

УДК 621.7:658.1

DOI: 10.30987/article_5c486cc4ba27c1.37542277

П.Ю. Бочкарев, д.т.н.,

Л.Г. Бокова, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.», 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

E-mail: bpy@mail.ru; bokovalg@mail.ru

Состояние и направления развития в области обеспечения технологичности конструкции изделий

Рассмотрено состояние подходов и методик оценки технологичности изделий на настоящее время. Приведены источники информации и нормативно-справочной литературы по видам, показателям и методам обработки конструкции детали на технологичность. Представлены современные направления научных исследований в области обеспечения технологичности конструкции изделия.

Ключевые слова: технологичность конструкции изделий; обработка конструкции изделия на технологичность; методы оценки технологичности конструкции изделий; показатели технологичности; производственная технологичность изделий.

P.Yu. Bochkaryov, Dr. Sc. Tech.,

L.G. Bokova, Can. Sc. Tech.

(FSBEI HE "Gagarin State Technical University of Saratov", 77, Polytechnicheskaya Str, Saratov, 410054)

State and directions of development in field of product design manufacturability assurance

A present state of approaches and procedures for the assessment of product manufacturability is considered. There are shown sources of information and regulatory-reference literature on types, indices and methods of part design optimization for manufacturability. Current directions in scientific investigations in the field of manufacturability assurance of a product design are presented.

Keywords: product design manufacturability; product design optimization for manufacturability; methods for assessment of product design manufacturability; product manufacturability.

Технологичность, как совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при его производстве, ремонте и утилизации, является суммарным индикатором качества проектных решений создания техники. Основопологающие подходы к исследованиям в области обеспечения технологичности конструкции изделий (ТКИ) отражены в сформированных известными учеными понятиях и определениях (табл.1), позволяющих проследить эволюцию развития одного из базовых разделов техноло-

гии машиностроения как науки.

Технологичность изделия охватывает совокупность ее свойств, проявляемых в возможности оптимизации затрат труда, средств, материалов и времени при технической и технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с совокупностью соответствующих свойств однотипных конструкций изделий одинакового назначения при обеспечении заданных показателей качества и определенных условий изготовления, эксплуатации и ремонта.

1. Хронологическая последовательность понятий и определений технологичности

Понятие или определение технологичности	Автор(ы)
В широком смысле под технологичностью конструкции понимают такую, которая обеспечивает возможность наиболее экономичного изготовления деталей при требуемом качестве и заданном масштабе выпуска и серийности.	Балакшин Б.С., 1950 г.
Технологичность конструкции изделия, совокупность свойств конструкции изделия, которые обеспечивают его изготовление, ремонт и техническое обслуживание по наиболее эффективной <u>технологии</u> по сравнению с однотипными конструкциями того же назначения при одинаковых условиях их изготовления и эксплуатации и при одних и тех же показателях качества. Применение эффективной технологии предполагает оптимальные затраты труда, материалов, средств, времени при <u>технологической подготовке производства</u> , в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта, включая подготовку изделия к функционированию, контроль его работоспособности, профилактическое обслуживание.	Яновский Г.А. Методика обработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. – М., 1973.
Технологичность конструкции изделия (технологичность) – совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, техническом обслуживании и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.	ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
Технологичной признается конструкция, ориентированная на технологический процесс, обеспечивающий требуемые значения критериев качества изделия при лучших показателях эффективности производства, к которым, как известно, относятся трудоемкость, материалоемкость и себестоимость изделия.	Стрелец А.А., Фирсов В.А. Размерные расчеты в задачах оптимизации конструкторско-технологических решений. – М.: Машиностроение, 1988. – 120 с.
Технологичность – это совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при его производстве, ремонте и утилизации.	Технологичность конструкций изделий: справочник / под общ. ред. Ю.Д. Амирова. 2-е изд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 1990. –768 с.
Технологичность – соответствие изделия требованиям производства и эксплуатации. Технологичность обеспечивается при разработке конструкции изделия. Технологичной называется такая конструкция изделия или составляющих его элементов (деталей, сборочных единиц), которая обеспечивает заданные эксплуатационные качества продукции и позволяет при данной серийности изготавливать её с наименьшими затратами труда, материалов.	Большой энциклопедический политехнический словарь. – М., 2004.

