Все испытания проводились при нагреве до 130°C . Для препрегов также составлены диаграммы драпируемости. По результатам испытаний установлено, что при выкладке в направлении 90° коэффициент снижается на 75%, а в направлении $\pm 45^\circ$ – от 75 до 83%. Результаты испытаний приведены в табл. 2

Для определения оптимальной температуры выкладки препрегов проводились исследования коэффициентов драпируемости в зависимости от температуры. Как видно из полученных результатов, максимальный коэффициент драпируемости, независимо от технологии изготовления препрега и направления измерений, достигается при температуре 130°C и при дальнейшем повышении температуры остается стабильным.

Марка ткани	Коэффициент драпируемости, %			
	в направлении 0°	в направлении -45°	в направлении 90°	в направлении 45°
Однонаправленная углеродная ткань	2	5	15	5
Углеродная саржевая ткань	2	5	10	5
Стеклоянная ткань	2	5	10	5
Базальтовая ткань	2	5	10	5

В работе исследованы три технологии изготовления препрега: растворная (рис. 6), где в качестве растворителя использовался диметилформамид, порошковая (электростатического напыления) (рис. 7) и пленочная (рис. 8), которая в настоящей работе использовалась только для полипропилена.

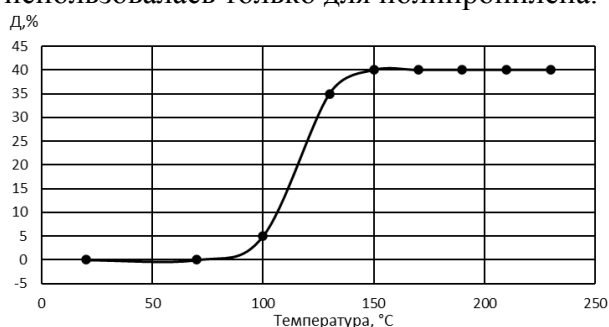


Рис. 6

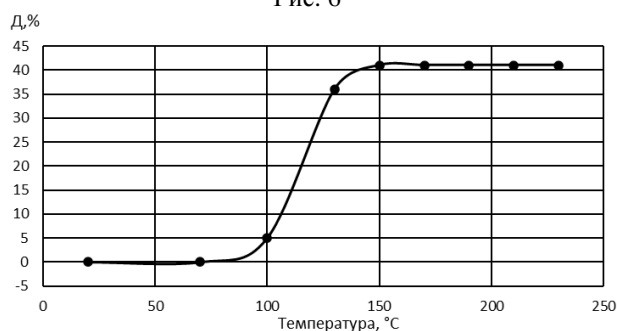


Рис. 7

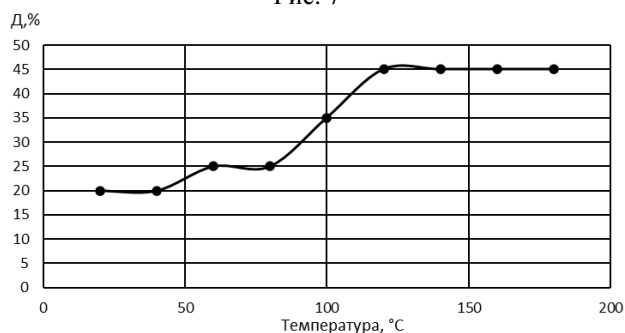


Рис. 8

На основании полученных результатов принята температура выкладки препрега 130 °C.

Кроме температуры, еще одним важнейшим технологическим параметром является концентрация исходного раствора. Установлены зависимости коэффициента драпируемости от концентрации раствора (рис. 9). Видно, что при увеличении концентрации раствора снижается драпируемость препрега.

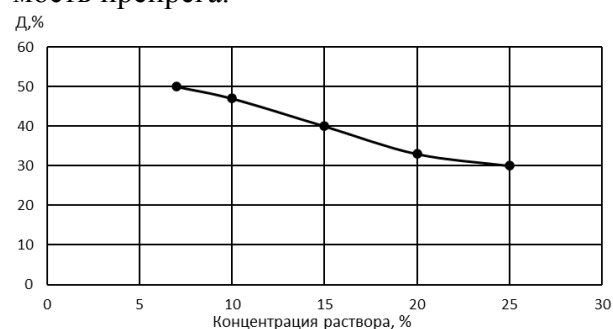


Рис. 9

Таким образом, установлено, что оптимальной является концентрация 15%, поскольку при этой концентрации в препреге остается достаточное количество полимера (40%) и сохраняется приемлемая драпируемость.

В Ы В О Д Ы

1. Адаптирована стандартная методика определения значений коэффициентов драпируемости тканей для термопластичных препрегов в зависимости от их химической природы и структуры. Установлено, что все исследуемые образцы армирующих материалов обладают анизотропией драпируемости и для обеспечения их качественной выкладки (т. е. без складок) на поверхность оснастки необходимо смещать ось на 10° от направления 0°. Установлено, что с увеличением диаметра образца армирующего материала увеличивается коэф-

фициент драпируемости по всем направлениям, за исключением 0° .

2. Проведена оценка коэффициентов драпируемости препрегов на основе различных тканей и по полученным результатам определены рациональные технологические режимы выкладки. Установлено, что коэффициенты драпируемости препрегов составляют от 17 % (в направлении $\pm 45^\circ$) до 25% (в направлении 90°) значения соответствующих сухих тканей.

