

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. №3 (165). С.11-18.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. №3 (165). P.11-18.

Научная статья
УДК 621.9.06
doi: 10.30987/2223-4608-2025-3-11-18

Материалоемкость, как показатель технологичности, при изготовлении изделий методами аддитивной технологии

Евгения Андреевна Курсевич¹, аспирант
Юрий Сергеевич Абраменко², к.т.н.

^{1,2} ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия
¹ ingénue@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>
² vniitf@vniitf.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

***Аннотация.** В данной статье рассмотрены способы оценки материалоемкости изделий при изготовлении методами аддитивных технологий (АТ). Рассмотрены исследования, проведенные по данной теме разными авторами, применительно к аддитивному производству. Проанализированы способы расчетов материалоемкости, сделаны выводы об изученности вопроса. Проведены расчеты материалоемкости комплекта деталей, изготовленного двумя разными способами – механической обработкой и методом АТ. Рассчитаны коэффициенты использования материала, рассчитана стоимость материалов, затраченных на изготовление деталей, механической обработкой и методом АТ. Проведён сравнительный анализ стоимости заготовок. Сделаны выводы о невозможности однозначного предпочтения выбора изготовления деталей по такому критерию, как коэффициент использования материала. Сделаны выводы о необходимости дальнейшего исследования технологичности изделий при изготовлении изделий с помощью АТ.*

Ключевые слова: технологичность конструкции изделия, материалоемкость, коэффициенты технологичности, аддитивные технологии

Для цитирования: Курсевич Е.А., Абраменко Ю.С. Материалоемкость, как показатель технологичности, при изготовлении изделий методами аддитивной технологии // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 3 (165). С. 11–18. doi: 10.30987/2223-4608-2025-3-11-18

Material consumption capacity as a technology index for manufacturability in the production when using additive technology methods

Evgenia A. Kursevich¹, PhD student
Yuri S. Abramenko², PhD Eng.

^{1,2} FSUE «RFNC-All-Russian Research Institute of applied physics named after Academician E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia
¹ ingénue@yandex.ru
² vniitf@vniitf.ru

Abstract. Ways of characterization for material consumption capacity of products manufacture using additive technologies (AT) is viewed in the article. The research conducted on this topic by various authors in relation to additive manufacturing is discussed. The methods of calculating the material consumption capacity are analyzed, conclusions concerning previous studies are drawn. The calculations of the material consumption capacity for a full set of components were made using two different techniques – machine working and the AT method. The material utilization ratios are found, the cost of materials spent on the manufacture of parts by machine working and using AT technique is calculated. A comparative analysis of the cost of raw material was carried out. Conclusions are drawn about the impossibility of an unambiguous preference for the choice of manufacturing parts based on such criteria as the material utilization ratio. It has been concluded that further research of the manufacturability of products using AT is quite indispensable.

Keywords: adaptability of product design, material consumption capacity, handling properties coefficients, additive technologies

For citation: Kursevich E.A., Abramenko Yu.S. Material consumption capacity as a technology index for manufacturability in the production when using additive technology methods / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 3 (165). P. 11–18. doi: 10.30987/2223-4608-2025-3-11-18

Введение

В современной производственной отрасли наблюдается активный рост использования аддитивных технологий. Эти технологии зарекомендовали себя не только как средство для прототипирования, но и как полноценные производственные решения. Это особенно стало очевидно в последние года, ведь даже там, где эти технологии не рассматривались серьезно, например, в военно-промышленном комплексе, авиастроении и других, начинается ускоренное внедрение и адаптация производственных процессов к современным условиям производства. Этот факт ставит вопрос об эффективном и целесообразном применении аддитивных технологий (АТ) при изготовлении различной продукции.

Эффективность использования любого процесса производства можно оценить с помощью разных показателей, но основные из них это показатели, характеризующие потребление ресурсов – материала, труда, энергии. В свою очередь оптимальное соотношение затрат ресурсов на производство определяется технологичностью конструкции изделия для данного вида производства [1].

Рассмотрим один из ключевых аспектов оценки технологичности изделий для производства – материалоемкость изделий, применительно к процессу изготовления методом АТ.

