

DOI: 10.34220/2311-8873-2022-29-35



УДК 621.81

05.02.08 – технология машиностроения

**К ВОПРОСУ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ
ИЗДЕЛИЙ СНИЖЕННОЙ МАССЫ
В АВИАЦИОННОЙ И РАКЕТНО-
КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ
ДЕГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА**

Болдырев Александр Александрович
к.т.н., доцент кафедры технологии машино-
строения Воронежского государственного
технического университета (РФ)

✉¹**Левин Дмитрий Юрьевич**
старший преподаватель кафедры графики,
конструирования и промышленного дизайна
Воронежского государственного технического
университета (РФ), e-mail: levin_du@cst-eg.ru

Рябинина Ольга Алексеевна
магистр кафедры технологии машиностро-
ения Воронежского государственного техни-
ческого университета (РФ),

Болдырев Александр Иванович
д.т.н., профессор кафедры технологии ма-
шиностроения Воронежского государствен-
ного технического университета (РФ),

Аннотация.

В работе рассмотрены особенности проекти-
рования конструкций с применением генера-
тивного дизайна; произведен анализ про-
граммного обеспечения с учетом различной
производственной технологичности итогов
проектирования; сформулированы технологи-
ческие рекомендации для заготовительного
производства, а также для последующей меха-
нической обработки; для закрепления загото-
вок сложной формы на станке предложено
применения оснастки с использованием маг-
нитных жидкостей.

Ключевые слова: ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИ-
ЗАЙН, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОН-
СТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ, АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРА-
БОТКА, МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ.

**ON THE QUESTION OF REDUCED
MASS ARTICLES TECHNOLOGICAL
EFFECTIVENESS IN AVIATION
AND ROCKET-SPACE EQUIPMENT
ACCESSED WITH DEGENERATIVE
DESIGN**

Boldyrev Alexander Alexandrovich
candidate of technical sciences, associate professor
at the engineering technology chair of the
Voronezh State Technical University (RF)

✉¹**Levin Dmitry Yurievich**
senior lecturer at the graphics, engineering and
industrial design chair of the Voronezh State
Technical University (RF),
e-mail: levin_du@cst-eg.ru

Ryabinina Olga Alekseevna
master student at the engineering technology chair of
the Voronezh State Technical University (RF)

Boldyrev Alexander Ivanovich
doctor of technical sciences, professor at the
engineering technology chair of the Voronezh
State Technical University (RF),

Annotation.

The paper discusses the features of the design
of structures with the use of generative design;
the analysis of the software was carried out,
taking into account the various industrial man-
ufacturability of the design results; formulated
technological recommendations for the blank
production, as well as for the following ma-
chining; for fixing workpieces of complex
shape on the machine, it is proposed to use
tooling with the use of magnetic fluids.

Key words: GENERATIVE DESIGN, MAN-
UFACTURABILITY OF PRODUCT, ADDI-
TIVE TECHNOLOGIES, MECHANICAL
PROCESSING, MAGNETIC FLUID.

¹Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Для изделий авиационной и ракетно-космической техники остро актуальна проблема сокращения массы деталей, в том числе несущих элементов конструкции. Стоимость доставки на орбиту одного кг груза составляет десятки тысяч долларов, что делает облегчение конструкции приоритетной задачей, даже несмотря на усложнение производственной технологии.

Одним из прогрессивных методов трехмерного твердотельного проектирования является генеративный дизайн [1-3]. При таком конструировании разработчик делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформе. Конструктор формирует только исходные данные в виде нагрузок, посадочных мест и ограничений, затем система итерационно создает большое количество вариантов формы, исследует их с помощью конечно-элементного анализа и останавливается на оптимальных с точки зрения минимизации объема. Решения, полученные при помощи генеративного дизайна, внешне напоминают природные формы, но доработанные и завершенные. Такие конструкции позволяют снизить массу изделий на 30-50 %, однако имеют форму сложную для получения классическими методами производства заготовок и последующей обработки.

