

Техническая информация

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-81-87>

УДК [678.742.2+666.3]:004.356

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ: ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКО-БЕЛОРУССКОГО НАУЧНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

А. Н. КАРАНДАШЕВ¹, Г. А. ДЕМИДОВ¹, Е. В. ШАЛОБАЕВ²⁺, С. В. ШИЛЬКО³, С. И. ЧЕРКАСОВ¹,
А. А. ЦЕЛОВАЛЬНИКОВА¹, В. Е. СТАРЖИНСКИЙ³

¹ООО «Балтико», ул. Политехническая, 29АФ, Научно-исследовательский корпус, 195251, г. Санкт-Петербург, Россия

²Академия развития БРИКС – Международная академия фундаментального образования, ул. Рузовская, 19, оф. 15, 190013, г. Санкт-Петербург, Россия

³Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

Цель работы — оценить возможности развития российско-белорусских исследований в области аддитивных технологий и применения их в материаловедении.

Показано, что аддитивные технологии успешно развиваются в настоящее время при выполнении совместных российско-белорусских проектов. Основные направления — изучение структуры, трибологических и механических свойств экструдированных полимер-полимерных композитов на основе СВМПЭ для 3D-печати; разработка материалов и изделий медицинского назначения, позволяющих существенно сократить продолжительность и повысить качество хирургических операций; совместное использование аддитивных технологий и магниторезонансной томографии.

Перспективным направлением становится получение керамических изделий методом 3D-печати термопластичным шликером. Этот метод позволяет создавать пространственно-сложные изделия, которые обеспечивают высокую прочность при низкой массе, избавиться от сборочных операций.

4D- и 5D-принтеры имеют еще большие возможности за счет применения интеллектуальных материалов и управления структурой изделий. Специалисты Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси, Университета ИТМО (Санкт-Петербург), ООО «Балтико» в настоящее время связаны с разработкой технологического оборудования, программного обеспечения и расходных материалов для 4D- и 5D-печати.

Ключевые слова: термопластичное связующее, техническая керамика, экструзионная печать, этапы аддитивной технологии, пятиосевой принтер, изделия сложной формы.

NEW TECHNICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF ADDITIVE TECHNOLOGIES USING POLYMER BINDERS: PROSPECTS FOR RUSSIAN-BELARUSIAN SCIENTIFIC COOPERATION

A. N. KARANDASHEV¹, G. A. DEMIDOV¹, E. V. SHALOBAYEV²⁺, S. V. SHIL'KO³, S. I. CHERKASOV¹,
A. A. TSELOVALNIKOVA¹, V. E. STARZHINSKY³

¹“Baltiko” LLC, Politechnicheskaya St., 29AF, SPbPU Research Building, 195251, St. Petersburg, Russia

²International Academy of Fundamental Education, Ruzovskaya St., bldg 19, 190013, St. Petersburg, Russia

³V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: : shalobaev47@mail.ru

The aim of the work is to assess the possibilities of developing Russian-Belarusian research in the field of additive technologies and their application in materials science.

It is shown that additive technologies are successfully developing at present in the implementation of joint Russian-Belarusian projects. The main areas are the study of the structure, tribological and mechanical properties of extruded polymer-polymer composites based on UHMW PE for 3D printing; development of materials and medical products that can significantly reduce the duration and improve the quality of surgical operations; joint use of additive technologies and magnetic resonance imaging.

Promising areas include obtaining ceramic products by 3D printing with thermoplastic slip. This method allows you to create spatially complex products that provide high strength at low weight, get rid of assembly operations.

4D and 5D printers have even greater capabilities due to the use of intelligent materials and expanded capabilities for regulation the structure of products. Specialists from the V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institut of NAS of Belarus and ITMO University (St. Petersburg), are currently involved in the development of technological equipment, software and consumables for 4D and 5D printing under the auspices of the BRICS Development Academy — International Academy of Fundamental Education and Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University ("Baltiko" LLC).

Keywords: thermoplastic binder, technical ceramics, extrusion printing, stages of additive technology, five-axis printer, complex-shaped products.

