

## Оригинальная статья / Original article

УДК 621.791.927.5

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-25-35>

## Исследование влияния угла наклона приемной поверхности на величину смещения единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа

В. В. Куц<sup>1</sup>, А. Н. Гречухин<sup>1</sup> ✉, А. С. Привалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: [agrechuhin@mail.ru](mailto:agrechuhin@mail.ru)

### Резюме

**Цель исследования.** Исследование посвящено изучению влияния угла наклона приемной поверхности на участках с выпуклым и вогнутым профилем на изменение величины смещения единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа. Проведены экспериментальные исследования по формообразованию на приёмные поверхности с различным углом наклона. На основании полученных электродуговой наплавкой в среде защитного газа образцов, определены величины смещения единичных наплавленных слоёв. Для оценки влияния угла наклона приёмной поверхности на смещение единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в защитной среде, выполнен однофакторный дисперсионный анализ.

**Методы:** организации и планирования эксперимента, математической обработки результатов эксперимента, однофакторного дисперсионного анализа.

**Результаты.** В результате проведения дисперсионного анализа выявлено, что угол наклона приёмной поверхности при аддитивном формообразовании изделий оказывает влияние на смещение единичного наплавленного слоя на участках с выпуклым и вогнутым профилем, является значимым параметром при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа. В частности установлено, что критерий значимости для угла наклона составляет  $p < 0,01$ . В свою очередь, для выпуклой поверхности составляет  $p < 0,03$ , для вогнутой поверхности составляет  $p < 0,004$ . Анализ результатов исследования показал, что угол наклона приёмной поверхности оказывает большее значение на величину смещения единичного наплавленного слоя на участках приемной поверхности с вогнутым профилем.

**Заключение.** Определено, что угол наклона приемной поверхности значительно влияет на изменение величины смещения единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в сфере защитного газа. Угол наклона приемной поверхности на участках приемной поверхности с выпуклым и вогнутым профилем является значимым и его следует учитывать при проектировании технологических процессов аддитивного формообразования изделий электрической дугой в защитной среде.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии; формообразование; выпуклая поверхность; вогнутая поверхность; погрешность.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

© Куц В. В., Гречухин А. Н., Привалов А. С., 2024

**Для цитирования:** Куц В. В., Гречухин А. Н., Привалов А. С. Исследование влияния угла наклона приемной поверхности на величину смещения единичного наплавляемого слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа // Известия Юго-Западного государственного университета. 2024. Т. 28, №3. С. 25-35. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-25-35>.

Поступила в редакцию 15.05.2024

Подписана в печать 02.07.2024

Опубликована 30.09.2024

## Investigation of the effect of the angle of inclination of the receiving surface on the displacement of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in a protective gas medium

Vadim V. Kuts<sup>1</sup>, Aleksandr N. Grechukhin<sup>1</sup> ✉, Aleksandr S. Privalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: [agrechuhin@mail.ru](mailto:agrechuhin@mail.ru)

### Abstract

**Purpose of research.** The study is devoted to the study of the influence of the angle of inclination of the receiving surface with a convex and concave profile on the change in the displacement of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in a protective gas medium. Experimental studies on shaping on receiving surfaces with different angles of inclination have been carried out. Based on the samples obtained by electric arc welding in a protective gas medium, the displacement values of the individual deposited layers are determined. Since the angle of inclination of the receiving surface can affect the displacement of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in a protective environment, a one-factor dispersion analysis was performed.

**Methods.** Methods of organization and planning of the experiment, mathematical processing of experimental results, single-factor analysis of variance.

**Results.** As a result of the dispersion analysis, it was revealed that the angle of inclination of the receiving surface during additive shaping of products affects the displacement of a single deposited layer and is a significant parameter during additive shaping by an electric arc in a protective gas environment. In particular, it was found that the significance criterion for the slope angle is  $p < 0.01$ . In turn, for a convex surface it is  $p < 0.03$ , for a concave surface it is  $p < 0.004$ . Comparing the results, it can be seen that the criterion is more significant for a concave surface.

**Conclusion.** It is determined that the angle of inclination of the receiving surface significantly affects the change in the displacement of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in the sphere of protective gas. Therefore, the angle of inclination of the receiving surface with a convex and concave profile is significant and should be taken into account when designing technological processes for additive shaping of products by an electric arc in a protective environment.