В отличие от традиционных технологий

обработки, аддитивные методы позволяют более рационально использовать материалы. Послойное изготовление деталей минимизирует отходы и позволяет задействовать только необходимое количество сырья. Кроме того, конструкция изделий, оптимизированная для АТ, может предусматривать полые внутренние элементы, что снижает общую материалоемкость [2].

Но есть и ряд недостатков при учёте материалоемкости такого изделия:

– необходимость добавления поддержек в модель изделия для 3D-печати не редко является обязательным действием из-за конструктивных особенностей и при этом вес поддержек может составлять почти полный вес основного изделия, а их удаление приводит к решению дополнительных технологических задач;

– детали, полученные методом аддитивных технологий чаще всего, не полностью соответствуют требованиям конструкторской документации и требуют дополнительной обработки, что влечёт за собой возможные затраты материала на изготовление технологической оснастки для закрепления детали на механических операциях;

– стоимость материала для 3D-печати намного выше, чем стоимость этого же материала, полученного литьем или прокатом. Например, стоимость одного килограмма порошка 12X18H10T примерно 25 тыс. на рынке в зависимости от изготовителя, а стоимость заготовки из круга того же материала

приблизительно в 35 раз ниже.

Таким образом, разработка критериев оценки материалоемкости конструкций при производстве методами аддитивных технологий является важной научной и практической задачей.

Задача данного исследования – определение особенностей материалоемкости изделия при изготовлении методом аддитивных технологий, с учётом их возможностей, достоинств и недостатков.

Исследование

Рассмотрим опыт исследования материалоемкости изделия, как одного из основных показателей технологичности изделия, рассмотрим расчёт стоимости материала с учётом коэффициентов использования материала.

В разных научных работах зарубежных и отечественных авторов всесторонне рассматривается материалоемкость изделий. Рассмотрим основные положения из них.

Основной показатель материалоемкости – коэффициент использования материала. Рассмотрим формулу для расчёта коэффициента материалоемкости с учётом особенностей аддитивных технологий. Коэффициент материалоемкости K_M можно определить по следующей формуле:

$$K_M = \frac{M_d + M_{\Pi}}{M_{\Gamma}}, \quad (1)$$

где M_d – масса материала, израсходованного на изготовление основной детали; M_{Π} – масса материала, израсходованного на изготовление поддерживающих конструкций; M_{Γ} – масса готового изделия [3].

Таким образом, этот коэффициент материалоемкости учитывает как материал, необходимый для изготовления самой детали, так и дополнительный материал, требующийся для создания поддерживающих конструкций.

Формула (1) отражает только самые очевидные затраты материала при изготовлении АТ. В работах зарубежных

авторов, которые всесторонне рассматривают материалоемкость таких технологий, предлагаются новые коэффициенты для оценки данных процессов. Так как в исследованиях [3 – 8] отмечается, что для большинства аддитивных технологий K_M составляет 0,3...0,6, что означает высокие потери материала в процессе производства и это влечёт за собой необходимость применять более детальный подход к расчёту материалоемкости. Например, помимо коэффициента использования материала предлагается использовать показатель удельной массы материала:

$$K_M = \frac{M_{\Gamma}}{V_{\Gamma}} \quad (2)$$

где M_{Γ} – масса готового изделия; V_{Γ} – объем готового изделия [4].

Этот показатель позволяет оценить эффективность использования материала с учётом геометрии и плотности изготавливаемого изделия.

Кроме того, рассматривается влияние ориентации изделия на платформе на материалоемкость. Авторы предлагают использовать коэффициент ориентации:

$$K_{OP} = \frac{M_{\Pi}}{M_0}, \quad (3)$$

где M_{Π} – масса материала, использованного на поддерживающие конструкции; M_0 – общая масса потребленного материала [5].

Ориентация изделия, требующая меньшего объема поддерживающих структур, позволяет снизить расход материала. Таким образом, для всесторонней оценки материалоемкости при аддитивном производстве следует учитывать следующее: коэффициент использования материала; удельную массу материала; коэффициент ориентации; влияние геометрической сложности, плотности заполнения и типа аддитивной технологии [6].

Комплексное применение этих показателей позволит более точно оценить эффективность использования материалов в

аддитивном производстве.

Еще один важный фактор – возможность повторного использования неиспользованного сырья (нерасплавленного порошка, остаточных материалов и т. д.). Если эти материалы могут быть эффективно переработаны и вновь использованы в производственном процессе, то это позволит значительно повысить общий коэффициент.

