

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.763

doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-48-55

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕ- И СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Денис Витальевич Гусев^{1✉}, Максим Александрович Ларионов²

¹ Российский университет транспорта, Москва, Россия

² Институт конструкторско-технологической информатики Российской Академии Наук, Москва, Россия

¹ dess.2010@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0431-646X>

² pioneer_maxim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9107-3798>

Аннотация

Изучена возможность использования стекло- и угленасыщенных термопластов при изготовлении корпусных деталей электронной аппаратуры с использованием аддитивных технологий формообразования. Цель исследования - поиск метода изготовления сложнопрофильных поверхностей. Уменьшение трудоемкости изготовления корпусных деталей электронной аппаратуры. Повышение эффективности ремонта колесных пар подвижного состава. Задача, решению которой посвящена статья - целесообразность использования угле- и стеклонаполненных термопластов при изготовлении корпусных деталей. Основным методом исследования - эксперимент. Новизна работы - установлена возможность использования угле- и стеклонаполненных термопластов при изготовлении корпусных дета-

лей. Результаты исследования: эмпирическим методом установлены целесообразность и эффективность использования стекло- и угленасыщенных термопластов при изготовлении корпусных деталей электронной аппаратуры с использованием аддитивных технологий. Вывод - использование аддитивных технологий формообразования способствует уменьшению трудоемкости изготовления корпусных деталей электронной аппаратуры. Доказана возможность использования стекло- и угленасыщенных термопластов при производстве деталей транспортных систем.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, Fused Deposition Modeling(FDM), угле- и стеклонаполненные термопласты.

Ссылка для цитирования:

Гусев Д.В. Исследование возможности использования угле- и стеклонаполненных термопластов при изготовлении корпусных деталей электронной аппаратуры транспортных систем / Д.В.Гусев, М.А.Ларионов // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 12. – С. 48 – 55. doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-48-55.

Original article

Open Access Article

STUDY OF THE POSSIBILITY TO USE CARBON- AND GLASS-FILLED THERMOPLASTICS FOR MANUFACTURING BODY PARTS OF ELECTRONIC EQUIPMENT FOR TRANSPORT SYSTEMS

Denis Vitalievich Gusev^{1✉}, Maksim Aleksandrovich Larionov²

¹ Russian University of Transport, Moscow, Russia

² Institute of Design and Engineering Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

¹ dess.2010@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0431-646X>

² pioneer_maxim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9107-3798>

Abstract

The possibility of using glass- and carbon-filled thermoplastics for manufacturing body parts of electronic equipment by means of additive generation of geometry is studied. The study objective is to find a method for manufacturing complex profile surfaces, to reduce the labor intensity of manufacturing body parts of electronic equipment, to improve the efficiency of repair of rolling stock wheel sets. The task to which the paper is devoted is the expediency of using carbon- and glass-filled thermoplastics for manufacturing body parts. The main method of research is experiment. The novelty of the work is that the possibility of using carbon- and glass-filled thermoplastics for manufacturing

body parts is found and studied. Research results: the expediency and efficiency of using glass- and carbon-filled thermoplastics for manufacturing body parts of electronic equipment by means of additive generation of geometry is found empirically. Conclusion: the use of additive generation of geometry contributes to reducing the complexity of manufacturing body parts of electronic equipment. The possibility of using glass- and carbon-filled thermoplastics in the production of parts for transport systems is proved.

Keywords: additive technologies, 3D printing, Fused Deposition Modeling(FDM), carbon- and glass-filled thermoplastics.

Reference for citing:

Gusev DV, Larionov MA. Study of the possibility to use carbon- and glass-filled thermoplastics for manufacturing body parts of electronic equipment for transport systems. *Transport Engineering*. 2022; 12:48-55. doi: 10.30987/2782-5957-2022-12-48-55.