**Keywords:** additive technologies; shaping; convex surface; concave surface; error.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Kuts V. V., Grechukhin A. N., Privalov A. S. Investigation of the effect of the angle of inclination of the receiving surface on the displacement of a single deposited layer during additive shaping by an electric arc in a protective gas medium. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2024; 28(3): 25-35 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2024-28-3-25-35>.

Received 15.05.2024

Accepted 02.07.2024

Published 30.09.2024

## Введение

Наличие возможности применения технологий аддитивного формообразования обеспечивает различные отрасли производства, включая машиностроительные, целым рядом преимуществ [1-5], среди которых отдельно можно выделить снижение финансовых затрат, в том числе, за счёт исключения из технологического процесса отдельных трудоёмких операций<sup>1</sup>.

Одной из наиболее производительных технологий является аддитивное формообразование металлических изделий электрической дугой в среде защитного газа. В основе технологии лежит процесс наплавки расплавленной металлической проволоки посредством электрической дуги в защитных средах. Данная технология послойного формообразования обладает привлекательностью для промышленных предприятий [6-8].

Следует отметить, что электродуговое аддитивное формообразование в среде защитного газа имеет и свои недостатки, сопровождающие наплавку электрической дугой, такие как возможность непроплава, перегрева, возникновения трещин, деформирования изделия, которые могут возникать при неправильном выборе режима наплавки. Тем

не менее, стоит отметить перспективность данного способа аддитивного формообразования [9-14].

Одним из недостатков способов аддитивного формообразования изделий электрической дугой является высокая погрешность формообразования изделий [15-20]. Вопросы обеспечения точности при аддитивном формообразовании электрической дугой в среде защитного газа являются не достаточно изученными. Интерес представляет изучение влияния угла наклона приёмной поверхности на величину смещения единичного наплавляемого слоя.

Для изучения влияния угла наклона на величину смещения была разработана схема аддитивного формообразования (рис. 1).

## Материалы и методы

Для проведения исследования были применены методы организации и планирования эксперимента, математической обработки результатов эксперимента, однофакторного дисперсионного анализа.

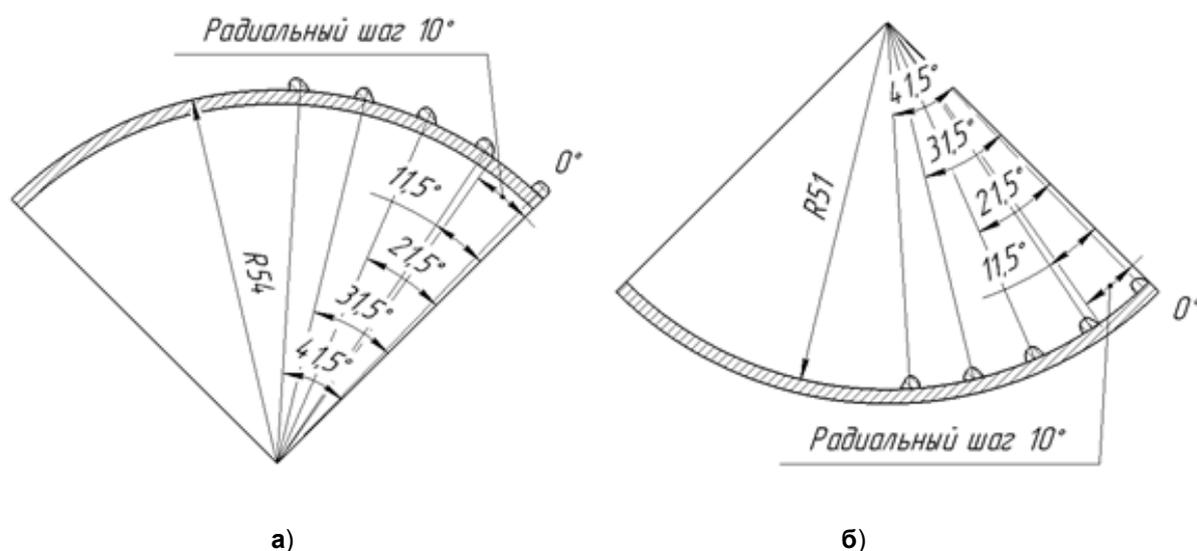
## Результаты и их обсуждение

В соответствии со схемой аддитивного формообразования (см. рис. 1), было произведено наплавление на приёмные поверхности с различным углом наклона.