Помимо этого, при оценке материалоемкости необходимо учитывать возможность использования вторичных материалов вместо первичных. Применение таких материалов может значительно снизить общий объем потребляемых ресурсов.

Таким образом, можно оценить и минимизировать все составляющие, которые влияют на материалоемкость, с целью повышения эффективности использования материалов.

Помимо рассмотренных ранее показателей, при оценке материалоемкости аддитивного производства важно также учитывать влияние стадии постобработки. На этапе постобработки возникают дополнительные потери материала, например, при механической обработке для достижения требуемой геометрической точности. Такие потери могут существенно снизить общий коэффициент использования материала.

Но даже с учётом всех потерь и с применением всех мероприятий по экономичному использованию материала, невозможно однозначно сказать экономично ли изготовление деталей с помощью АТ, рассчитав только затраты на материал.

Необходимо провести сравнительный анализ с традиционными методами производства.

Ведь выбор способа производства – становится краеугольным камнем для обеспечения конкурентоспособности предприятия, выполнения сроков изготовления, а также обеспечения высокого качества изделий.

Если речь идёт о деталях, которые

невозможно изготовить другими методами, кроме АТ, то выбор определен, но тогда вопросы уже к конструкции изделия: действительно ли целесообразна такая конструкция? Обоснованно ли ограничение способа производства?

Для оценки материалоемкости был изготовлен комплект деталей двумя методами – механической обработкой и методом аддитивных технологий. После 3D-печати была проведена доработка рабочих поверхностей деталей, удалены поддержки, шероховатость доведена до требований конструкторской документации.

Расчеты

Рассчитаем материалоемкость трех деталей для изготовления механической обработкой и методом аддитивных технологий.

1. Деталь «Цилиндр» (рис. 1). Масса детали 0,16 кг. Материал заготовки 12X18H10T.

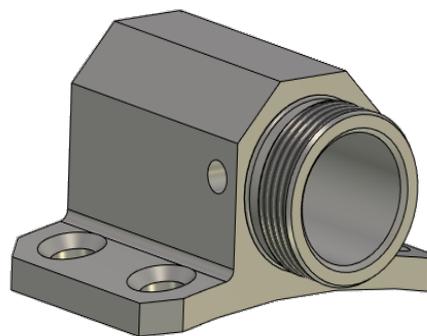


Рис. 1. Цилиндр

Fig. 1. Cylinder

1.1. При изготовлении механическим способом: заготовка 12X18H10T круг 70; $M = 2,07$ кг; коэффициент использования материала 0,08. Низкий коэффициент и стоимость заготовки составляет 841,45 руб.

1.2. При изготовлении методом АТ: заготовка – порошок 12X18H10T; $M = 0,20$ кг (с учётом удалённых поддержек и потерь материала на доработку рабочих поверхностей); коэффициент использования материала 0,8. Высокий коэффициент. Стоимость порошка для 3D-печати 12X18H10T

на рынке в зависимости от производителя ~ 25000 руб., т. е. материал на изготовление данной детали стоит 5000 руб. Это в шесть раз выше, чем стоимость заготовки из круга.

2. Деталь «Рычаг» (рис. 2). Масса детали – 0,119 кг. Материал заготовки: 12X18H10T.

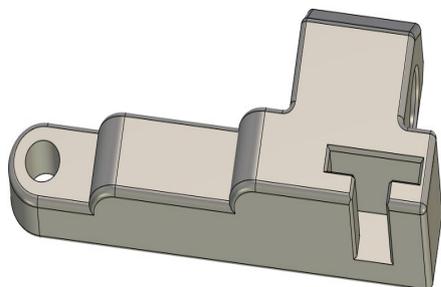


Рис. 2. Рычаг

Fig. 2. Lever

1.1 При изготовлении механическим способом: заготовка 12X18H10T круг 40; $M = 0,82$ кг; коэффициент использования материала 0,15. Низкий коэффициент, стоимость заготовки составляет 333 руб.

1.2 При изготовлении методом АТ6: заготовка – порошок 12X18H10T; $M = 0,17$ кг (с учётом удаленных поддержек и потерь материала на доработку рабочих поверхностей); коэффициент использования материала 0,7. Материал на изготовление данной детали стоит 4165 руб. Это в 13 раз

выше, чем стоимость заготовки из круга.

