

УДК 621.9.06

DOI:10.30987/2223-4608-2020-8-18-22

Б.М. Базров, д.т.н.

(ФГБУН ИМАШ им. Благонравова РАН, 101990, Москва, Малый Харитоньевский пер., д.4)

E-mail: modul\_lab@mail.ru

## Обеспечение технологичности конструкции изделия

*Изложен методический подход к разработке процесса обеспечения технологичности конструкции изделия. Описанный подход учитывает этапы жизненного цикла изделия, различие в исходных условиях, противоречия во влиянии одних и тех же характеристик конструкции изделия на трудоемкости разных этапов жизненного цикла изделия и условия, при которых отработка на технологичность производится в абсолютных и относительных величинах трудоемкости.*

**Ключевые слова:** конструкция; изделие; деталь; технологичность; трудоемкость; себестоимость; коэффициенты технологичности; характеристика; изготовление; эксплуатация; утилизация.

B.M. Bazrov, Dr. Sc. Tech.

(FSBEI Blagonravov IMACH RAS,

4, Maly Kharitonievsky Lane, Moscow, 101990)

## Manufacturability support of product design

*A methodical approach to the development of product design manufacturability support is presented. The approach described takes into account the stages of product life, difference in initial conditions, contradictions in the impact of one and the same characteristics of product design upon labor-intensity of different stages of product life and conditions under which the optimization for manufacturability is carried out in absolute and relative values of manufacturability.*

**Keywords:** design; product; part; manufacturability; labor-intensity; cost price; manufacturability factors; characteristics; manufacturing; operation; utilization.

В задачу обеспечения технологичности конструкции изделия (ТКИ) входит достижение заданных значений трудоемкости и себестоимости изделия, включая все этапы его жизненного цикла – изготовление, эксплуатацию и утилизацию.

Между трудоемкостью и себестоимостью существует зависимость, согласно которой при снижении трудоемкости снижается и себестоимость. В соответствии с этим в дальнейшем при рассмотрении технологичности конструкции изделия достаточно принимать во внимание только трудоемкость процессов.

Однако возможны случаи, когда при снижении трудоемкости изготовления деталей растет ее себестоимость, что объясняется неправильным применением технологии. Например, при изготовлении деталей в мелкосерийном производстве при использовании станка автомата, применяемого в массовом производстве, затраты времени на изготовление небольшой партии деталей окажутся на порядок меньше затрат времени на наладку

станка автомата. В этом случае, снижение трудоемкости обработки детали вызовет увеличение себестоимости ее обработки.

Таким образом, при отработке конструкции изделия на технологичность надо стремиться к снижению трудоемкости процесса за счет повышения качества ТКИ с учетом каждого этапа жизненного цикла изделия.

В задачу обеспечения ТКИ должно входить или достижение заданных значений трудоемкости и себестоимости всех этапов жизненного цикла изделия, или достижение их минимальных значений в заданных условиях.

Отработка конструкции изделия на технологичность производится при различных условиях, которые можно свести к четырем вариантам:

- наличие изделия-аналога;
- наличие технологии процессов на каждом этапе жизненного цикла изделия;
- наличие изделия-аналога и технологии на каждом этапе жизненного цикла изделия;
- отсутствие изделия-аналога и технологии

процессов на каждом этапе жизненного цикла изделия [1, 2].

Наличие только изделия-аналога влияет на постановку задачи отработки конструкции изделия на технологичность при известной технологии его изготовления. В этом случае в задачу отработки конструкции изделия на технологичность должно входить улучшение качества конструкции изделия так, чтобы достигнутая сумма трудоемкости и себестоимости конструкции изделия всех этапов жизненного цикла не превышали суммы трудоемкости и себестоимости конструкции изделия-аналога.

В тех случаях, когда изделие-аналог отсутствует, в задачу отработки конструкции изделия на технологичность входит достижение заданной заказчиком суммы трудоемкости и себестоимости конструкции изделия или достижение минимально возможной трудоемкости и себестоимости при заданных условиях.

Важным в условиях отработки конструкции изделия на технологичность является наличие или отсутствие информации о технологии процессов на этапах жизненного цикла изделия.

Наиболее сложной задачей в отработке конструкции изделия на технологичность является отсутствие информации о технологии, когда невозможно подсчитать значения трудоемкости и себестоимости.