Поступила в редакцию 28.11.2024

© А. Н. Карандашев, Г. А. Демидов, Е. В. Шалобаев, С. В. Шилько, С. И. Черкасов, А. А. Целовальникова, В. Е. Старжинский, 2025

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Карандашев А. Н., Демидов Г. А., Шалобаев Е. В., Шилько С. В., Черкасов С. И., Целовальникова А. А., Старжинский В. Е. Новые технические решения в области аддитивных технологий с использованием полимерных связующих: перспективы российско-белорусского научного сотрудничества // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 1. С. 81–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-81-87>

Citation sample:

Karandashev A. N., Demidov G. A., Shalobaev E. V., Shil'ko S. V., Cherkasov S. I., Tseloval'nikova A. A., Starzhinskiy V. E. Novye tekhnicheskie resheniya v oblasti additivnykh tekhnologiy s ispol'zovaniem polimernykh svyazuyushchikh: perspektivy rossiysko-belorusskogo nauchnogo sotrudnichestva [New technical solutions in the field of additive technologies using polymer binders: prospects for russian-belarusian scientific cooperation]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 1, pp. 81–87. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-1-81-87>

Литература

1. Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89, № 5. С. 455–465.
2. Старжинский В. Е., Тимофеев Б. П., Шалобаев Е. В., Кудинов А. Т. Пластмассовые зубчатые колеса в механизмах приборов. Расчет и конструирование / под ред. В. Е. Стажинского и Е. В. Шалобаева. Санкт-Петербург ; Гомель : ИММС НАНБ, 1998. 538 с.
3. Старжинский В. Е., Осипенко С. А., Кудинов А. Т., Шалобаев Е. В. Автоматизированный расчет формулирующего инструмента и экспериментальное исследования точности пластмассовых зубчатых колес. Санкт-Петербург : ИПМаш РАН, 1996. С. 57–64. (Препринт / ИПМаш РАН : № 132).

4. Шалобаев Е. В., Старжинский В. Е., Кудинов А. Т. Имитационное моделирование формообразующих матриц для литья под давлением изделий из пластмасс // Диагностика веществ, изделий и устройств : материалы всероссийской научно-технической конференции, 24–26 ноября 1999 г. Орел : ОрелГТУ, 1999. С. 100–101.
5. Иванов В. А., Марусина М. Я., Парамонов П. П., Степанова Н. Е., Шалобаев Е. В. Измерительные преобразователи в магниторезонансной томографии // Датчики и системы. 2003. № 9. С. 2–5.
6. Шилько С. В., Рябенко Т. В., Дубровский В. В. Применение двухуровневого прочностного анализа при подготовке САД-моделей для 3D-печати градиентных материалов и изделий // Аддитивные технологии, материалы и конструкции : материалы научно-технической конференции, Гродно, 5–6 октября 2016 г. Гродно, 2016. С. 140–146.
7. Панин С. В., Буслович Д. Г., Корниенко Л. А., Алексенко В. А., Донцов Ю. В., Шилько С. В. Структура, трибологические и механические свойства экструдированных полимер-полимерных СВМПЭ композитов для 3D-печати // Трение и износ. 2019. Т. 40, № 2. С. 143–153.
8. Панин С. В., Буслович Д. Г., Корниенко Л. А., Алексенко В. О., Донцов Ю. В., Овечкин Б. Б., Шилько С. В. Сравнительный анализ трибологических и механических свойств экструдированных полимер-полимерных СВМПЭ композитов, полученных методами 3D-печати и горячего прессования // Трение и износ. 2020. Т. 41, № 3. С. 313–322.
9. Дубровский В. В., Шалобаев Е. В., Шилько С. В., Песецкий С. С., Старжинский В. Е., Ковалев Е. В., Волнянко Е. Н., Демидов Г. А., Карандашев А. Н., Перепелица Ф. А., Раков С. В. Опыт разработки материалов и изделий медицинского и технического назначения с использованием аддитивных технологий // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 2. С. 78–85.
10. Иванов В. А., Марусина М. Я., Шалобаев Е. В. Опыт разработки и исследований в области магниторезонансной томографии // Контроль. Диагностика. 2003. № 5. С. 66–68.
11. Елисеев Ю. С., Крымов В. В., Нежурин И. П., Новиков В. С., Рыжов Н. М. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей. Москва : Высшая школа, 2001. 492 с.
12. Алексеев А. А., Кирсанов А. Е., Шишов О. В. 3D-печать керамических изделий при использовании спиральной печати тела вращения с волнообразной поверхностью и эффектом «плетения» // Огарев-online : электронное периодическое издание. 2020. № 15 [Электронный ресурс]. URL: <https://journal.mrsu.ru/arts/3d-pechat-keramicheskix-izdelij-pri-ispolzovanii-spiralnoj-pechati-tela-vrashcheniya-s-volnoobraznoj-poverkhnostyu-i-effektom-pleteniya> (дата обращения: 20.11.24).
13. Sadiq Sha H. A. J., Pradeep P. Patil. Review on 4D and 5D Printing Technology // Int. Research J. of Eng. and Technol., 2020, vol. 7, is. 6, pp. 744–751.
14. Муравский А. А., Аликин М. Б., Дворко И. М., Лавров Н. А. Полимерная 3D-печать: история, классификация и современные тенденции развития (обзор) // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2023. № 64 (90). С. 58–66.
15. Choi Jin, Kwon O-Chang, Jo Wonjin, Lee Heon Ju, Moon Myoung-Woon. 4D Printing Technology: A Review // 3D Printing and Additive Manufacturing, 2015, vol. 2, is. 4, pp. 159–167. doi: 10.1089/3dp.2015.0039
16. Reddy P. R., Devi P. A. Review on the advancements to additive manufacturing-4D and 5D printing // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2018, vol. 8, is. 4, pp. 397–402.
17. Дубина Н. Аддитивные технологии: 2,5D-, 3D-, 4D-, 5D-печать // КомпьюАрт. 2020. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://compuart.ru/article/25463> (дата обращения: 20.11.2024).
18. Демина А. С., Шалобаев Е. В. Новый подход к повышению надежности работы системы безопасности турбоагрегата на основе использования скрытых резервов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17, № 6. С. 1133–1139.
19. Трубащевский Д. С. «И все-таки она вертится!», или забудьте о том, что вы знали о классической 3D-печати // Полимерные материалы. Изделия. Оборудование. Технологии. 2023. № 6. С. 30–37.

