

УДК 629.78:67.02

Методика отбора деталей ракетно-космической техники для изготовления аддитивными технологиями

Рясов Александр Сергеевич

*Студент 6 курса**кафедра «Инструментальная техника и технологии»**факультет «Ракетно-космическая техника»**МГТУ им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Шуляк Ян Игоревич**кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

В современном ракетно-космическом машиностроении аддитивные технологии (АТ) приобретают широкое распространение. Они позволяют существенно сократить массу конструкций, а также уменьшить трудоемкость производства [1].

Практическое внедрение аддитивных технологий (АТ) в производство сопряжено со значительными капитальными затратами и организационной сложностью. На экономическую эффективность применения АТ влияет процедура отбора деталей для аддитивного производства. Изготовление деталей методами АТ сокращает лезвийную обработку, но, как правило, не устраняет ее полностью. Многие методы АТ требуют добавление технологических поддержек при изготовлении деталей и последующее их удаление. Таким образом, использование АТ для изготовления деталей ракетно-космической техники (РКТ) требует тщательного технико-экономического обоснования [2].

В связи с этим актуальной научно-практической задачей является разработка методики отбора деталей РКТ, базирующейся на комплексных критериях. Применение такой методики позволит минимизировать экономические потери, обусловленные нерациональным применением АТ.

Целью данной работы является разработка методики отбора деталей, изготовление которых целесообразно с использованием аддитивных технологий. Метод сочетает определенные признаки деталей РКТ, изготавливаемых методами АТ, а именно [3]:

- детали, имеющие высокую трудоемкость изготовления за счет длительности обработки, большого количества переустановов, необходимости изготовления штампов и пресс форм;
- детали, имеющие низкий коэффициент использования материала (КИМ);
- детали, разработанные в качестве замены сборочных единиц, которые невозможно изготовить как единую деталь традиционными методами.

Предлагаемая методика также включает в себя расчет коэффициента аддитивности k_{AT} , который численно позволяет определить сложность геометрии и перспективность её изготовления методами АТ. Коэффициент рассчитывается как отношение площади поверхности детали $S_{дет}$ к эквивалентной площади сферы $S_{эkv}$, объем которой равен объему детали $V_{дет}$ [4]:

$$k_{AT} = \frac{S_{дет}}{S_{эkv}} = \frac{S_{дет}}{4,836 \cdot (V_{дет})^{\frac{2}{3}}} = 0,207 \cdot S_{дет} \cdot (V_{дет})^{-\frac{2}{3}} \quad (1)$$

Согласно [4] детали с высоким значением коэффициента аддитивности ($k_{AT} > 4$) характеризуются сложной геометрией и являются предпочтительными для производства методами АТ. Для деталей с низкими значениями ($k_{AT} < 2$) применение аддитивных технологий, как правило, нецелесообразно. В диапазоне $2 < k_{AT} < 4$ аддитивное

производство характеризуется неопределенной или низкой экономической эффективностью.

Разработанная методика отбора деталей РКТ для изготовления методами АТ включает два основных этапа: предварительный и основной.

На предварительном этапе последовательно оценивают:

- наличие материала-аналога (порошка) и его прочностные характеристики после печати и отжига;
- возможность изготовления детали на доступном оборудовании.

Основной этап состоит из следующих шагов:

1. Расчет коэффициента аддитивности k_{AT} .
2. Классификация детали является ли деталь новой в номенклатуре или уже производится. Если это новое изделие – проверка по коэффициенту аддитивности k_{AT}
3. Для изделий, уже изготавливаемых на предприятии- проверка по коэффициенту аддитивности и коэффициенту использования материала (КИМ).
4. В случае, если изделие ранее изготавливали путем сборки из других компонентов, требовалась дорогостоящая оснастка или при $k_{AT} < 4$, то сравнивают трудоемкости изготовления детали методами АТ и традиционными технологиями.

В результате отбора деталь либо рекомендуют к изготовлению методом АТ, либо отсеивают.

Разработанная методика позволяет провести анализ деталей РКТ на возможность изготовления их технологиями АТ, сформировать информационную базу, которая послужит основой для принятия обоснованных решений о выборе конкретной технологии 3D-печати, определении номенклатуры и количества необходимого оборудования.

Литература

1. Халеков Я.А., Данилов Н.А., Федченко Т.А. Аддитивные технологии в ракетно-космической технике // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т. Красноярск, 2021. Т. 1. С. 217–219.
2. Пономарёв А.А. К вопросу обоснования выбора деталей для аддитивного производства // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2020. Т. 16, № 4 (87). С. 101–106. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80547792> (дата обращения: 19.03.2026).
3. Зайцев А.М., Шачнев С.Ю. Определение направлений применения технологии селективного лазерного сплавления при технологической подготовке производства изделий ракетно-космической техники // Аддитивные технологии. 2022. № 2. URL: <https://additiv-tech.ru/publications/opredelenie-napravleniy-primeneniya-tehnologii-selektivnogo-lazernogo-splavleniya-pri> (дата обращения: 19.03.2026)
4. Федосеев Д.В., Козляков П.Ю., Попарецкий А.В., Стариков Р.А. Отбор деталей ГТД для изготовления с помощью аддитивных технологий // Аддитивные технологии. 2020. Т. 4. С. 20–23.