На сегодняшний день подобные конструкции только начинают внедрять (в основном в экспериментальных образцах) [2, 4-13]: Airbus совместно с Autodesk модернизировали конструкцию перегородки салона лайнера Airbus A320, облегчив ее на 45 %; Toyota совместно с Materialise разработали прототип суперлегкого автомобильного кресла, снизив массу на 72 %; BMW создали концепт-байк с легкой 3D-печатной металлической рамой и ведут разработки по внедрению подобных деталей в «Ролс-Ройсах» и родстерах; голландская компания MX3D с помощью ПО Autodesk спроектировали и произвели несущую основу моста; с использованием Autodesk Fusion 360; Volkswagen выпустили демонстрационный образец авто с оптимизированными элементами, а разработчики NASA – прототип исследовательского модуля для поверхности планет и т.д. (рис. 1).

Применение генеративного дизайна в отечественных авиационной и ракетно-космической отрасли безусловно является перспективным. При этом отсутствуют разработки в области технологии изготовления деталей такого вида, что определяет актуальность исследования.

2 Материалы и методы

Технологичность конструкции изделий, спроектированных с использованием генеративного дизайна, в первую очередь определяется методикой создания вариантов формы. Различные программные продукты имеют свои алгоритмы генерации, а значит важным этапом, является выбор системы автоматизированного проектирования [14, 15].

На сегодняшний день помимо программ, имеющих своим специальным назначением оптимизацию массы конструкции (Autodesk Within, Altair OptiStruct), соответствующими модулями обзавелись практически все системы автоматизированного проектирования высокого уровня и часть – среднего. Возможности топологической оптимизации (методика проектирования, при которой общую форму задает конструктор, а размеры и количество элементов рассчитывает система) или полноценного генеративного дизайна имеются у Siemens NX и Solid Edge, CATIA 3DEXPERIENCE, SOLIDWORKS, Autodesk Inventor, Netfabb Ultimate и Fusion 360, ANSYS Mechanical, solidThinking Inspire и др. С учетом доступности продуктов и возможностей генерации для исследования выбран Autodesk Fusion 360 [1, 16].

Помимо создания формы модуль в составе Fusion 360 позволяет производить расчет полученных конструкций на прочность и жесткость, дорабатывать варианты с учетом технологичности (с возможностью производства литьем или 3D-печатью, оптимизация для фрезерной постобработки на оборудовании с различным количеством осей – примеры показаны на рисунке 2), транслировать результаты в более мощные системы, а также генерировать управляющие программы для станков с ЧПУ.