План проведения эксперимента представлен в табл. 1.

Формообразование осуществлялось на экспериментальном стенде (рис. 2).

<sup>1</sup> Сапрыкин А.А. Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении прототипов: дис.... канд. техн. наук. Юрга, 2006.



**Рис. 1.** Схемы аддитивного формообразования на приёмных поверхностях с различным углом наклона: **а** – на выпуклой поверхности; **б** – на вогнутой поверхности

**Fig. 1.** Schemes of additive shaping on receiving surfaces with different angles of inclination: **a** – on a convex surface; **b** – on a concave surface

**Таблица 1.** План проведения экспериментов и параметры наплавления

Table 1. Experimental plan and deposition parameters

Параметры наплавления / Deposition parameters		№ п/п эксперимента / N/a of the experiment									
		1		2		3		4		5	
Приёмная поверхность		Выпуклая	Вогнутая	Выпуклая	Вогнутая	Выпуклая	Вогнутая	Выпуклая	Вогнутая	Выпуклая	Вогнутая
Угол наклона приёмной поверхности, °		0		11,5		21,5		31,5		41,5	
Режим наплавления	Давление подачи газа, МПа	0,25									
	Скорость перемещения сварочной горелки, мм/мин	224									
	Скорость подачи проволоки, мм/мин	4000									
	Напряжение на дуге, В	19,5									
Присадочный материал	Марка стали	СВ-09Г2С									
	Диаметр, мм	0,8									



**Рис. 2.** Экспериментальный стенд для аддитивного формообразования

**Fig. 2.** Experimental stand for additive shaping

Стенд состоит из двух основных составляющих: строительной платформы (стола) и экструдера (электродуговой горелки). Они перемещаются один относительно другого за счёт линейных приводов и управляются через контроллер, образуя мехатронную систему. Через горелку, к закреплённой на столе стенда приёмной поверхности подаётся

проволока, и от инвертора (модель Кедр MIG-160GDM) через токопровод к ней подводится ток. Так как проволока одновременно выступает строительным материалом и электродом, посредством предусмотренной в горелке камеры, в зону наплавления при помощи электромагнитного клапана, так же подаётся защитный газ из баллона с газовой смесью. Подача проволоки с закреплённой в верхней части стенда катушки осуществляется подающим прижимным механизмом экструдера МК8 3D-принтера.

Наплавление единичных слоёв производилось в следующем порядке:

- пять образцов единичного слоя на выпуклой поверхности;
- пять образцов единичного слоя на вогнутой поверхности.

Образцы единичных наплаваемых слоев, полученные технологией аддитивного формообразования на приёмных поверхностях с различным углом наклона, представлены на рис. 3.



**а)**



**б)**

**Рис. 3.** Образцы единичных наплаваемых слоев: **а** – на выпуклой поверхности; **б** – на вогнутой поверхности

**Fig. 3.** Samples of single deposited layers: **a** – on a convex surface; **b** – on a concave surface

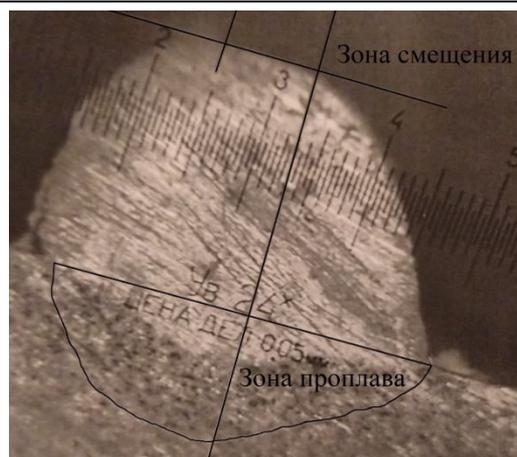
Для исследования влияния угла наклона приемной поверхности на величину смещения единичного наплавленного слоя, были подготовлены образцы (рис. 4).