Введение

Корпусные детали применяются в радиоэлектронной аппаратуре транспортных систем. Они предназначены для размещения составных частей аппаратуры, построенных по модульному принципу, габариты которых стандартизированы и к ним предъявляется ряд жестких требований [3]. Также несущие конструкции, состоящие из корпусных деталей, предназначены для обеспечения:

- конструктивной совместимости;
- размерной взаимозаменяемости по габаритам и монтажным размерам (фиксирующие отверстия, контуры и т.д.) электронных модулей;
- рационального использования площади и объема носителей;
- технологичности конструкции [3].

В основном корпусные детали радиоэлектронной аппаратуры транспортных систем изготавливаются из легких алюминиевых сплавов (АМг6, АМг3), дюралюминиевых сплавов (Д16, Д16Т), а также из титановых сплавов (ВТ1-0, ВТ6). При изготовлении несущих конструкций из алюминиевых сплавов традиционными методами механической обработки возникают некоторые сложности.

Высокие скорости резания вызывают возникновение высоких температур в зоне резания. Если температура повышается до такой степени, что материал обрабатываемого изделия становится пастообразным, то он начинает вытесняться из контактной зоны. Затем этот материал затвердевает и образует «фальшивую стружку». «Фальшивая стружка» обычно накапливается на режущих кромках инструмента. Поскольку «фальшивая стружка» и обрабатываемое изделие находятся в контакте друг с другом, то поверхность обрабатываемого изделия повреждается [4, 9].

Также форма корпусных деталей с каждым годом становится все сложнее, и сложнее и требует специальных навыков от оператора станков с ЧПУ, иногда и вовсе становясь невозможной при изготовлении традиционными методами механической обработки. Трудоемкость изготовления такой детали достаточно высока.

С учетом вышеизложенных сложностей, связанных с обработкой сложнопрофильных поверхностей или тонкостенных («ажурных») деталей была предпринята попытка изготовления их альтернативными методами, а именно, с применением аддитивных технологий.

Изготовление корпусных деталей

Изготовление несущих конструкций по аддитивным технологиям происходило с использованием самодельного или ка-

стумного 3D-принтера. Принтер работает по технологии FDM [9] (принципиальная схема представлен на рис.5).

Изготовление прототипов из легкоплавких материалов по технологии *FDM* заключается в том, что прутковый материал (термопластик) в специальной камере нагревают до температуры размягчения (точность поддержания температуры не ниже ± 1 °C) и продавливают через фильеру диаметром 50...200 мкм. Фильера перемещается в горизонтальной плоскости по заданной программе, нанося выдавливаемую “нить” на предыдущий слой. Платформа опускается на толщину одного слоя, и процесс повторяется. Слои нара-

щиваются один за другим, вплоть до завершения построения модели с необходимыми поддержками (вспомогательными конструкциями, подлежащими дальнейшему удалению) [5, 6, 10].

Двойной экструдер системы имеет два сопла [6, 7]. Одно сопло подает композитный материал с катушки, а другое – легко удаляемый материал поддержки (например, воск), необходимый для формирования сложных составных объектов, с другой катушки [11, 8].