3. Деталь «Крючок» (рис. 3). Масса детали – 0,046 кг. Материал заготовки: 12X18H10T.

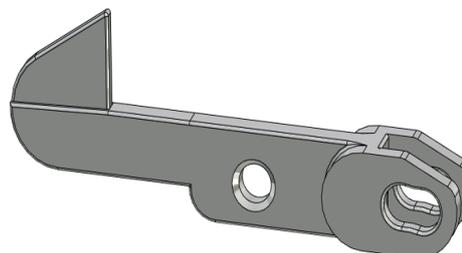


Рис. 3. Крючок

Fig. 3. Hook

1.3 При изготовлении механическим способом: заготовка 12X18H10T лист 16; $M = 0,72$ кг; коэффициент использования материала 0,06. Низкий коэффициент, стоимость заготовки составляет 360 руб.

1.4 При изготовлении методом АТ: заготовка – порошок 12X18H10T; $M = 0,064$ кг (с учётом удаленных поддержек потерь материала на доработку рабочих поверхностей); коэффициент использования материала 0,7. Материал на изготовление данной детали стоит 1600 руб., что в 4 раз выше, чем стоимость заготовки из листа. Сведем данные расчёты в табл. 1.

1. Расчет стоимости материала для изготовления деталей с учетом коэффициента использования материала

1. Calculation of the cost of the material for the parts manufacture, taking into account the material utilization ratio

Деталь	Метод изготовления	Коэффициент использования материала	Стоимость материала заготовки, руб.
Цилиндр	Механическая обработка	0,08	841
	Аддитивные технологии	0,80	5000
Рычаг	Механическая обработка	0,15	333
	Аддитивные технологии	0,70	4165
Крючок	Механическая обработка	0,06	360
	Аддитивные технологии	0,70	1600

Несмотря на то, что K_M для аддитивного производства гораздо выше, чем при механической обработке, сама стоимость заготовки выходит гораздо дороже, что видно из табл. 1. Причем стоимость отличается от 4 до 13 раз. Это слишком большая разница, чтобы её игнорировать при выборе способа производства. Конечно, это обусловлено стоимостью порошков для 3D-печати и со временем, с развитием технологий, стоимость будет снижаться, но этот процесс медленный и постепенный, а на данном этапе говорить об экономичности АТ, по сравнению с механической обработкой из-за высокого коэффициента использования материала, по меньшей мере, некорректно.

Выводы

По результатам проведенного исследования оценки материалоемкости, как показателя технологичности, при изготовлении изделий методами аддитивной технологии, можно сделать следующие выводы:

1. Для рационального использования аддитивных технологий необходимо разработать научно обоснованные критерии оценки технологичности не только с учётом особенностей АТ, но и с возможностью сравнения с традиционными методами производства;

2. Коэффициент использования материала при аддитивных технологиях, даже при выполнении всех мероприятий по оптимизации использования материала и с возможностью рециркуляции, переработки отходов, все равно не равен единице. С учётом высокой стоимости материалов для АТ затраты на материал гораздо выше, чем при механической обработке, даже в том случае, когда для изготовления механической обработкой коэффициент использования материала очень низкий.

3. Оценка материалоемкости должна носить комплексный характер, с учётом достоинств и недостатков аддитивных технологий, с проработкой мероприятий по рациональному использованию материала и самих АТ, что позволит снизить себестоимость продукции и экологическую нагрузку при производстве изделий.

4. Оптимальность решения по выбору метода изготовления деталей должна основываться на расчётных данных и на подтверждаемых коэффициентах для обеспечения конкурентоспособности предприятия. Это особенно актуально сейчас, когда срок от идеи до внедрения и производства изделий становится все меньше.

5. Определение рационального расхода материальных ресурсов является важным критерием при выборе оптимальных технологических решений и обеспечения эффективности производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 14.205–83. Технологичность конструкции изделий. Введ. 1983–04–01. М.: Издательство стандартов, 1983. 11 с.

2. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьлина. Санкт–Петербург, 2013. 222 с.

3. Meng Y., Zhang Y. Design for additive manufacturing: A review of case studies // Assembly Automation. 2014. Vol. 34, no. 4. P. 274–283. doi: 10.1108/AA-04-2014-047.