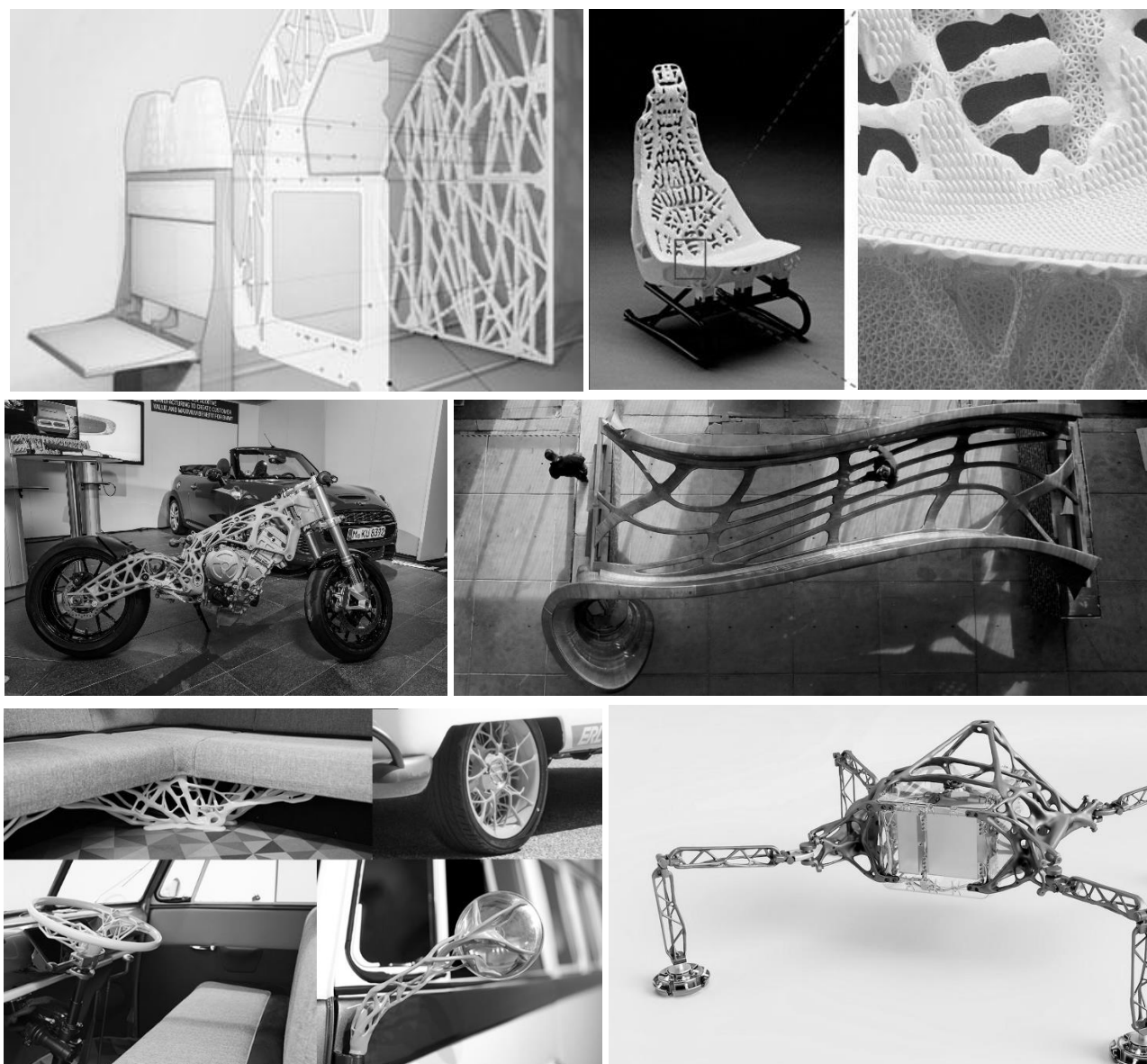


Рисунок 1 – Результаты генеративного дизайна

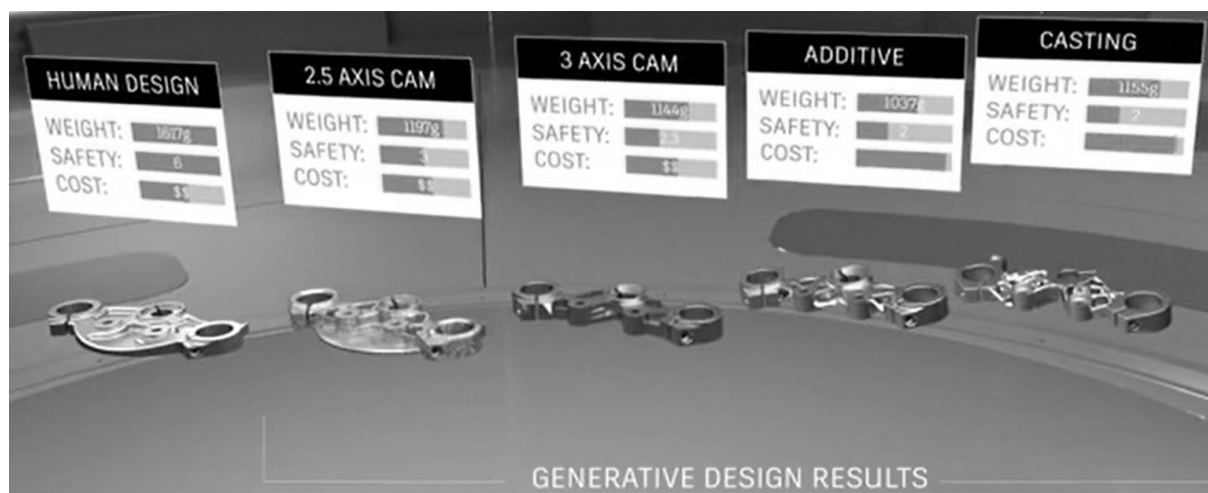


Рисунок 2 – Результаты генеративного дизайна с различной технологичностью конструкции