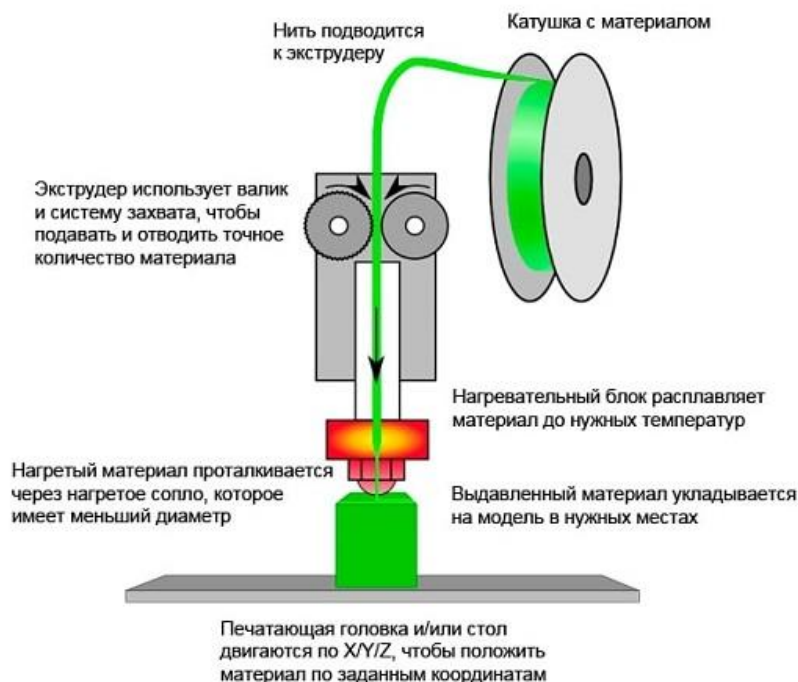


Рис. 1. Принципиальная схема технологии *Fused Deposition Modeling (FDM)*
 Fig. 1. Schematic diagram of the technology *Fused Deposition Modeling (FDM)*

В качестве модельного материала используются такие типы пластиков, как *ABS, PLA, HIPS, TOTAL, PRO AerotexFlex* [1]. Выбор расходного материала зависит от характеристик, предъявляемых к будущему изделию. Технические характеристики зависят от производителей данного материала, так как часто их смешивают с другими термопластичными, которые влияют на температуру экструзии, устойчивость к некоторым растворителям.

Первые экспериментальные образцы были изготовлены из *ABS* и *PLA* пластиков. Путем применения органолепти-

ческих методов исследований прочностных свойств конструкции из *ABS* и *PLA* пластиков было доказано, что из-за низкой прочности их дальнейшее использование нецелесообразно.

В конечном итоге, после анализа характеристик наиболее распространенных отечественных материалов, предлагаемых на рынке в открытом доступе, в качестве модельного материала для выращивания корпусных деталей были выбраны 4 вида пластика, которые армированы при помощи стекла и углеволокна: *TITAN GF-12, ABS GF-8, TOTAL GF-30, PRO Aerotex*. Физико-технические свой-

ства вышеперечисленных материалов приведены в таблице [1].

Из характеристик, приведенных в сводной таблице, может сложиться впечатление, что эти четыре пластика, близки по своим свойствам. Однако это не совсем так.

По данным производителя:

– пластик *TITAN GF-12* является конструкционным композитом на основе пластика *ABS*, армированного рубленым стекловолокном, содержание которого составляет около 12 % [1];

– *ABS GF-8* композит на основе *ABS* представляет собой смесь акрилонитрилбутадиенстирола и полиамида ПА6с добавлением 8 % стекловолокна; указанный материал подходит для печати конечных изделий, где требуется высокая

ударопрочность и стойкость к ультрафиолету [1];

– *TOTAL GF-30* ударопрочный стеклонаполненный (30 %) композит на основе полиамида для печати крупных шестерён, прочных корпусов, механически нагруженных деталей, аэродинамических обвесов для автомобилей [1];

– *PRO Aerotex* – наполненный углеволокном твердый и легкий композит (с удельным весом до 0,82 г/см³); предназначен, в первую очередь, для печати элементов несущих конструкций [1].

Как видно из описания, все пластики подходят для печати корпусов и несущих конструкций и обладают нужными свойствами, предъявляемым к корпусным деталям.