В этом случае влияние конструкции изделия на трудоемкость и себестоимость должно оцениваться в относительных величинах, т.е. оценивается степень влияния конструкции изделия на трудоемкость и себестоимость.

Отработка конструкции изделия на технологичность происходит на всех этапах создания изделия, включая разработку:

- технического предложения,
- эскизного проекта,
- технического проекта,
- рабочей документации,
- технологической подготовки производства изделия.

На каждом этапе создания конструкции изделия отработка ее на технологичность должна производиться с учетом требований к конструкции изделия каждого этапа жизненного цикла изделия.

Этими требованиями к ТКИ являются требования к значениям соответствующих характеристик конструкции изделия. К ним относятся те характеристики конструкции изделия, которые влияют на трудоемкость процессов на этапах жизненного цикла изделия.

Характеристики конструкции изделия определяют согласно понятию технологичности в формулировке которого отмечено, что «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» [3].

Эта формулировка понятия технологичности не учитывает этап утилизации, в связи с чем, в работе [4] предлагается следующая формулировка технологичности: «под технологичностью конструкции изделия будем понимать совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при эксплуатации, производстве и утилизации для заданных показателей качества и условий выполнения работ».

Следовательно, характеристики конструкции изделия (КИ) устанавливаются из цепочки: свойство КИ – характеристика КИ – трудоемкость процесса.

К основным свойствам КИ относятся: доступность; простота; сборность; устойчивость; обрабатываемость материала детали; контролепригодность; легкосъемность и др. [2].

Определение характеристики, через которую проявляется свойство КИ на трудоемкость осуществляется через анализ понятия свойства. Например, доступность показывает, можно ли изготовить деталь, собрать изделие, осуществить контроль с помощью имеющихся технологий и средств технологического оснащения.

К характеристикам, отражающим доступности КИ относятся:

- формы и размеры поверхностей деталей;
- расположение поверхностей деталей;
- расположение деталей в изделии, уровень точности и др.

Одновременно такое свойство, как обрабатываемость материала детали, показывает влияние на трудоемкость ее изготовления через твердость материала – чем выше твердость материала, тем ниже режимы обработки, тем выше трудоемкость.

Рассматривая конструкцию изделия, как совокупность деталей, связанных между собой, ее можно описать количеством деталей, их соединений и характеристиками.

Тогда все характеристики КИ следует разделить на три группы по этапам жизненного цикла изделия, оказывающих влияние на тру-

доемкость их процессов.

Например, на этапе эксплуатации к характеристикам КИ относятся такие свойства, как удобство установки изделия, ремонтпригодность изделия, влияющие на приспособленность изделия к монтажу и ремонту. Они влияют на трудоемкость через такие характеристики КИ, как величина массы, площадь опорных элементов, уровень точности относительного положения деталей и др.

К характеристикам КИ на этапе изготовления изделия относятся число повторяемых деталей, число типовых деталей, уровень точности деталей, виды соединений деталей и др.

К характеристикам КИ на этапе утилизации изделия относятся, например, число неподвижных соединений, твердость материала деталей и др. Все характеристики КИ на этапах эксплуатации, утилизации формируются на этапе изготовления изделия.

Одновременно и этапы изготовления КИ тоже предъявляют свои требования к характеристикам КИ. Поэтому при отработке КИ на технологичность на всех этапах создания изделия необходимо учитывать требования к характеристикам каждого этапа жизненного цикла изделия. Кроме того, надо учитывать, что некоторые характеристики КИ могут участвовать и на этапе эксплуатации, и на этапе утилизации.

Наличие характеристик КИ, которые одновременно участвуют на разных этапах жизненного цикла изделия при отработке КИ на технологичность, приводит к возникновению между ними противоречий двух видов.

В одном случае возникает противоречие, заключающееся в том, что при увеличении значения такой характеристики трудоемкость на одном этапе жизненного цикла изделия увеличивается, а на другом этапе жизненного цикла изделия уменьшается.

Например, для снижения межремонтных сроков при эксплуатации изделия повышаются требования к твердости материала деталей, а при утилизации изделия желательнее снижение твердости материала деталей. В результате трудоемкость этапа эксплуатации снижается, а трудоемкость этапа утилизации увеличивается.

Во втором случае, при увеличении значения характеристики трудоемкость увеличивается или уменьшается на обоих этапах жизненного цикла изделия, но в разной степени.