3 Результаты исследований

С учетом специфики изделий, спроектированных с использованием генеративного дизайна, из классических методов получения исходных заготовок наиболее подходящим является литье (в частности, литье по выплавляемым моделям), обеспечивающее высокую точность при сложной конфигурации элементов.

3D-печать [17] следует использовать для подготовки моделей для литья, спроектированные элементы можно легко импортировать непосредственно в слайсер. С учетом требований к условиям эксплуатации конструкции возможна также непосредственно печать изделия металлом. Для изготовления моделей подходит любая из распространенных технологий 3D-печати – ограничением является только обеспечиваемая точность, применение послойной наплавки (FDM) при довольно простой реализации позволяет получать изделия достаточной прочности [18].

Детали, спроектированные с возможностью получения на фрезерном станке, как правило, позволяют в меньшей степени экономить массу в сравнении с подготовленными для литья или 3D-печати, однако, возможна и целесообразна разработка технологии с механической обработкой только установочных поверхностей изделия. Для таких деталей возникает сложность с выбором технологической оснастки для закрепления заготовки на станке.

Оптимизация массы изделия при генеративном дизайне достигается за счет использования элементов сложной формы, имеющих максимальную жесткость только в направлении действия эксплуатационных нагрузок. Силы резания при фрезеровании и силы закрепления в приспособлении имеют другое направление, что может вызывать повышенные упругие и даже пластические деформации, что, в свою очередь, снижает точность обработки или может привести к разрушению заготовки. Отсутствие плоских или цилиндрических поверхностей также усложняют конструкцию необходимой технологической оснастки. Специальные станочные приспособления со сложной формой установочных элементов и с дополнительными поддержками, повышающими жесткость, имеют высокую стоимость, что является неприемлемым, особенно для производства с малой серийностью.

Метод закрепления в магнитно-реологической жидкости [19, 20] заключается в установке заготовок по базовым точкам и поверхностям внутри ванны, после чего подается жидкость со взвешенными в ней частицами ферромагнетика и включается магнитное поле. Затвердевшая в магнитном поле среда обеспечивает сохранение установочных баз под действием сил резания, а также обеспечивает при обработке дополнительную жесткость без деформации под действием сил закрепления тонких и ажурных элементов заготовки.

4 Обсуждение и заключение

Применение генеративного дизайна актуально для снижения массы изделий авиационной и ракетно-космической техники. Для проведения необходимых расчетов и разработки твердотельных моделей целесообразно использовать систему автоматизированного проектирования Autodesk Fusion 360. Настройки способа изготовления в среде Fusion 360 позволяет повысить технологичность конструкции изделий для производства выбранным способом. Установочные поверхности заготовок, полученных литьем по выплавляемым моделям или 3D-печатью, следует дорабатывать фрезерованием. Для закрепления заготовок сложной формы на фрезерных станках эффективен метод с применением магнитно-реологических сред.

Список литературы

1 Генеративный дизайн – революция в 3D печати? // 3Dtoday: [сайт]. – 2019. – URL : <https://3dtoday.ru/blogs/imprinta/generative-design-revolution-in-3d-printing> (дата обращения: 20.12.2021).

2 Рупиндер Тара. Генеративный дизайн : фейк, игрушка, искусство или один из полезных инструментов проектирования? // isicad: – 2020. – URL :

https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21003 (дата обращения: 20.12.2021).

3 Интеллект, изменивший нашу жизнь: генеративный дизайн // Популярная механика. – 2020. – URL : <https://www.popmech.ru/design/468212-intellekt-izmenivshiy-nashu-zhizn-generativnyu-dizayn> (дата обращения : 20.12.2021).