Таблица

Физико-технические свойства термопластиков

Table

Physical and technical properties of thermoplastics

Параметр сравнения	<i>TITAN GF-12</i>	<i>ABS GF-8</i>	<i>TOTAL GF-30</i>	<i>PRO Aerotex</i>
Температура сопла, °С	260-290	220-250	230-250	230-250
Температура стола, °С	100-110	100-105	60-100	105
Скорость печати, мм/с	до 100	до 80	до 60	до 90
Диаметр сопла, мм	от 0.4	от 0.4	от 0.4	от 0.4
Теплостойкость (min/max), °С	от -50 до +110	от -50 до +120	от -50 до +130	от -50 до +130
Относительное удлинение при разрыве, %	3	6-12	25	3.6
Модуль упругости при растяжении, ГПа	~4,5	~3,1	3	2,4
Максимальная прочность при разрыве, МПа	~60	55	90	51
Температура размягчения, °С	118	118	130	130
Плотность, гр/см ³	1.16	1.12	1.45	0.819
Усадка при изготовлении изделий, %	0.2 - 0.3	0.3 - 0.5	0.2 - 0.8	0.5-1

Все выбранные типы пластика могут быть напечатаны минимальным диаметром печатающего сопла 0,4 мм. В основном сопла для 3D принтера изготавливаются либо из латуни, либо из стали в случае, когда пластик абразивен. В проведенных экспериментах применялись сопла из нержавеющей стали, так как все выше выбранные пластики имеют в своем составе стекло- или угленаполнитель, которые абразивны.

Подготовка к печати производилась с использованием слайсера *Cura 15.04.02* (рис. 2). Эта программное обеспечение было создано Дэвидом Брэмом. Сига изна-

чально являлось стандартным ПО для всех 3D-принтеров компании *Ultimaker*, но сегодня её можно использовать и с большинством моделей других производителей [2]. С использованием указанного ПО производилось распределение деталей в рабочем объеме 3D-принтера и расстановка поддерживающих конструкций. Скорость печати и толщина слоя при изготовлении из разных материалов были одинаковыми и составляли 40 мм/с и 0,15 мм соответственно. Температура же сопла при печати была всегда разная в зависимости от рекомендаций по каждому материалу и варьировалась от 230 до 275 °С.

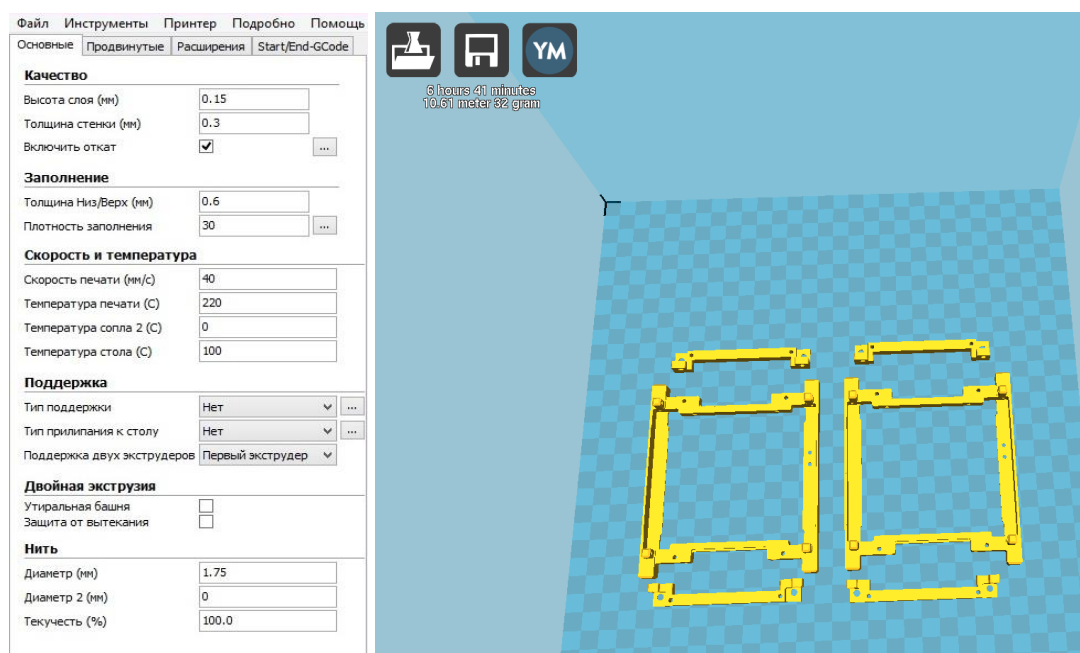


Рис. 2. Пример настройки печати и расположения объектов в виртуальной камере построения
 Fig. 2. Example of printing settings and the location of objects in a virtual camera