К условиям изготовления или ремонта относят: тип, специализацию и организацию производства, годовую программу и повторяемость выпуска, применяемые технологические процессы. Требования к технологичности конструкции изделия обуславливаются видом изделия (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект), объемом выпуска, типом производства, которые определяют степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специфику всего производства [5].

Технологичность конструкции изделия отражает не функциональные свойства изделия, а свойства его как объекта производства и эксплуатации. Изделие можно считать технологичным, если оно не только соответствует современному уровню техники, экономично и удобно в эксплуатации, но в нем учтены и возможности применения наиболее эконо-

мичных, производительных процессов изготовления, ремонта и утилизации. Из этого следует, что технологичность – понятие комплексное. С другой стороны, технологичность – понятие относительное, так как при разной программе выпуска изделия технологии изготовления и ремонта существенно различаются [3].

Целью обеспечения технологичности является придание конструкции изделия такого комплекса свойств, при котором достигаются оптимальные значения затрат всех видов ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте изделия для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Задачи технологичности конструкции изделий: прогнозирование, установление и применение базовых показателей ТКИ для данного вида изделий; обработка конструкции изделия

на технологичность при технической подготовке производства; совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте; количественная оценка ТКИ; технологический контроль конструкторской документации.

Значительный вклад в развитие отработки конструкции изделия на технологичность внес Ю.Д. Амиров [3], который вместе с другими авторами [5, 6] выполнил систематизацию отработки конструкции изделий на технологичность в соответствии с этапами жизненного цикла изделия от создания эскизного проекта до эксплуатации, предложил показатели и способы оценки ТКИ [1, 2].

Под оценкой ТКИ подразумевается комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих последовательное выявление, ТКИ в целом или отдельных рассматриваемых ее свойств, сопоставление выявленных свойств данного изделия со свойствами изделия, конструкция которого принята в качестве базы для сравнения, и представление результатов сопоставления в форме, приемлемой для принятия управленческих решений по совершенствованию конструкции разрабатываемого изделия.

В зависимости от используемых средств оценки применяют инженерно-расчетные и инженерно-визуальные методы оценки ТКИ. В зависимости от используемых методов оценки различают количественную и качественную оценку ТКИ [1 – 3].

Выбор показателей технологичности для отдельных этапов проектирования и с учетом объекта производства выполняется на основе требований, установленных ГОСТ 14.201-83 [1]:

- Технологичность конструкции изделия – понятие относительное. Технологичность одной и той же машины будет разной для различных типов производства (единичного, серийного и массового) и для предприятий с различными производственными возможностями (с различным оборудованием). Развитие техники меняет уровень технологичности конструкции. Нетехнологичные конструкции могут стать вполне технологичными при новых методах обработки.

- Технологичность конструкции изделий – понятие комплексное, так как конструкцию нельзя рассматривать изолированно. Отработанная на технологичность конструкция подготовки не должна усложнять последующую механообработку. Нужно стремиться получить наименьшую трудоемкость и себестоимость изготовления машины в целом.

- Понятие технологичности конструкции изделий распространяется также на область их эксплуатации. Конструкция машин должна быть удобной для обслуживания и ремонтнопригодной, т.е. должна обеспечивать легкость и удобство разборки и сборки, узлового ремонта частей машин.

Обеспечение ТКИ является функцией подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия [3, 6].

Комплекс мероприятий по обеспечению технологичности проводится на всех этапах проектирования и включает: отработку конструкции изделия на технологичность на всех стадиях конструкторской разработки изделия при технологической подготовке производства и определенных условиях при изготовлении изделия; совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий; количественную оценку ТКИ; технологический контроль конструкторской документации; подготовку и внесение изменений в конструкторскую документацию по результатам технического контроля; обеспечение достижения базовых значений показателей технологичности.

Система обеспечения ТКИ должна предусматривать возможность принятия решений как по конструкции изделия, так и по условиям его производства. Отработку конструкции изделия на технологичность при выполнении конструкторских работ проводят на основе комплексного использования известных методов и приемов конструирования, обеспечивающих технологическую рациональность и типизацию конструкции изделия. Характеристика наиболее распространенных методов и приемов, используемых при отработке конструкции изделия на технологичность, и общие рекомендации по их применению представлены в работах [3 – 5, 9].