4. Guvendiren M., Molde J., Soares R.M.D., Kunkel E., Smith B., Padilla P. Impact of design and process parameters on mechanical properties of 3D printed parts // Additive Manufacturing. 2021. Vol. 38. 101804

5. Kheifetz M.L. From Information and Additive Technologies to Self-Reproduction of Machines and Organisms // Advanced Materials and Technologies. 2018. No. 1. P. 22–35. DOI 10.17277/amt.2018.01. pp. 022–035. EDN XWDLAD

6. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. 656 с. ISBN 978–5–94836–447–6

7. Tomlin M., Meyer J. Topology optimization of an additive layer manufactured (ALM) aerospace part. In Proceedings of the Proceeding of the 7th Altair CAE technology conference; 2011; pp. 1–9.

8. Аддитивные технологии [Электронный ресурс]: практикум / Л.В. Беляев, А.В. Жданов; Владим. гос. ун–т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. Владимир: Изд–во ВлГУ, 2022. 88 с. ISBN 978–5–9984–1348–3.

9. Остапенко Т.П., Молодженова В.Н.

Формирование показателей материалоемкости продукции машиностроения // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2005. № 10. С. 77–80. EDN HSFOLT.

10. **Базров Б.М., Троицкий А.А.** Анализ метода оценки технологичности конструкции изделия как предмета производства // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. № 4 (241). С. 39–43.

11. **Жадик Н.П., Цыблиенко Н.В., Посевин И.Ю.** Материалоемкость и энергоёмкость объектов труда в технологической подготовке // Технологическое образование: достижения, инновации, перспективы: Межвузовский сборник статей XII междунар. науч.–практ. конф.: в 2 т., Тула, 15–18 февраля 2011 г. С. 82–86. EDN UDSOLD.

12. **Агафонцев А.С., Вовк Н.Н., Клевнов Ю.В. и др.** Эффективность использования аддитивных технологий как альтернативы традиционным субтрактивным технологиям при изготовлении сложных деталей из металла // Труды РФИЦ–ВНИИЭФ. 2017. № 22–2. С. 228–231. EDN LVQBCC.

13. **Абрамов И.В.** Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 2. EDN CEXVOS.

14. **Алабугин А.А., Топузов Н.К.** Как построить инновационно–ориентированную систему ресурсосберегающего развития предприятия? // Управление персоналом. 2009. № 14. С. 33–40. EDN KZIANJ.

15. **Витязь П.А., Хейфец М.Л., Чижик С.А.** «Индустрия 4.0»: от информационно–коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико–технических наук. 2017. № 2. С. 54–72. EDN YUGXFV.

16. **Технологичность** конструкции изделий машиностроения: учебное пособие / А.П. Бабичев, В.И. Безжон, М.Е. Попов, А.М. Попов, А.Г. Хведелидзе, Н.О. Шевченко. Ростов–на–Дону, 2014. 124 с.

17. **Государственная программа «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности»** [Электронный ресурс] / Правительство РФ: офиц. сайт. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/862/events/> (дата обращения: 14.09.2023).

18. **Материалы** и процессы аддитивных технологий (быстрое прототипирование) /

В.А. Дьяченко, И.Б. Челпанов, С.О. Никифоров, Д.Д. Хозонхонова. Улан–Удэ: Изд–во БНЦ СО РАН, 2015. 198 с.

19. **Оценка** количественных показателей производственной технологичности деталей / П.Ю. Бочкарев, Л.Г. Бокова. Саратов: Саратовский гос. техн. ун–т, 2015. 110 с.

20. **Скворцова Д.А.** Разработка дополнительных коэффициентов для оценки технологичности серийной сборки наукоемких многокомпонентных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 6. С. 3–7.

REFERENCES

1. GOST 14.205–83. Manufacturability of the product design. Introduced on 1983-04-01. Moscow: Publishing House of Standards, 1983. 11 p.

2. Additive technologies in mechanical engineering: a textbook / M.A. Zlenko, A.A. Popovich, I.N. Mutylina. Saint Petersburg, 2013. 222 p.

3. Meng Y., Zhang Y. Design for additive manufacturing: A review of case studies // Assembly Automation. 2014. Vol. 34, no. 4. P. 274–283. doi: 10.1108/AA-04-2014-047.