Процесс печати показал некоторые особенности каждого из материалов. Нить угленаполненных пластиков *AerotexPRO* и *TITAN GF-12* имела свойство ломаться при разматывании из катушки и подаче прутка в экструдер, что создавало довольно много проблем при печати. Поэтому при выборе таких пластиков к производителю должен предъявляться ряд требований к отсутствию перехлестов в намотке катушки, хранению в вакуумной упаковке и предварительному просушиванию перед использованием. Только тогда можно добиться качественных деталей и относительно быстрой печати. У стеклонеполненных материалов *TOTAL GF-30* и *ABS GF-8* во

время печати происходил процесс «подтекания» из сопла, что вызывало образование «волосистости» детали, это хорошо видно на рис. 3.

После печати происходил процесс постобработки изделий (рис. 4), заключающийся в удалении поддержек там, где они были необходимы при печати (например, в отверстиях), и в слесарных работах по нарезанию резьб.

Далее была произведена сборка несущей конструкции электронной аппаратуры транспортной системы (рис. 5), входе которой стало понятно, что применение в качестве основного материала корпусных деталей *TOTAL GF-30* невозможно из-за

большого модуля упругости, что приводило к большому прогибу материала даже при незначительных механических воздействиях (ударное ускорение в 5g), что недопустимо для несущей конструкции. Также

плохо себя проявил материал *AerotexPRO*, так как детали обладали повышенной ломкостью, даже на стадии предварительных испытаний (ударное ускорение 5g).

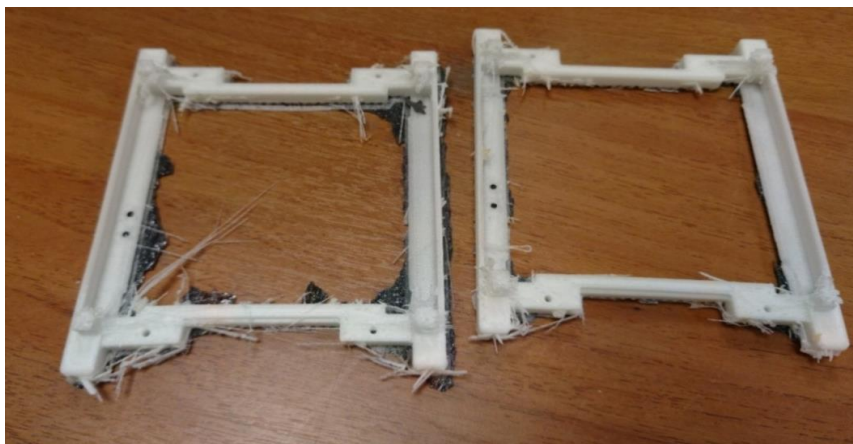
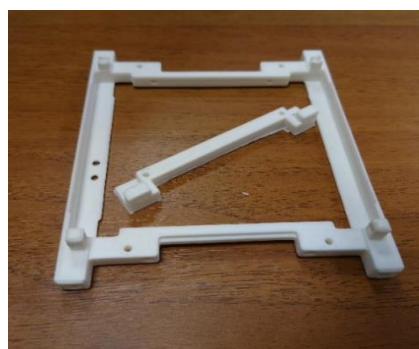


Рис. 3. Детали после печати из *TOTAL GF-30*
Fig. 3. Details after printing from *TOTAL GF-30*



а)



б)

Рис. 4. Деталь(и): а – с поддержками; б – после постобработки
Fig. 4 Details: а – with support; б – after post-processing