4 Сметанина, Н. И. Генеративный дизайн как новый инструмент дизайна и проектирования // Искусство глазами молодых. Материалы X Международной научной конференции. Сибирский государственный институт искусств им. Д. Хворостовского. 2018. С. 76-77.

5 Старчаус, В. С. Генеративный дизайн как инновационный метод моделирования // Гагаринские чтения – 2019. Сборник тезисов докладов XLV Международной молодежной научной конференции. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). 2019. С. 416-417.

6 Пархимович, А. Б., Краснова, А. В., Воейко, О. А. Генеративный дизайн как новая ступень проектирования // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем. сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 125-129.

7 Анциферов, С. И., Лютенко, А. О., Сычев, Е. А., Сиваченко, Л. А. Цифровое проектирование с применением генеративного дизайна // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2019. Т. 1. № 4. С. 38-44.

8 Строить как птицы: на предприятиях ОАК внедряют аддитивные технологии // Аддитивные технологии. – 2020. – URL : <https://additiv-tech.ru/publications/stroit-kak-pticy-na-predpriyatiyah-oak-vnedryayut-additivnye-tehnologii.html> (дата обращения : 20.12.2021).

9 The bridge that designs and builds itself // AUTODESK: – 2021. – URL : <https://fom.autodesk.com/dar-smart-bridge/p/1> (дата обращения : 20.12.2021).

10 Driving mobility innovation with generative design // AUTODESK: – 2021. – URL: <https://www.autodesk.com/campaigns/generative-design/ultimate-mobility-vehicle> (дата обращения : 20.12.2021).

11 Roopinder Tara. When Generative Design Backfires – VW’s New Wheels // Engineering: – 2020. – URL : <https://www.engineering.com/story/when-generative-design-backfires-vws-new-wheels> (дата обращения: 20.12.2021).

12 Decathlon создает более легкий, прочный и устойчивый велосипед благодаря технологии генеративного дизайна от Autodesk // isicad: – 2020. – URL : https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21578 (дата обращения: 20.12.2021).

13 Петров, Р. И., Скабин, Д. А., Шабунин, Е. Н. Создание рамы квадрокоптера методом генеративного дизайна с применением аддитивных технологий // Неделя науки СПбПУ. материалы научной конференции с международным участием. 2018. С. 136-139.

14 Обзор софта для топологической оптимизации и бионического дизайна // 3Dtoday: – 2018. – URL : <https://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/obzor-softa-dlya-topologicheskoy-optimizatsii-i-bionicheskogo-dizayna> (дата обращения : 20.12.2021).

15 Технологии Autodesk Generative Design // ПОИНТ: – 2021. – URL : <https://www.pointcad.ru/tehnologii/generative-design> (дата обращения : 20.12.2021).

16 Generative design for manufacturing with Fusion 360 // AUTODESK: – 2021. – URL : <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/manufacturing> (дата обращения: 20.12.2021).

17 Бионический (генеративный) дизайн и аддитивное производство // Globatek.3D : – 2021. – URL : https://3d.globatek.ru/world3d/generative_design (дата обращения : 20.12.2021).

18 Генеративный дизайн и оптимизация топологии применительно к FDM 3D-печати // Studia3D : – 2019. – URL : <https://studia3d.com/kamonichkin/generative-design> (дата обращения : 20.12.2021).

19 Смоленцев В. П., Болдырев А. А. Механизм управления процессом базирования индивидуальных заготовок в реологической жидкости // Фундаментальные и прикладные

проблемы техники и технологии. 2012. № 2-3 (292). С. 56-61.

20 Болдырев А. А., Смоленцев В. П. Требования к магнитной жидкости, используемой в средствах технологического оснащения // Вестник Рыбинской государственной авиационно-технологической академии им. П. А. Соловьева. 2012. № 2 (23). С. 127-131.

References

1 Is generative design a revolution in 3D printing? // 3Dtoday. – 2019. – URL : <https://3dtoday.ru/blogs/imprinta/generative-design-revolution-in-3d-printing> (date accessed: 20.12.2021).