References

1. Koval'chuk M. V., Naraykin O. S., Yatsishina E. B. Prirodopodobnye tekhnologii: novye vozmozhnosti i novye vyzovy [Nature-like technologies: new opportunities and new challenges]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2019, vol. 89, no. 5, pp. 455–465.
2. Starzhinskiy V. E., Timofeev B. P., Shalobaev E. V., Kudinov A. T. *Plastmassovye zubchatye kolea v mekhanizмах priborov. Raschet i konstruirovaniye* [Plastic gears in the mechanisms of the devices. Calculation and construction]. Saint-Petersburg ; Gorn' : IMMS NANB, 1998. 538 p.
3. Starzhinskiy V. E., Osipenko S. A., Kudinov A. T., Shalobaev E. V. Avtomatizirovannyi raschet formuyushchego instrumenta i eksperimental'noe issledovaniye tochnosti plastmassovykh zubchatykh kolev [Automated calculation of forming tools and experimental studies of precision of plastic gears]. Saint-Petersburg : IPMash RAN Publ., 1996, pp. 57–64. (Preprint / IPMashch RAN : № 132).
4. Shalobaev E. V., Starzhinskiy V. E., Kudinov A. T. Imitatsionnoye modelirovaniye formoobrazuyushchikh matrits dlya lit'ya pod davleniem izdeliy iz plastmass [Simulation modeling of molding matrices for injection molding of plastic products]. *Materialy vs Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Diagnostics veshchestv, izdeliy i ustroystv»* [Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference "Diagnostics of Substances, Products and Devices"]. Orel : OrelGTU Publ., 1999, pp. 100–101.
5. Ivanov V. A., Marusina M. Ya., Paramonov P. P., Stepanova N. E., Shalobaev E. V. Izmeritel'nye preobrazovateli v magnitarezonansnoy tomografii [Measuring transducers in magnetic resonance imaging]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and systems], 2003, no. 9, pp. 2–5.
6. Shil'ko S. V., Ryabchenko T. V., Dubrovskiy V. V. Primeneniye dvukhurovnevoogo prochnostnogo analiza pri podgotovke CAD-modeley dlya 3D-pechati gradientnykh materialov i izdeliy [Application of two-level strength analysis in the preparation of CAD models for 3D printing of gradient materials and products]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Additivnye tekhnologii, materialy i konstruktzii»* [Materials of the Scientific and Technical Conference "Additive Technologies, Materials and Structures"]. Grodno, 2016, pp. 140–146.
7. Panin S. V., Buslovich D. G., Kornienko L. A., Aleksenko V. O., Dontsov Yu. V., Ovechkin B. B., Shil'ko S. V. Sravnitel'nyy analiz tribologicheskikh i mekhanicheskikh svoystv ekstrudiruemykh polimer-polimernykh SVMPE kompozitov, poluchennykh metodami 3D-pechati i goryachego pressovaniya [Comparative analysis of tribological and mechanical properties of extruded polymer-polymer UHMWPE composites obtained by 3D printing and hot pressing methods]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 2020, vol. 41, no. 3, pp. 313–322.
8. Panin S. V., Buslovich D. G., Kornienko L. A., Aleksenko V. O., Dontsov Yu. V., Ovechkin B. B., Shil'ko S. V. Sravnitel'nyy analiz tribologicheskikh i mekhanicheskikh svoystv ekstrudiruemykh polimer-polimernykh SVMPE kompozitov, poluchennykh metodami 3D-pechati i goryachego pressovaniya [Comparative analysis of tribological and mechanical properties of extruded polymer-polymer UHMWPE composites obtained by 3D printing and hot pressing methods]. *Trenie i iznos* [Friction and Wear], 2020, vol. 41, no. 3, pp. 313–322.
9. Dubrovskiy V. V., Shalobaev E. V., Shil'ko S. V., Pesetskiy S. S., Starzhinskiy V. E., Kovalev E. V., Volnyanko E. N., Demidov G. A., Karandashev A. N., Perepelitsa F. A., Rakov S. V. Opyt razrabotki materialov i izdeliy meditsinskogo i tekhnicheskogo naznacheniya s ispol'zovaniem