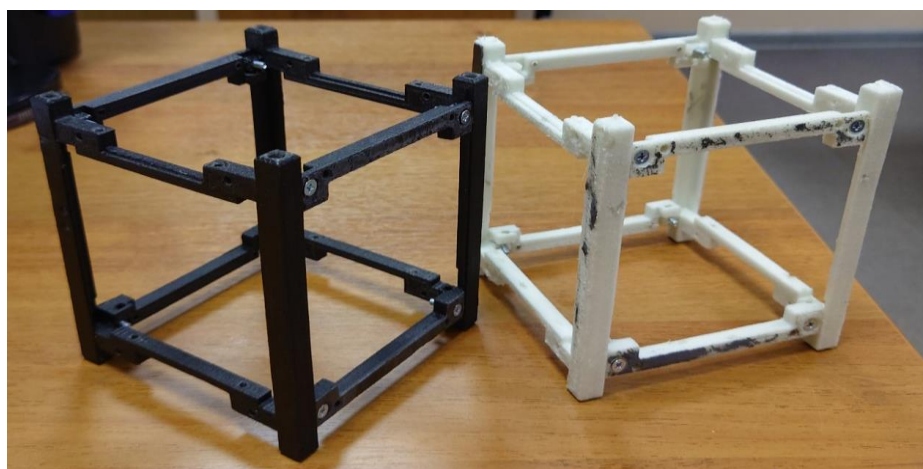


Рис. 5. Корпуса из *TITAN GF-12* и *ABS GF-8*
Fig. 5. Casings from *TITAN GF-12* and *ABS GF-8*

Материалы *TITANGF-12* и *ABSGF-8* показали себя лучше уже на стадии предварительных испытаний. Прогиб не превышал 1 мм при ударном ускорении в 5g, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к корпусным деталям транспортных систем.

Далее была произведена окончательная сборка блока радиоаппаратуры транспортной системы с установкой печатных плат и электронных радиоэлементов (ЭРИ) в корпуса изготовленных из материалов *TITANGF-12* и *ABSGF-8* и произведены комплексные испытания. Данные корпуса в составе блоков прошли испытания на стойкость к ударным нагрузкам в 450 м/с² (45g), стойкость к вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях с частотой от 5–1500 Гц и амплитудой 10 мм. С начала данные испытания проводились в нормаль-

Заключение

В результате проведенных исследований подтвердилось предположение о возможности существенного снижения трудоемкости изготовления корпусных деталей электронной аппаратуры транспортных систем благодаря использованию аддитивных технологий. Трудоемкость по сравнению с традиционными методами обработки снижается почти в 2 раза. Кроме того, благодаря послойному методу выращивания готовых

ных условиях, а после при повышенной температуре +55 °С и пониженной температуре – 45 °С, а также при повышенной влажности 90 %. Данные испытания корпуса в составе блоков радиоэлектронной аппаратуры транспортных систем прошли успешно.

Если учитывать усадку, возникающую после остывания в конце печати, можно получить годные по размеру детали.

В дальнейшем целесообразно провести дополнительные исследования по возможности нанесения покрытий на изделия из указанных типов термопластиков, с целью определения степени влияния их гидрофобности (обусловленной наличием в их составе угле- и стеклопластика) на свойства долговечности конченных изделий.

изделий метод аддитивного производства практически не имеет ограничений в части воспроизведения самых геометрически сложных конструкций.