Технологический процесс сборки включает в себя совокупность операций установки, соединения, формообразования и прочих операций, в результате выполнения которых отдельные элементы конструкции, входящие в сборочную единицу, занимают относительно друг друга требуемое положение и соединяются способами, указанными в чертежах

изделия.

Для обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы в процессе конструирования изделия должны быть выполнены следующие условия [3]: полная взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, т.е. конструктивное оформление деталей и узлов, исключающее подгоночные работы в процессе установки; обеспечение удобного подхода при использовании монтажно-сборочных инструментов и приспособлений; обеспечение возможности применения прогрессивных средств технологического оснащения; обеспечение применения дифференцированных схем сборки за счет рационального членения изделия на агрегаты, секции, узлы и детали.

Геометрические формы элементов конструкции сборочной единицы должны быть, по возможности, простыми. Сложные геометрические формы усложняют процесс сборки, так как требуют использования специализированного или специального нестандартного технологического оборудования, инструмента и приспособлений для сборочных работ и контроля качества сборки.

Эффективными методами повышения технологичности конструкции сборочной единицы являются типизация и унификация конструктивных компоновок, узлов и деталей в пределах однотипных групп объектов производства. Унификация и стандартизация элементов сборочных единиц должны ограничивать применение типоразмеров таких конструктивных элементов, как болты, заклепки, штифты, пружины, резьбы, модули зубчатых колес, диаметры отверстий и т.п.

Исследования в области обеспечения технологичности конструкции изделий в настоящее время включают как совершенствование системы показателей, так и методических принципов оценки ТКИ, связанных с современным развитием производственных комплексов и конструкторско-технологической подготовки.

Под научным руководством профессора Б.М. Базрова (ФГБУН ИМАШ им. Благонравова) [10, 11] исследуются влияние размерных цепей на трудоемкость изготовления и технологичность, связи между коэффициентами технологичности и видами трудоемкости изготовления изделий, разработан метод расчета уровня технологичности конструкции изделия посредством суммирования коэффициентов технологичности, базирующийся на учете степени влияния коэффициентов.

В современных условиях быстрого развития информационных технологий и научно-технического прогресса возникает необходимость комплексного преобразования элементов производства и эксплуатации изделий, перехода от разрозненных технологий и технических средств к целостным системам, охватывающим конструирование изделия, технологическую подготовку производства, изготовление и эксплуатацию изделия.

Общим недостатком традиционных методов обеспечения и оценки ТКИ является отсутствие системной связности между ними и неадекватность расчётных методик с реальными факторами и процессами, определяющими ТКИ. Этому недостатку лишены методы, используемые в интегрированных автоматизированных системах обработки информации. Интеграция автоматизированных систем различного назначения в единую автоматизированную систему является основным направлением их развития [8], обеспечивающим за счет гибкости принятия в кратчайшие сроки комплексного решения проектно-конструкторских, технологических и управленческих задач.

Наиболее важным фактором, оказывающим влияние на качество изделия, а также эффективность его производства, эксплуатации и ремонта, является производственная технологичность изделия. При обеспечении производственной технологичности наибольший интерес представляют проектные решения, принимаемые в автоматизированном режиме на основе базы данных о реальных технологических возможностях оборудования и складывающейся производственной ситуации.

Оценка производственной технологичности с применением ряда показателей [7] (рис. 1) определяет не абстрактную технологичность деталей, а технологичность для конкретной производственной системы, что делает более корректным прогноз эффективности функционирования производственной системы при изготовлении деталей.

Автоматизация оценки технологичности конструкции изделий является одной из важнейших задач современной технологии машиностроения [8], а процедуру оценки технологичности следует рассматривать как важный этап технологической подготовки производства. Решение данной задачи необходимо осуществлять в рамках создания комплексной автоматизированной системы технологической подготовки производства, которая позволит смоделировать множество возможных вариан-

тов технологических процессов изготовления заданных изделий и сформировать рекомендации либо по совершенствованию конструкции изделия, либо по изменению средств тех-

нологического оснащения с целью обеспечения производственной технологичности и повышения эффективности функционирования производственной системы.