**Рис. 4.** Образцы единичных наплавленных слоёв: **а** – на выпуклой поверхности; **б** – на вогнутой поверхности

**Fig. 4.** Samples of single deposited layers: **a** – on a convex surface; **b** – on a concave surface

Определение величины смещения единичного наплавленного слоя производилось с помощью микроскопа Бригелля на каждом из образцов (рис. 5).



**Рис. 5.** Сечение единичного наплавленного слоя под микроскопом

**Fig. 5.** Cross section of a single deposited layer under a microscope

Найдена и очерчена середина зоны проплава, проведён перпендикуляр к границам зоны проплава по высоте максимальной точки наплавленного слоя. Проведён перпендикуляр, соединяющий середину зоны проплава и самую высокую точку наплавленного слоя. Расстояние от перпендикуляра до середины зоны проплавления является контролируемым параметром, выраженным величиной смещения.

Результаты проведённых измерений представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Сводная таблица результатов измерений

**Table 2.** Summary table of measurement results

№ п/п	Выпуклая поверхность / Concave surface						№ п/п	Вогнутая поверхность / Concave surface					
	Угол наклона, ° / Angle of inclination	Величина смещения, мм / The displacement value, mm						Угол наклона, ° / Angle of inclination	Величина смещения, мм / The displacement value, mm				
1	0	0,25	0,3	0,25	0,2	0,15	1	0	0,3	0,3	0,25	0,3	0,35
2	11,5	0,4	0,25	0,2	0,3	0,2	2	11,5	0,25	0,2	0,25	0,2	0,2
3	21,5	0,55	0,3	0,2	0,4	0,15	3	21,5	0,125	0,2	0,2	0,25	0,25
4	31,5	0,6	0,25	0,45	0,4	0,5	4	31,5	0,2	0,3	0,275	0,2	0,25
5	41,5	0,3	0,45	0,7	0,3	0,5	5	41,5	0,325	0,25	0,3	0,25	0,35

На основе полученных результатов был проведен однофакторный дисперсионный анализ влияния угла наклона

приёмной поверхности на величину смещения единичного наплавленного слоя в программе STATISTICA (рис. 6).

Эффект	Одномерный критерий значимости для Величины смещения Сигма-ограниченная параметризация Декомпозиция гипотезы				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Св. член	2,924100	1	2,924100	182,1869	0,000000
Угол смещения	0,197400	4	0,049350	3,0748	0,039843
Ошибка	0,321000	20	0,016050		

а)

Эффект	Одномерный критерий значимости для Величины смещения Сигма-ограниченная параметризация Декомпозиция гипотезы				
	SS	Степени свободы	MS	F	p
Св. член	1,600225	1	1,600225	927,6667	0,000000
Угол смещения	0,037150	4	0,009288	5,3841	0,004143
Ошибка	0,034500	20	0,001725		

б)

Рис. 6. Результаты дисперсионного анализа: а – на выпуклой поверхности; б – на вогнутой поверхности

Fig. 6. The results of the analysis of variance: а – on a convex surface; б – on a concave surface

В результате проведенного анализа (см. рис. 6) установлено, что критерий значимости для угла наклона составляет  $p < 0,01$ . В свою очередь, критерий значимости для угла наклона на выпуклой поверхности составляет  $p < 0,03$ , угол наклона на вогнутой поверхности составляет  $p < 0,004$ . Анализ результатов исследования показал, что угол наклона приёмной поверхности оказывает большее значение на величину смещения единичного наплавленного слоя на участках приемной поверхности с вогнутым профилем. Полученные резуль-

таты свидетельствуют о том, что угол наклона является значимым фактором и влияет на величину смещения единичного наплавленного слоя.

### Выводы

Было определено, что угол наклона приемной поверхности значительно влияет на изменение величины смещения единичного наплавленного слоя при аддитивном формообразовании электрической дугой в сфере защитного газа. Это подтверждается результатами однофакторного дисперсионного анализа.

Поэтому угол наклона приемной поверхности с выпуклым и вогнутым профилем является значимым и его следует учитывать при проектировании техноло-

гических процессов аддитивного формования изделий электрической дугой в защитной среде.