Эмпирическим методом было доказана возможность применения угле- и стеклонаполненных материалов для изготовления корпусных деталей радиоэлектронной аппаратуры транспортных систем.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт компании Filamentarno, 2021, URL: <http://filamentarno.ru>.
2. Официальный сайт компании Ultimaker, 2021, URL: <http://Ultimaker.com>
3. ГОСТ Р 51623-2000 - Конструкции базовые несущие радиоэлектронных средств. Система построения и координационные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2000.
4. Дальский А.М. Технология конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
5. Зленко М.А., Забеднов П.В. Аддитивные технологии в опытном литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм // *Металлургия машиностроения*. – 2013 – № 3. – С. 43–48.
6. Гусев Д.В. Повышение показателей качества изготавливаемых изделий при использовании техноло-

- гии быстрого прототипирования: специальность 05.02.08 «Технология машиностроения»: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук / Денис Витальевич Гусев; Ульяновский Государственный Технический Университет. – Ульяновск, 2019. – 116 с.
7. Куликов М.Ю., Ларионов М.А., Гусев Д.В. О взаимодействии шероховатости поверхности прототипированных образцов с условиями их базирования при изготовлении // *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*. – 2016. – № 1(25). – С. 88–92.
8. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. – М.: Техносфера, 2016. – 656 с.

REFERENCES

1. Official website of Filamentarno [Internet]. [cited 2021]. Available from: <http://filamentarno.ru> .

2. Official website of Ultimaker [Internet]. [cited 2021]. Available from: <http://Ultimaker.com>

- GOST R 51623-2000. Basic bearing structures of radioelectronic devices. System of construction and coordination measures. Moscow: Publishing House of Standards; 2000.
- Dalsky AM. Technology of structural materials. Moscow: Mashinostroenie; 2004.
- Zlenko MA, Zabednov PV. Additive technologies in experimental foundry production. Technologies for casting metals and plastics using synthesis models and synthesis forms. Metallurgiya Mashinostroeniya. 2013;3:43-48.
- Gusev DV. Improving the quality indicators of manufactured products when using rapid prototyping [dissertation]. [Ulyanovsk (RF)] Ulyanovsk State Technical University; 2019.

- Kulikov MYu, Larionov MA, Gusev DV. On the interaction of the roughness of the surface of prototyped samples with the conditions of their basing during manufacture. Scholarly Notes of Komsomolsk-on-Amur State Technical University. 2016;1(25):88-92.
- Gibson Ya, Rosen D, Stacker B. Additive manufacturing technologies. Three-dimensional printing, rapid prototyping and direct digital production. Moscow: Technosphera; 2016.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Грабченко, А.И. Интегрированные генеративные технологии : учеб. пособие / А. И. Грабченко, Ю.Н. Внуков, В.Л. Добросюк. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. - 416 с.
- Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / М.А. Зленко,

- А.А. Попович, И.Н. Мутылина. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 221 с.
- Евсеев, Д.Г. Оптимизация процессов механической обработки : учеб. пособие /Д.Г. Евсеев, О.М. Тарасевич. - М.: МИИТ, 2007. - 107 с.

BIBLIOGRAPHIC LIST

- Grabchenko AI, Vnukov YuN, Dobrosyuk VL. Integrated generative technologies: textbook. Kharkiv: NTU "KhPI"; 2011.
- Zlenko MA, Popovich AA, Mutylina IN. Additive technologies in mechanical engineering: textbook.

- St. Petersburg: St. Petersburg State University; 2013.
- Evseev DG, Tarasevich OM. Optimization of machining processes: textbook. M.: MIIT; 2007.

Информация об авторах:

Гусев Денис Витальевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, Российский университет транспорта (РУТ(МИИТ)), тел.: +7(966)-073-47-17.

Ларионов Максим Александрович – кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Институт конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), тел.: +7(926)-274-72-16.

Gusev Denis Vitalievich – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Russian University of Transport (RUT (MIIT)), phone: +7(966)-073-47-17.

Larionov Maksim Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Junior Research Assistant Institute of Design and Engineering Informatics of the Russian Academy of Sciences, phone: +7(926)-274-72-16.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 10.07.2022; одобрена после рецензирования 07.10.2022; принята к публикации 21.11.2022. Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой «Промышленная электротехника и электроника» Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 10.07.2022; approved after review on 07.10.2022; accepted for publication on 21.11.2022. The reviewer is Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Electrical Engineering and Electronics at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.