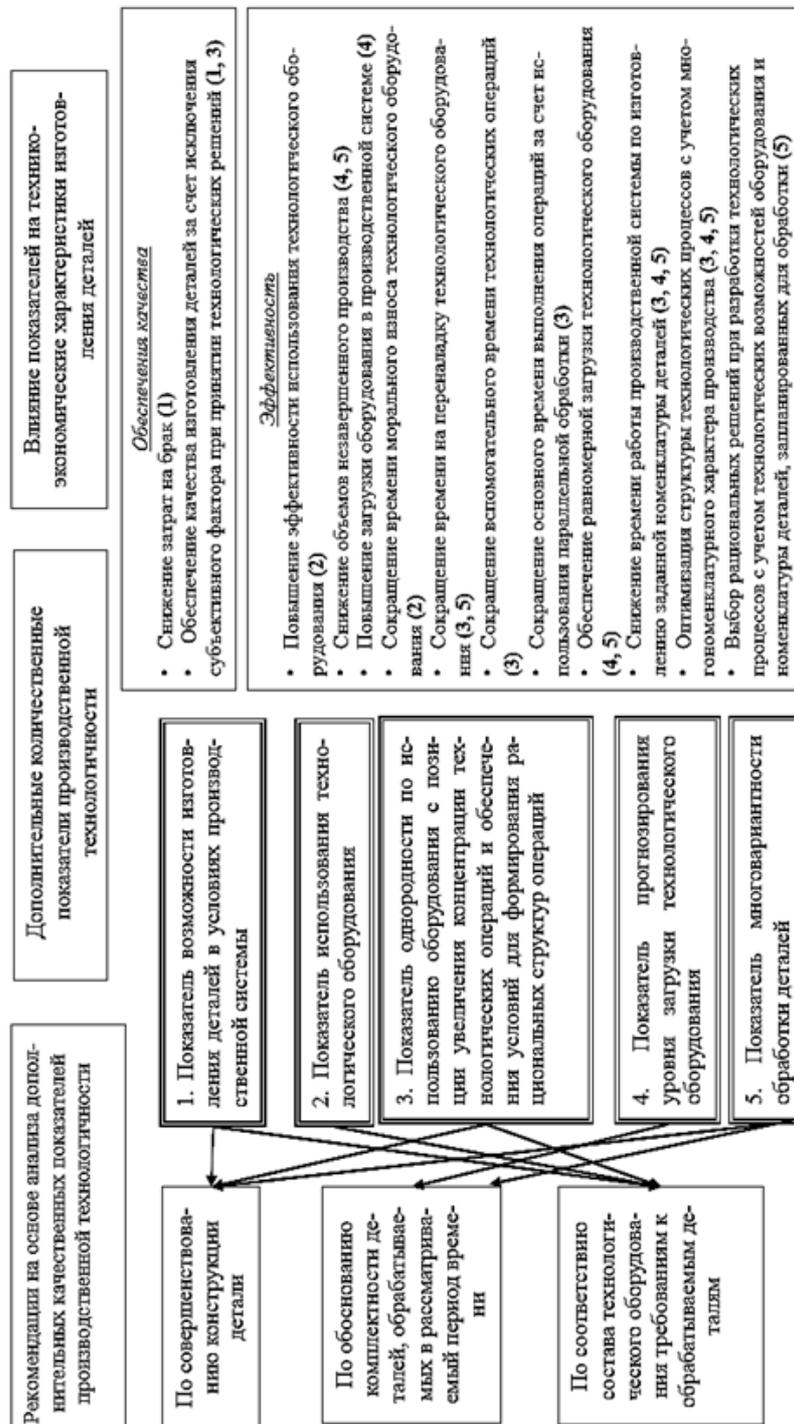


Рис. 1. Использование количественных показателей производственной технологичности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 14.205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения.: Изд. офиц. Взамен ГОСТ 18831-73. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
2. ГОСТ 14.201-83*. Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования: Изд. офиц. Взамен ГОСТ 14.201-73. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 9 с.

3. Технологичность конструкций изделий: справочник / под общ. ред. Ю.Д. Амирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
4. МР 186-85. Обеспечение технологичности конструкции изделий машиностроения и приборостроения. Методические рекомендации: Изд. офиц. – М.: ВНИИНМАШ, 1985. – 52 с.
5. Яновский, Г.А. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности

изделий машиностроения и приборостроения – М.: ВНИИ-ИНМаш, 1973. – 102 с.