4. Guvendiren M., Molde J., Soares R.M.D., Kunkel E., Smith B., Padilla P. Impact of design and process parameters on mechanical properties of 3D printed parts // Additive Manufacturing. 2021. Vol. 38. 101804

5. Kheifetz M.L. From Information and Additive Technologies to Self-Reproduction of Machines and Organisms // Advanced Materials and Technologies. 2018. No. 1. P. 22–35. DOI 10.17277/amt.2018.01. pp. 022–035. EDN XWDLAD

6. Gibson, Ya., Rosen, D., Stocker, B. Additive manufacturing technologies. Three-dimensional printing, rapid prototyping and direct digital production. Moscow: TECHNOSPHERE, 2016. 656 p. ISBN 978-5-94836-447-6

7. Tomlin M., Meyer J. Topology optimization of an additive layer manufactured (ALM) aerospace part. In Proceedings of the Proceeding of the 7th Altair CAE technology conference; 2011; pp. 1–9.

8. Additive technologies [Electronic resource]: practicum / L.V. Belyaev, A.V. Zhdanov Sort; Vladimir State University named after A.G. N. G.G. Stoletov. Vladimir: publ.house–VISU, 2022. p. 88. ISBN 978– 5-9984-1348-3.

9. Ostapenko T.P., Molodozhenova V.N. Formation of indicators of material consumption of

machine-building products // News of higher educational institutions. Mechanical engineering, 2005, no. 10, pp. 77–80. EDN HSFOLT

10. Bazrov B.M., Troitskiy A.A. Assessment production manufacturability of the design in the product life cycle. Handbook. An engineering magazine with a supplement, 2017, no. 4 (241). pp. 39–43.

11. Zhadik N.P., Tsyblyienko N.V., Posevin I.Yu. Material and energy consumption of labor objects in technological training // Techno-economic education: achievements, innovations, prospects: Interuniversity collection of articles of the XII International Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Tula, February 15-18, 2011. Pp. 82–86. EDN UDSOLD.

12. Agafontsev A.S., Vovk N.N., Klevtsov Yu.V. et al. The effectiveness of using additive technologies as an alternative to traditional subtractive technologies in the manufacture of complex metal parts // Proceedings of the RFNC–VNIIEF, 2017, no. 22-2. pp. 228–231. EDN LVQBCC.

13. Abramov I.V. Problems and prospects of digitalization of industrial enterprises using additive technologies // Bulletin of Eurasian Science. 2023, vol. 15, no. 2. EDN CEXVOS.

14. Alabugin A.A., Topuzov N.K. How to build an innovation-oriented system of resource-saving enterprise development? // Personnel management. 2009, no. 14, pp. 33–40. EDN KZIAHJ.

15. Vityaz P.A., Kheifets M.L., Chizhik S.A. «Industry 4.0»: from information and communication

and additive technologies to self-reproduction of machines and organisms // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. A physical and technical sciences issue. 2017, no. 2, pp. 54–72. EDN YUGXFV.

16. Manufacturability of Engineering Product Design: a textbook / A.P. Babichev, V.I. Bezjon, M.E. Popov, A.M. Popov, A.G. Khvedelidze, N.O. Shevchenko. Rostov-on-Don, 2014, 124 p.

17. The state program «Development of industry and increasing its competitiveness» [Electronic resource] / Government of the Russian Federation: official website. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/862/events/> (date of access: 09/14/2023).

18. Materials and processes of additive technologies (rapid prototyping) / V. A. Dyachenko, I. B. Chelpanov, S.O. Nikiforov, D.D. Khozonkhonova. Ulan-Ude: Publishing House of the BSC SB RAS, 2015, 198 p.

19. Evaluation of quantitative indicators of the production adaptability of parts / P.Y. Bochkarev, L.G. Bokova. Saratov: Saratov State Technical University, 2015, 110 p.

20. Skvortsova D.A. Development of additional coefficients for assessing the manufacturability of serial assembly of high-tech multicomponent products // Assembling in mechanical engineering, instrument-making. 2015, no. 6, pp. 3–7

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.12.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 26.01.2025.

The article was submitted 05.12.2024; approved after reviewing 23.12.2024; asseped for publication 26.01.2025.