### Список литературы

1. Burns M. Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J., USA:PTR Prentice Hall, 1993. 369 p.
2. Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms / V.V. Kuts, M.S. Razumov, A.N. Grechukhin, N.A. Bychkova // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11, № 24. P. 11832-11835.
3. Куц В. В., Меркулов В.С., Гречухин А. Н. Исследование процесса аддитивного формирования легкоплавких материалов с использованием твердотельного маломощного лазера // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. Т. 24, № 4. С. 8-17. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-8-17>.
4. Optimum part deposition orientation in stereolithography / S.K. Singhal, A.P. Pandey, P.M. Pandey, A.K. Nagpal // Computer-Aided Design & Applications. 2005. Vol. 2, no. 1–4. P. 319–328.
5. Технология изготовления деталей в автоматизированном производстве / А.М. Рудской, В.В. Куц, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин, А.А. Горохов. Курск, 2019.
6. Гречухин А.Н., Куц В.В., Щербаков П.С. Выявление влияния пространственной ориентации наплаваемых слоев, а также коэффициента их перекрытия на погрешность формы поверхности при аддитивном формообразовании электрической дугой // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17, № 6. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.17.6.017>.
7. Куц В.В., Гречухин А.Н., Разумов М.С. Пути снижения погрешности аддитивных методов формообразования // Вестник МГТУ "Станкин". 2019. № 1 (48). С. 21-25.
8. Расширение технологических возможностей методов аддитивного формообразования с применением механизмов параллельно-последовательной структуры / А.Н. Гречухин, В.В. Куц, А.В. Олещицкий, М.С. Разумов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. Т. 23, № 6. С. 34-44. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-34-44>.
9. Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm // Computers & Industrial Engineering. 2004. P. 426–431.
10. Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 1998. № 14. P. 247–254.

11. Kim J.Y., Lee K., Park J.C. Determination of optimal part orientation in stereolithographic rapid prototyping // Technical Report, Department of Mechanical Design and Production Engineering. Seoul: Seoul National University, 1994.

12. Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus / P.T. Lan, S.Y. Chou, L.L. Chent, D. Gemmill // Computer-Aided Design. 1997. Vol. 29, № 1. P. 53– 62.

13. Improving the accuracy of additive forming methods Innovation, quality and service in engineering and technology / A.N. Grechukhin, V.V. Kuts, M.S. Razumov, et al. 2018. P. 128-131.

14. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Управление пространственной ориентацией узлов робота в процессе аддитивного формообразования изделий // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14, №4. С. 122-129.

15. Гречухин А.Н., Куц В.В., Разумов М.С. Экспериментальное определение параметров поперечного сечения единичного слоя при аддитивном формообразовании изделий // Известия Тульского государственного университета. Техническое науки. 2018. Вып. 10. С. 264-270.

16. Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 7. P. 128-136. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822601004>.

17. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 7. P. 142-150. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822601002>.

18. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Oleshitskiy A.V. Development and Research of Technological Equipment that Implements Dynamic Control of Process of Additive Fabrication of Parts of Complex Spatial Shapes Based on Mechanisms with a Hybrid Layout // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 709(3). 033112. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033112>.

19. Investigation of the process of additive formation of fusible materials using a low-power solid-state laser/ V.V. Kuts, V.S. Merkulov, A.N. Grechukhin, A.S. Privalov// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1029(1). 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1029/1/012010>.

20. Куц В.В., Гречухин А.Н., Олешицкий А.В., Привалов А.С., Щербаков П.С. Алгоритм деления объемной модели на криволинейные слои для 3D-печати // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2021. № 5 (349). С. 39-45.

## References

1. Burns M. Automated Fabrication: Improving Productivity in Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J., USA:PTR Prentice Hall, 1993. 369 p.

2. Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Bychkova N.A. Improving the quality of additive methods for forming the surfaces of odd-shaped parts with the application of parallel kinematics mechanisms. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016; 11(24): 11832-11835.
3. Kutz V.V., Merkulov V.S., Grechukhin A.N. Investigation of the process of additive formation of low-melting materials using a low-power solid-state laser. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2020; 24(4): 8-17 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-8-17>.
4. Singhal S.K., Pandey A.P., Pandey P.M., Nagpal A.K. Optimum part deposition orientation in stereolithography. *Computer-Aided Design & Applications*. 2005; 2 (1–4): 319–328.
5. Rudskoy A.M., Kutz V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Gorokhov A.A. The technology of manufacturing parts in automated production. Kursk, 2019 (In Russ.).
6. Grechukhin A.N., Kutz V.V., Shcherbakov P.S. Identification of the influence of the spatial orientation of the deposited layers, as well as their overlap coefficient on the error of the surface shape during additive shaping by an electric arc. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2021; 17 (6). <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.17.6.017>.
7. Kutz V.V., Grechukhin A.N., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive shaping methods]. *Vestnik MGTU "Stankin" = Bulletin of the Moscow State Technical University "Stankin"*. 2019; (1): 21-25 (In Russ.).
8. Grechukhin A.N., Kutz V.V., Oleshitsky A.V., Razumov M.S. Expansion of technological capabilities of additive shaping methods using parallel-sequential structure mechanisms. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019; 23(6): 34-44 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-34-44>.
9. Hong S. Byun, Kwan H. Lee. Optimal part orientation of rapid prototyping using a genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*. 2004; 426–431.
10. Hur J., Lee K. The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 1998; (14): 247–254.
11. Kim J.Y., Lee K., Park J.C. Determination of optimal part orientation in stereolithographic rapid prototyping. Technical Report, Department of Mechanical Design and Production Engineering. Seoul: Seoul National University; 1994.
12. Lan P.T., Chou S.Y., Chent L.L., Gemmill D. Determining fabrication orientations for rapid prototyping with stereolithography apparatus. *Computer-Aided Design*. 1997; 29 (1): 53– 62.
13. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S., et al. Improving the accuracy of additive forming methods Innovation, quality and service in engineering and technology. 2018: 128-131.
14. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Control of spatial orientation of robot units in the process of additive forming of products. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2018; 14 (4): 122-129 (In Russ.).

15. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Experimental determination of the cross-section parameters of a single layer in the additive forming products. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskoe nauki = Proceeding of Tula State University. Technical Science*. 2019; (10): 264-270 (In Russ.).

16. Grechukhin A.N., Anikutin I.S., Byshkin A.S. Management of space orientation of the end effector of generation of geometry system fiveaxis manufacturing machinery for additive generation of geometry. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 7: 128-136. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822601004>

17. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Razumov M.S. Ways to reduce the error of additive methods of forming – 2018. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 7: 142-150. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201822601002>.

18. Grechukhin A.N., Kuts V.V., Oleshitskiy A.V. Development and Research of Technological Equipment that Implements Dynamic Control of Process of Additive Fabrication of Parts of Complex Spatial Shapes Based on Mechanisms with a Hybrid Layout. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020; 709(3): 033112. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033112>.

19. Kuts V.V., Merkulov V.S., Grechukhin A.N., Privalov A.S. Investigation of the process of additive formation of fusible materials using a low-power solid-state laser. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021; 1029(1): 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1029/1/012010>.

20. Kutz V.V., Grechukhin A.N., Oleshitsky A.V., Privalov A.S., Shcherbakov P.S. Algorithm division of a volumetric model into curved layers for 3D- printing. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology*. 2021; (5): 39-45 (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Куц Вадим Васильевич**, доктор технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: [kuc-vadim@yandex.ru](mailto:kuc-vadim@yandex.ru)

**Vadim V. Kuts**, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [kuc-vadim@yandex.ru](mailto:kuc-vadim@yandex.ru)

**Гречухин Александр Николаевич**, кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: [agrechuhin@mail.ru](mailto:agrechuhin@mail.ru)

**Aleksandr N. Grechukhin**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [agrechuhin@mail.ru](mailto:agrechuhin@mail.ru)

**Привалов Александр Сергеевич**, магистрант кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: [priwalovalexander@mail.ru](mailto:priwalovalexander@mail.ru)

**Aleksandr S. Privalov**, Master Student, Department of Engineering Technologies and equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: [priwalovalexander@mail.ru](mailto:priwalovalexander@mail.ru)