6. **Генкин, С.И.** Методы оценки технологичности конструкций изделий машиностроения. – М.: ВНИИИНМаш, 1974. – 173 с.

7. **Бочкарев, П.Ю.** Оценка производственной технологичности: учеб. пособие / П. Ю. Бочкарев, Л. Г. Бокова. – СПб.: Изд-во "Лань", 2017. – 132 с.

8. **Соломенцев, Ю.М.** Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов [и др.]. – М.: Наука, 2003. – 292 с.

9. **Сафонов, С.В.** Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик изделий. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2015. – 225 с.

10. **Базров, Б.М.** Проблема обеспечения технологичности изделия // Научные технологии в машиностроении. – 2016. – №4(58). – С. 30-34.

11. **Базров, Б.М.** Технологичность конструкции изделия и ее оценка // Вестник машиностроения. – 2018. – №6. – С. 47-50.

REFERENCES

1. RSS 14.205-83. *Product Design Manufacturability. Terms and Definitions*: Official Edition. Instead of RSS 1883-73. – М.: Standards Publishers, 1983.

2. RSS 14.201-83*. *Assurance of Product Design Manufacturability. General Requirements*: Official Edition instead of RSS 14.201-73. – М.: Standards Publishers, 1983, - pp. 9.

3. *Product Design Manufacturability*: reference book / under the general editorship of Yu.D. Amirov. – 2-d edition re-

vised and supplemented. – М.: Mechanical Engineering, 1990. – pp. 768.

4. MR 186-85. *Product Design Manufacturability Assurance of Engineering and Instrument Making. Methodical Recommendations*: Official Edition. – М.: AURIMach, 1985. – pp. 52.

5. Yanovsky, G.A. *Procedure of Design Optimization for Manufacturability and Manufacturability Assessment of Engineering Products and Products of Instrument Making* – М.: AURIMach, 1973. – pp. 102.

6. Genkin, S.I. *Methods for Assessment of Engineering Product Manufacturability*. – М.: AURIMach, 1974. – pp. 173.

7. Bochkaryov, P.Yu. *Assessment of Manufacturability: manual* / P.Yu. Bochkaryov, L.G. Bokova. – S-Pb.: "Lan" Publishers, 2017. – pp. 132.

8. Solomentsev, Yu.M. *Information-Computer Systems in Mechanical Engineering CALS-Technologies* / Yu.M. Solomentsev, V.G. Mitrofanov, V.V. Pavlov [et al.]. – М.: Science, 2003. – pp. 292.

9. Safonov, S.V. *Technological Support of Product Operation Characteristics*. – Voronezh: IPC VSU, 2015. – pp. 225.

10. Bazrov, B.M. Problem in support of product manufacturability // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.4 (58). – pp. 30-34.

11. Bazrov, B.M. Manufacturability of product design and its assessment // *Bulletin of Mechanical Engineering*. – 2018. – No.6. – pp. 47-50.

Рецензент д.т.н. Б.М. Базров

УДК 658.512

DOI: 10.30987/article_5c486cc51ea422.53107269

Е.Б. Фролов, д.т.н.,
И.С. Паршина, аспирант,
А.С. Зайцев, магистр

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
103155, Россия, г. Москва, Вадковский пер.3а)

А.С. Климов, аспирант
(ФГАУН Институт конструкторско-технологической информатики РАН,
127055, Москва, а/я 24, ИКТИ РАН)
E-mail: fobos.mes@gmail.com

Индустрия 4.0: «Цифровой двойник» как средство повышения эффективности производственной системы

Цифровое предприятие является частью концепции Индустрия 4.0 (Industry 4.0), которая позволяет в течение всего жизненного цикла продукта рассматривать организацию производства и управление цепочкой создания изделий на новом уровне. Это полностью автоматизированное цифровое производство, которое в режиме реального времени управляется интеллектуальными системами в непрерывном взаимодействии с внешней средой.

Ключевые слова: Индустрия 4.0; цифровой двойник; MES; коэффициенты ОЕЕ и МСЕ.