В общем случае на каждом этапе жизненного цикла изделия может быть по несколько характеристик КИ, участвующих в нескольких

этапах. Тогда при изготовлении КИ возникает задача, какие из их значений характеристики должны быть достигнуты.

Рассмотрим следующий пример. Допустим, что на этапе создания изделия – технологической подготовки производства, требуется снизить значение характеристики  $x_1$ , которая участвует на всех этапах жизненного цикла изделия и с разными значениями  $x_{1и}$   $x_{1э}$   $x_{1у}$ .

Надо определить, при каком значении  $x_1$  будет достигнута наименьшая сумма трудоемкостей этапов жизненного цикла изделия, где  $x_{1и}$  – значение  $x_1$  на этапе изготовления изделия;  $x_{1э}$  – значение характеристики  $x_1$  на этапе эксплуатации изделия;  $x_{1у}$  – значение характеристики  $x_1$  на этапе утилизации изделия.

Примем, что  $x_{1и} > x_{1э} > x_{1у}$ .

Для решения этой задачи, необходимо знать зависимости:

$$T_{и} = f(x_{1и}); T_{э} = f(x_{1э}); T_{у} = f(x_{1у}),$$

где  $T_{и}$ ,  $T_{э}$ ,  $T_{у}$  – трудоемкости соответственно на этапах изготовления, эксплуатации, утилизации изделия.

Если эти зависимости имеют линейный характер (рис. 1, а), то, очевидно, что чем меньше значение « $x$ » характеристики  $x_i$ , тем меньше будет суммарная трудоемкость.

Если одна или две зависимости имеют нелинейный характер (рис. 1, б), то минимальное значение характеристики  $x_i$  не гарантирует минимальную сумму трудоемкостей этапов жизненного цикла изделия.

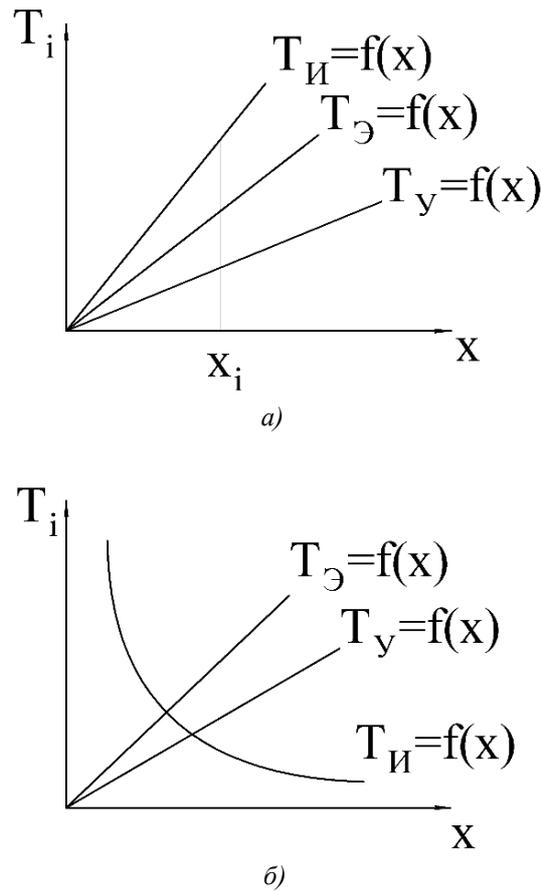
Итак, зная зависимости  $T = f(x)$ , нужно при отработке КИ на технологичность стремиться обеспечивать те значения характеристик, участвующих в разных этапах жизненного цикла изделия, при которых сумма трудоемкостей будет минимальной.

Как отмечалось ранее, наиболее сложной задачей отработки КИ на технологичность является отсутствие информации о технологии изготовления изделия.

Рассмотрим этот вопрос на примере этапа изготовления изделия.

Из ранее приведенных четырех вариантов отработки КИ на технологичность следует выделить два условия, имеющих принципиальное значение: наличие информации о технологии изготовления КИ или ее отсутствие.

Если при наличии информации о технологии изготовления КИ трудоемкость легко подсчитывается в абсолютных значениях, то при отсутствии информации о технологии изготовления возникает задача – как определить влияние характеристик КИ на величину трудоемкости.



