

УДК 621.791

БАРЬЕРЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

М. Д. БЕЛОЗЕРОВ, Е. В. ЛАГОВСКАЯ

Заполярный государственный университет им. Н. М. Федоровского
Норильск, Россия

Аддитивные технологии (Additive Manufacturing, AM) – послойное изготовление изделий по цифровой 3D-модели. Сегодня AM применяются не только для прототипирования, но и для выпуска функциональных деталей из полимеров и металлов, особенно там, где важны сложная геометрия, снижение массы и сокращение сроков разработки (в том числе в аэрокосмической отрасли) [1–3].

В Беларуси и России внедрение AM часто ограничивается пилотными проектами. Основные барьеры имеют системный характер.

1. Инфраструктурный и инвестиционный барьер. Недостаточные темпы обновления оборудования и испытательной базы затрудняют освоение новых процессов и подтверждение характеристик изделий, что усиливает осторожность предприятий при внедрении AM.

2. Слабая кооперация «вуз – предприятие». Для устойчивого внедрения требуется связка «проектирование – изготовление – испытания – корректировка» на реальных задачах. При недостаточном трансфере технологий AM остаётся на уровне демонстраций и единичных заказов.

3. Импортозависимость. Значимая часть оборудования, материалов и программных решений поставляется извне. Для стабильного качества необходимы воспроизводимые свойства порошков/полимеров и контролируемость параметров процесса; ограничения поставок повышают стоимость владения и риски простоев [2].

4. Кадровые ограничения и дефицит DfAM. AM требуют междисциплинарных компетенций (материаловедение, САПР/CAE, постобработка, контроль качества). DfAM (Design for Additive Manufacturing) предполагает проектирование с учётом ориентации построения, поддержек, допусков, деформаций и требований к постобработке; нехватка практико-ориентированного обучения снижает воспроизводимость результатов [7].

5. Нормативно-метрологический контур. Для ответственных изделий необходимы единые подходы к терминологии, прослеживаемости материалов, испытаниям и квалификации процесса. Международной основой служат стан-

дарты ISO/ASTM (например, 52900), однако их внедрение требует методик и развитой испытательной инфраструктуры [4, 5].

6 Экономическая неопределённость. АМ не всегда снижают себестоимость детали, но могут давать эффект за счет сокращения сроков, снижения массы, объединения сборочных узлов и перехода к «цифровому складу» [3, 6].

Для ускорения развития АМ целесообразны: внедрение через прикладные кейсы с быстрым эффектом (оснастка, приспособления, ремонтные решения); создание центров аддитивных компетенций на базе вузов/технопарков совместно с предприятиями; обучение по траектории «САПР → DfAM → изготовление → постобработка → контроль»; развитие стандартов и культуры качества; снижение импортозависимости через локализацию материалов и сервисной поддержки [4, 5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов. – М. : Юрайт, 2025. – 146 с.
2. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, M. Khorasani. – 3rd ed. – Cham : Springer, 2021.
3. Wohlers Report 2024 : 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry / T. Wohlers [et al.]. – Fort Collins : Wohlers Associates, 2024.
4. ISO/ASTM 52900:2021. Additive manufacturing – General principles – Fundamentals and vocabulary. – Geneva : ISO ; West Conshohocken : ASTM International, 2021.
5. ISO/ASTM 52901:2017. Additive manufacturing – General principles – Requirements for purchased AM parts. – Geneva : ISO ; West Conshohocken : ASTM International, 2017.
6. **Frazier, W. E.** Additive manufacturing technology: potential implications for aerospace and defense / W. E. Frazier // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2014. – Vol. 23, № 6. – P. 1917–1928.
7. **Thompson, M. K.** Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints / M. K. Thompson // CIRP Annals. – 2016. – Vol. 65, № 2. – P. 737–760.