- additivnykh tekhnologiy [Experience in developing materials and products for medical and technical purposes using additive technologies]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2020, vol. 6, no. 2, pp. 78–85.
10. Ivanov V. A., Marusina M. Ya., Shalobaev E. V. Opyt razrabotki i issledovaniy v oblasti magnitorezonansnoy tomografii [Experience in development and research in the field of magnetic resonance imaging]. *Kontrol'. Diagnostika* [Control. Diagnostics], 2003, no. 5, pp. 66–68.
 11. Eliseev Yu. S., Krymov V. V., Nezburin I. P., Novikov V. S., Ryzhov N. M. *Proizvodstvo zubchatykh koles gazoturbinykh dvigateley* [Production of gears of gas turbine engines]. Moscow : Vysshaya shkola Publ., 2001. 492 p.
 12. Alekseev A. A., Kirsanov A. E., Shishov O. V. 3D-pechat' keramicheskikh izdeliy pri ispol'zovanii spiral'noy pechati tela vrashcheniya s volnoobraznoy poverkhnost'yu i efektom «pleteniya» [3D printing of ceramic products using spiral printing of a body of revolution with a wave-like surface and a "weaving" effect]. 2020. Available at: <https://journal.mrsu.ru/arts/3d-pechat-keramicheskix-izdeliy-pri-ispolzovanii-spiralnoj-pechati-tela-vrashheniya-s-volnoobraznoj-poverkhnostyu-i-effektom-pleteniya> (accessed: 20.11.24).
 13. Sadiq Sha H. A. J., Pradeep P. Patil. Review on 4D and 5D Printing Technology. *Int. Research J. of Eng. and Technol.*, 2020, vol. 7, is. 6, pp. 744–751.
 14. Muravskiy A. A., Alikin M. B., Dvorko I. M., Lavrov N. A. Polimernaya 3D-pechat': istoriya, klassifikatsiya i sovremennye tendentsii razvitiya (obzor) [Polymer 3D Printing: History, Classification and Modern Development Trends (Review)]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2023, no. 64 (90), pp. 58–66.
 15. Choi Jin, Kwon O-Chang, Jo Wonjin, Lee Heon Ju, Moon Myoung-Woon. 4D Printing Technology: A Review. *3D Printing and Additive Manufacturing*, 2015, vol. 2, is. 4, pp. 159–167. doi: 10.1089/3dp.2015.0039
 16. Reddy P. R., Devi P. A. Review on the advancements to additive manufacturing-4D and 5D printing. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 2018, vol. 8, is. 4, pp. 397–402.
 17. Dubina N. Additivnye tekhnologii: 2,5D-, 3D-, 4D-, 5D-pechat' [Additive technologies: 2.5D, 3D, 4D, 5D printing]. Available at: <https://compuart.ru/article/25463> (accessed 20.11.24).
 18. Demina A. S., Shalobaev E. V. Novyy podkhod k povysheniyu nadezhnosti raboty sistemy bezopasnosti turboagregata na osnove ispol'zovaniya skrytykh rezervov [New approach to improving the reliability of the turbine unit safety system based on the use of hidden]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical journal of information technologies, mechanics and optics], 2017, vol. 17, no. 6, pp. 1133–1139.
 19. Trubashevskiy D. S. «I vsetaki ona vertitsya!», ili zabud'te o tom, chto vy znali o klassicheskoy 3D-pechati [“And yet it moves!” or forget what you knew about classic 3D printing]. *Polimernye materialy. Izdeliya. Oborudovanie. Tekhnologii* [Polymer Materials. Products. Equipment. Technologies], 2023, no. 6, pp. 30–37.