2 Rupinder Tara. Generative design: fake, toy, art, or one of the useful design tools? // isicad: – 2020. – URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21003 (date of access: 20.12.2021).

3 The intelligence that changed our lives: generative design // Popular mechanics. – 2020. – URL: <https://www.popmech.ru/design/468212-intellekt-izmenivshiy-nashu-zhizn-generativnyy-dizayn> (date accessed: 20.12.2021).

4 Smetanina, N. I. Generative design as a new design and design tool // Art through the eyes of young people. Materials of the X International Scientific Conference. Siberian State Institute of Arts. D. Hvorostovsky. 2018.S. 76-77.

5 Starchaus, V. S. Generative design as an innovative method of modeling // Gagarin Readings – 2019. Collection of abstracts of the XLV International Youth Scientific Conference. Moscow Aviation Institute (National Research University). 2019. S. 416-417.

6 Parkhimovich A. B., Krasnova A. V., Voeiko O. A. Generative design as a new stage of design // Quality management at the stages of the life cycle of technical and technological systems. collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Technical Conference. Southwest State University. 2019. S. 125-129.

7 Antsiferov, S. I., Lyutenko, A. O., Sychev, E. A., Sivachenko, L. A. Digital design using generative design // Technical aesthetics and design research. 2019. Vol. 1.№. 4. P. 38-44.

8 Build like birds : additive technologies are being introduced at UAC enterprises // Additive technologies. – 2020. – URL : <https://additiv-tech.ru/publications/stroit-kak-pticy-na-predpriyatiyah-oak-vnedryayut-additivnye-tehnologii.html> (date accessed: 20.12.2021).

9 The bridge that designs and builds itself // AUTODESK: – 2021 – URL : <https://fom.autodesk.com/dar-smart-bridge/p/1> (date accessed: 20.12.2021).

10 Driving mobility innovation with generative design // AUTODESK: – 2021. – URL : <https://www.autodesk.com/campaigns/generative-design/ultimate-mobility-vehicle> (date accessed: 20.12.2021).

11 Roopinder Tara. When Generative Design Backfires – VW's New Wheels // Engineering: – 2020. – URL: <https://www.engineering.com/story/when-generative-design-backfires-vws-new-wheels> (date accessed: 20.12.2021).

12 Decathlon creates a lighter, stronger and more stable bike thanks to generative design technology from Autodesk // isicad: – 2020. – URL : https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=21578 (date of access: 20.12.2021).

13 Petrov, R. I., Skabin, D. A., Shabunin, E. N. Creation of a quadcopter frame by the method of generative design using additive technologies // SPbPU Science Week. materials of a scientific conference with international participation. 2018. S. 136-139.

14 Review of software for topological optimization and bionic design // 3Dtoday: – 2018. – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/obzor-softa-dlya-topologicheskoy-optimizatsii-i-bionicheskogo-dizayna> (date accessed: 20.12.2021).

15 Technologies Autodesk Generative Design // POINT: – 2021. – URL : <https://www.pointcad.ru/technologii/generative-design> (date of access: 20.12.2021).

16 Generative design for manufacturing with Fusion 360 // AUTODESK: – 2021. – URL :

<https://www.autodesk.com/solutions/generative-design/manufacturing> (date accessed: 20.12.2021).

17 Bionic (generative) design and additive manufacturing // Globatek.3D: – 2021. – URL : https://3d.globatek.ru/world3d/generative_design (date accessed: 20.12.2021).

18 Generative design and topology optimization as applied to FDM 3D printing // Studia3D : – 2019. – URL : <https://studia3d.com/kamonichkin/generative-design> (date accessed: 20.12.2021).

19 Smolentsev V. P., Boldyrev A. A. Control mechanism for the process of basing individual blanks in a rheological fluid // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2012. №. 2-3 (292). S. 56-61.

20 Boldyrev A. A., Smolentsev V. P. Requirements for the magnetic fluid used in the means of technological equipment // Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy. P. A. Solovyova. 2012. №. 2 (23). S. 127-131.

© Болдырев А.А., Левин Д.Ю., Рябинина О.А., Болдырев А.И., 2021