3. Проведена оценка коэффициентов драпируемости препрегов, полученных по растворной технологии, и установлена оптимальная концентрация раствора при производстве препрега, которая составила 15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Румянцев Е.В., Степанов С.Г., Киселев М.В. и др. Полимерные композиционные материалы на волокнистой основе: тенденции развития, характеристики, научные направления и технологии // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 14...20.

2. Дебердеев Т.Р., Андрианова К.А., Амирова Л.М. Обзор путей развития и применения полимерных волокнистых композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 5...13.

3. Бородулин А.С., Марычева А.Н., Мальшева Г.В. Моделирование кинетики процессов пропитки тканых наполнителей при производстве изделий из стеклопластиков // Физика и химия стекла. 2015. Т. 41, №6. С. 892...898.

4. Kobets L.P., Malysheva G.V., Borodulin A.S. Rheological properties of system "elastomer binder – discrete carbon fiber" // Inorganic Materials: Applied Research. 2016. №7. №1. P. 15...19.

5. Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V. Viscous hysteresis in filled siloxane binders // Polymer Science. Series D. 2017. Т. 10, №1. P.19...22.

6. Нелюб В.А. Повышение качества формования углепластиков на основе эпоксидных связующих и металлизированных армирующих волокнистых материалов по технологии вакуумной инфузии // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. №9. С. 40...43.

7. Бизюк А.Н., Ясинская Н.Н. Моделирование пропитки при формировании полимерных композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 215...220. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_215

8. Ерофеев В.Т., Ивлев В.И., Мышкин А.В. и др. Механические свойства отвержденной полиэфир-акрилатной смолы МГФ-9 // Известия высших

учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 6(396). С. 311...319. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_311.

9. Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Bazheva R.C., Kharaev A.M., Beshtoev B.Z. Receipt and investigation of performance characteristics of super construction polyesters // International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2018. Т. 9, №13. С. 1117...1127.

10. Borodulin A., Kalinnikov A., Tereshkov A., Kharaev A. New Polymeric Binders for the Production of Composites // Materials Today: Proceedings. 2019. Т. 11. С. 139...143.

11. Беев А.А., Хаширова С.Ю., Слонов А.Л. и др. Полиэфиримидные композиционные материалы, наполненные аппретированными стеклянными волокнами // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4(400). С. 207...214. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_207

12. Думанский А.М., Алимов М.А., Хао Л. Закономерности нелинейного поведения однонаправленного углепластика при скоростном деформировании // Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11, № 1(41). С. 16...22.

13. Нелюб В.А. Жизненный цикл изделий из полимерных композиционных материалов // Технология металлов. 2019. №6. С. 33...39.

14. Иванова О.В., Смирнова Н.А. Анализ методов определения драпируемости текстильных полотен // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007. № 5(301). С. 3...5.

REFERENCES

1. Rumyantsev E.V., Stepanov S.G., Kiselev M.V., Matrokhin A.Yu., Trecshalin Yu.M. Fiber-based polymer composite materials: development trends, characteristics, scientific directions and technologies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 6(396). P. 14...20. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_14

2. Deberdeev T.R., Andrianova K.A., Amirova L.M. Overview of ways of polymer fiber composite materials development and application // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2021. № 6(396). P. 5...13. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_5

3. Borodulin A.S., Marycheva A.N., Malysheva G.V. Simulation of impregnation kinetics of fabric fillers in the production of fiberglass articles // Glass physics and chemistry. 2015. V. 41. №6. P. 892...898.

4. Kobets L.P., Malysheva G.V., Borodulin A.S. Rheological properties of system "elastomer binder – discrete carbon fiber" // Inorganic Materials: Applied Research. 2016. №7. №1. P. 15...19.

5. Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V. Viscous hysteresis in filled siloxane

binders // Polymer Science. Series D. 2017. T. 10. №1. P. 19...22.

6. *Nelyub V.A.* Quality improvement of molding of carbon-filled plastics based on epoxy binders and metallized reinforcing fibrous materials by vacuum infusion technology // *Klei. Germetiki. Tekhnologii.* 2020. №9. P. 40...43.

7. *Biziuk A.N., Yasinskaya N.N.* Modeling of impregnation during the formation of polymer composite materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 6(402). P. 215...220. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_215

8. *Erofeev V.T., Ivlev V.I., Myshkin A.V., Yudin V.A., Elchishcheva T.F., Sigachev A.F.* Mechanical properties of the hardened polyester acrylate resin mgf-9 // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2021. № 6(396). P. 311...319. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_311.

9. *Borodulin A.S., Kalinnikov A.N., Bazheva R.C., Kharaev A.M., Beshtoev B.Z.* Receipt and investigation of performance characteristics of super construction polyesters // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology.* 2018. T. 9, №13. C. 1117...1127.

10. *Borodulin A., Kalinnikov A., Tereshkov A., Kharaev A.* New Polymeric Binders for the Production

of Composites // *Materials Today: Proceedings.* 2019. T. 11. C. 139...143.

11. *Beev A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L. etc.* Polyesterimide composites filled with sized glass fibers // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 4(400). P. 207...214. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_4_207

12. *Dumansky A.M., Alimov M.A., Hao L.* Regularities of nonlinear response of unidirectional carbon fiber reinforced plastic under strain rate loading // *Composites and nanostructures.* 2019. V. 11, № 1(41). P. 16...22.

13. *Nelyub V.A.* Life cycle of polymer composite material products // *Tehnologia metallov.* 2019. №6. P. 33...39.

14. *Ivanova O.V., Smirnova N.A.* Analysis of methods for determining the drapability of textile fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2007. №. 5(301). P. 3...5.

Рекомендована кафедрой СМ12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Поступила 23.11.23.