**Рис.1. Влияние характеристик конструкции изделия на трудоемкость:**

*a* – линейные зависимости  $T_i = f(x_i)$ ; *б* – сочетание нелинейной и линейных функций  $T_i = f(x_i)$

В этом случае отработка КИ на технологичность должна производиться в относительных величинах, т.е. когда учитываются степени влияния характеристик КИ на трудоемкости изготовления изделия.

В связи с этим, разделим все характеристики конструкции изделия на две группы:

- характеристики КИ, не зависящие от характеристик технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия;

- характеристики КИ, зависящие от характеристик технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия.

К первой группе относятся характеристики разнообразия элементов КИ, точность деталей, параметр шероховатости поверхностей деталей, твердость материала деталей и др. К примеру, увеличение значений этих характеристик приводит к увеличению трудоемкости технологических процессов, независимо от их содержания.

Ко второй группе характеристик КИ относятся такие характеристики, как геометрическая форма деталей, вид и характеристики заготовок, объем выпуска изделий и др. Например, влияние их значений зависят от содер-

жания технологических процессов.

Если при наличии информации о технологии изготовления КИ отработка КИ на технологичность проводится на всех этапах создания изделия, то при отсутствии информации о технологии отработка КИ на технологичность производится до этапа технологической подготовки производства по характеристикам первой группы.

В этих условиях результат отработки КИ на технологичность оценивается с помощью коэффициентов технологичности, суммирование значений которых определяет уровень ТКИ.

Дальнейшая отработка КИ на технологичность продолжается после разработки технологических процессов изготовления деталей и сборки изделия, где в качестве КИ принимается конструкция, отработанная на технологичность на предыдущих этапах создания изделия.

Таким образом, отработка конструкции на технологичность осуществляется в два этапа. На первом этапе отработка КИ на технологичность осуществляется в относительных величинах трудоемкости, а во втором в абсолютных величинах трудоемкости. Эффективность

процесса отработки КИ на технологичность во многом зависит от достоверности оценки уровня технологичности КИ.

Надо отметить, что оценка уровня ТКИ должна не только позволять определять ее уровень, но и должна устанавливать степень влияния характеристики КИ на трудоемкость. Это, в свою очередь, позволяет определить с улучшения каких характеристик КИ надо начинать процесс повышения ее технологичности, что позволяет повысить эффективность процесса отработки КИ на технологичность.

Однако известные коэффициенты технологичности [5] не позволяют оценить уровень ТКИ посредством их суммирования. Причиной этого является отсутствие в их расчетных формулах степени влияния характеристик КИ на трудоемкость изготовления КИ.

В работе [6] приведены коэффициенты технологичности, исключающие отмеченные недостатки. В их расчетных формулах нашли отражение характеристики конструкции изделия и степени их влияния на её трудоемкость.

В заключении следует отметить, что при отработке конструкции изделия на технологичность необходимо учитывать все этапы жизненного цикла изделия, различие в исходных условиях, противоречия во влиянии одних и тех же характеристик конструкции изделия на трудоемкость разных этапов жизненного цикла изделия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Методика** отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 56 с.
2. **Амиров, Ю.Д.** Технологичность конструкций изделий: Справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алфёрова, П.Н.

Волков и др. / под общ. ред. Ю.Д. Амирова: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

3. **ГОСТ 14.205-83** «Технологичность конструкции изделий».

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

5. **Базров, Б.М., Троицкий, А.А.** Анализ коэффициентов технологичности конструктивного исполнения изделия // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2018. – № 7(85). – С. 23-26.

6. **Троицкий, А.А.** Расчетные формулы коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – № 7(109). – С. 31-34.

## REFERENCES

1. Procedure of Design Optimization for Manufacturability and Estimate of Engineering and Instrument Making Product Manufacturability. – М.: Standard Publishers, 1976. – pp. 56.

2. Amirov, Yu.D. *Product Design Manufacturability: Reference Book* / Yu.D. Amirov, T.K. Alfeyorova, P.N. Volkov et al. / under the general editorship of Yu.D. Amirov: the 2-d edition revised and supplemented. – М.: Mechanical Engineering, 1990. – pp. 768.

3. GOST 14.205-83 “*Product Design Manufacturability*”.

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

5. Bazrov, B.M., Troitsky, A.A. Analysis of manufacturability factors of product design fulfillment // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2018. – No.7(85). – pp. 23-26.

6. Troitsky, A.A. Calculation formulae for manufacturability factors of product design // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2020. – No.7(109). – pp. 31-34.

*Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарев*