

УДК 621.9.06
DOI:10.30987/2223-4608-2020-7-31-34

А.А. Троицкий, аспирант
(ФГБУН ИМАШ им. Благодного РАН,
Россия, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Расчетные формулы коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия

Показаны основные недостатки известных коэффициентов технологичности. Предложены формулы коэффициентов технологичности, исключая отмеченные недостатки и учитывающие влияние характеристик конструкции изделия на полную трудоёмкость его изготовления. Разработанные формулы этих коэффициентов технологичности дают возможность получить интегральную оценку производственной технологичности посредством их суммирования.

Ключевые слова: изделие; конструкция; деталь; соединение; коэффициент технологичности; трудоёмкость изготовления.

A.A. Troitsky, Post graduate student
(FSBEI Blagonravov IMASH RAS, 4, Maly Kharitonievsky Lane, Moscow, 101990)

Design formulae of product design production manufacturability

There are shown basic drawbacks of the well-known factors of manufacturability. The formulae of manufacturability factors excluding mentioned drawbacks and taking into account the impact of product design characteristics upon complete laboriousness of its manufacturing are offered. The developed formulae of these manufacturability factors give possibility for obtaining an integral estimate of manufacturability by means of their summation.

Keywords: product; design; part; connection; manufacturability factor; production laboriousness.

Известен метод оценки производственной технологичности конструкции изделия (ТКИ), базирующийся на определении коэффициентов технологичности [1 – 3]. Преимуществом этого метода является установление характеристик, влияющих на трудоёмкость его изготовления.

Анализ расчетных формул, приведенных коэффициентов технологичности, показывает, что они не отражают степени влияния характеристик конструкции изделия (КИ) на трудоёмкость ее изготовления. Поэтому приведенные в данной литературе [1 – 3] коэффициенты технологичности с одинаковыми значениями оказывают разную степень влияния на величину трудоёмкости изготовления КИ. Это приводит к тому, что оценивать уровень ТКИ посредством суммирования значений коэффициентов технологичности не представляется возможным.

В результате теряется основное преимущество данного метода оценки ТКИ – возможности определения степени влияния характери-

стик КИ на трудоёмкость изготовления изделия в целом.

С целью устранения отмеченного недостатка был разработан следующий перечень коэффициентов технологичности, учитывающих степень влияния характеристик КИ на трудоёмкость его изготовления: покупаемости (K_{Π}); заимствования ($K_{З}$); повторяемости деталей ($K_{\PiВД}$); повторяемости соединений ($K_{\PiВС}$); типизации деталей ($K_{\text{ТИП}}$); точности деталей конструкции изделия ($K_{\text{ТЧ}}$); шероховатости поверхностей деталей ($K_{\text{Ш}}$); твердости материала деталей ($K_{\text{ТВ}}$); массы деталей ($K_{\text{М}}$); соединений ($K_{\text{С}}$); эффективности методов достижения точности замыкающих звеньев размерных цепей ($K_{\text{МРЦ}}$).

Для того чтобы перечисленные коэффициенты отражали степень их влияния на трудоёмкость изготовления КИ необходимо установить влияние характеристик КИ на трудоёмкость изготовления изделия.

Полная трудоёмкость (T) изготовления КИ складывается из трудоёмкостей технологиче-

ской подготовки производства (T_1) и трудоёмкости изготовления КИ (T_2). Трудоёмкость технологической подготовки производства складывается из трудоёмкости разработки технологических процессов изготовления деталей (T_{11}), трудоёмкости разработки технологических процессов сборки (T_{12}), трудоёмкости разработки и изготовления технологической оснастки (T_{13}), а трудоёмкость изготовления КИ, соответственно, из трудоёмкости подготовительно-заключительных работ при

обработке заготовок (T_{21}), трудоёмкости технологических переходов обработки заготовок (T_{22}), трудоёмкости вспомогательных переходов обработки заготовок (T_{23}), трудоёмкости подготовительно-заключительных работ при сборке (T_{24}), трудоёмкости технологических переходов соединения деталей (T_{25}) и трудоёмкости вспомогательных переходов соединения деталей (T_{26}) [4, 5].

Степени влияния видов и подвидов трудоёмкостей [5] представлены в табл. 1.

1. Степени влияния разновидностей трудоёмкостей на полную трудоёмкость изготовления конструкции изделия

Разновидности трудоёмкостей (T)	T_1	T_2	T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{24}	T_{25}	T_{26}
Степень влияния на полную трудоёмкость изготовления КИ (a)	a_1	a_2	$a_{11}a_1$	$a_{12}a_1$	$a_{13}a_1$	$a_{21}a_2$	$a_{22}a_2$	$a_{23}a_2$	$a_{24}a_2$	$a_{25}a_2$	$a_{26}a_2$
<i>Примечание.</i> $a_1 = \frac{T_1}{T}$, $a_2 = \frac{T_2}{T}$, $a_{11} = \frac{T_{11}}{T_1}$, $a_{12} = \frac{T_{12}}{T_1}$, $a_{13} = \frac{T_{13}}{T_1}$, $a_{21} = \frac{T_{21}}{T_2}$, $a_{22} = \frac{T_{22}}{T_2}$, $a_{23} = \frac{T_{23}}{T_2}$, $a_{24} = \frac{T_{24}}{T_2}$, $a_{25} = \frac{T_{25}}{T_2}$, $a_{26} = \frac{T_{26}}{T_2}$.											

2. Влияние характеристик конструкции изделия на подвиды трудоёмкости

№	Характеристика конструкции изделия	Вид трудоёмкости (T_i)								
		T								
		T_1			T_2					
		T_{11}	T_{12}	T_{13}	T_{21}	T_{22}	T_{23}	T_{24}	T_{25}	T_{26}
1	Количество покупных элементов	+		+	+	+	+			
2	Количество заимствованных элементов	+		+						
3	Количество повторяемых деталей	+		+	+					
4	Количество повторяемых соединений		+	+				+		
5	Количество типовых деталей	+								
6	Точность деталей					+				
7	Шероховатость поверхностей деталей					+				
8	Твёрдость материала деталей					+				
9	Масса элементов изделия						+			+
10	Количество видов соединений								+	
11	Методы достижения точности замыкающих звеньев размерных цепи		+						+	
<i>Примечание.</i> «+» – влияние характеристики на подвид трудоёмкости.										

Принимая во внимание установленные связи между характеристиками КИ, видами трудоёмкости и полной трудоёмкостью изготовления конструкции изделия, представленные в табл. 2, получим расчетные формулы коэффициентов технологичности.

1. Коэффициент покупаемости ($K_{ПКОК}$):

$$K_{ПКОК} = a_1 a_{11} \frac{\sum \partial_{ПКОК i} b_{СЛ i}}{\partial} + a_1 a_{13} \frac{\sum \partial_{ПКОК i} b_{СЛ i}}{\partial} + a_2 a_{21} \frac{\sum \partial_{ПКОК i} b_{СЛ i}}{\partial} + a_2 a_{22} \frac{\sum \partial_{ПКОК i} b_{СЛ i}}{\partial} + a_2 a_{23} \frac{\sum \partial_{ПКОК i} b_{СЛ i}}{\partial}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{пок}i}$ – i -й покупной элемент; $b_{\text{сли}i}$ – коэффициент отражающий уровень сложности конструкции i -го элемента; Δ – общее количество элементов в КИ; a_1 – степень влияния T_1 на T ; a_2 – степень влияния T_2 на T ; a_{11} – степень влияния T_{11} на T_1 ; a_{13} – степень влияния T_{13} на T_1 ; a_{21} – степень влияния T_{21} на T_2 ; a_{22} –

степень влияния T_{22} на T_2 ; a_{23} – степень влияния T_{23} на T_2 .

2. Коэффициент заимствования (K_3):

$$K_3 = a_1 a_{11} \frac{\sum \Delta_{3i} b_{\text{сли}i}}{\Delta - \Delta_{\text{п}}} + a_1 a_{13} \frac{\sum \Delta_{3i} b_{\text{сли}i}}{\Delta - \Delta_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где Δ_{3i} – i -й заимствованный элемент.

3. Коэффициент повторяемости деталей ($K_{\text{пвд}}$):

$$K_{\text{пвд}} = a_1 a_{11} \frac{\sum (D_{\text{пвд}} - D_{\text{пвд.з}} - 1)_i b_{\text{сли}i}}{D - D_{\text{пок}} - D_3} + a_1 a_{13} \frac{\sum (D_{\text{пвд}} - D_{\text{пвд.з}} - 1)_i b_{\text{сли}i}}{D - D_{\text{пок}} - D_3} + a_2 a_{21} \frac{\sum (D_{\text{пвд}} - 1)_i b_{\text{сли}i}}{D - D_{\text{пок}} - D_3}, \quad (3)$$

где $D_{\text{пвд.з}}$ – число повторяемых заимствованных деталей; $D_{\text{пвд}}$ – количество повторяемых деталей i -й группы.

4. Коэффициент повторяемости соединений ($K_{\text{пвс}}$):

$$K_{\text{пвс}} = a_1 a_{12} \frac{\sum (C_{\text{пвс}} - 1)_i b_{\text{сл.с}i}}{C} + a_1 a_{13} \frac{\sum (C_{\text{пвс}} - 1)_i b_{\text{сл.с}i}}{C} + a_2 a_{24} \frac{\sum (C_{\text{пвс}} - 1)_i b_{\text{сл.с}i}}{C} \quad (4)$$

где $C_{\text{пвс}}$ – количество повторяемых соединений i -й группы; C – общее количество соединений; $b_{\text{сл.с}i}$ – коэффициент уровня сложности конструкции соединения i -й группы; a_{12} – степень влияния T_{12} на T_1 ; a_{24} – степень влияния T_{24} на T_2 .

5. Коэффициент типизации ($K_{\text{тип}}$):

$$K_{\text{тип}} = a_1 a_{11} \frac{\sum (\sum D_{\text{тип}})_i b_{\text{сли}i} b_{\text{тип}i}}{D - D_{\text{п}} - D_3 - D_{\text{пв}}}, \quad (5)$$

где $\sum D_{\text{тип}}$ – количество деталей группы i -го типового представителя; $b_{\text{тип}i}$ – степень влияния типовых деталей i -й на сокращение трудоёмкости их изготовления; $b_{\text{сли}i}$ – коэффициент уровня сложности конструкции деталей i -й группы типового представителя.

6. Коэффициент точности деталей ($K_{\text{тч}}$):

$$K_{\text{тч}} = a_2 a_{22} \left(1 - \frac{n_s}{\sum A_i b_{\text{тч}i} b_{\text{стч}i}} \right), \quad (6)$$

где A_i – наиболее жесткий i -й критерий точности, который выбирается между качеством точности, назначенный на размер поверхности, на отклонение её формы или на размер относительного положения; $b_{\text{тч}i}$ – коэффициент

учитывающий трудоёмкость достижения точности A_i при обработке детали; n_s – число площадей поверхностей деталей в изделии; $b_{\text{стч}i}$ – доля площади i -й поверхности детали, от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу.

7. Коэффициент шероховатости поверхностей деталей ($K_{\text{ш}}$):

$$K_{\text{ш}} = a_2 a_{22} \left(1 - \frac{n}{\sum B_i b_{\text{ш}i} b_{\text{сш}i}} \right), \quad (7)$$

где B_i – значение i -го параметра шероховатости поверхностей деталей в изделии; n – количество поверхностей деталей в изделии; $b_{\text{сш}i}$ – доля площади k -й поверхности детали от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу; $b_{\text{ш}i}$ – коэффициент степени влияния B_i на трудоёмкость обработки i -й поверхности.

8. Коэффициент эффективности методов достижения точности замыкающих звеньев размерных цепей ($K_{\text{мрц}}$):

$$K_{\text{мрц}} = a_2 a_{25} \frac{\text{ПВ} b_{\text{из.пв}} + \text{НП} b_{\text{из.нп}} + \text{ГВ} b_{\text{из.гв}} + \text{РЕ} b_{\text{из.ре}} + \text{ПР} b_{\text{из.пр}}}{\text{ПВ} + \text{НП} + \text{ГВ} + \text{РЕ} + \text{ПР}}, \quad (8)$$

где ПВ – число размерных цепей собирающихся методом полной взаимозаменяемости;

НП – число размерных цепей собирающихся методом неполной взаимозаменяемости;

ГВ – число размерных цепей собирающихся методом групповой взаимозаменяемости;

РЕ – число размерных цепей собирающихся методом регулировки; ПР – число размерных цепей собирающихся методом пригонки; $b_{\text{из.пв}}$ – коэффициент степени влияния метода полной взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{из.нп}}$ – коэффициент степени влияния метода неполной взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{из.гв}}$ – коэффициент степени влияния метода групповой взаимозаменяемости на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{из.ре}}$ – коэффициент степени влияния метода регулировки на трудоёмкость изготовления КИ; $b_{\text{из.пр}}$ – коэффициент степени влияния метода пригонки на трудоёмкость изготовления КИ.

9. Коэффициент соединений (K_C):

$$K_C = a_2 a_{25} \left(\frac{\sum n_i b_{Ci} b_{SCi}}{n} \right), \quad (9)$$

где n_i – количество соединений i -го вида; n – количество соединений в изделии; b_{Ci} – степень влияния i -го вида соединения на трудоёмкость (у цилиндрических подвижных b_{Ci} будет иметь минимальное значение, а у сварных соединений максимальное); b_{LCi} – доля геометрической характеристики i -го вида соединения от общей доли геометрических характеристик всех соединений в изделии принятой за единицу; a_{25} – степень влияния T_{25} на T_2 .

10. Коэффициент массы элементов (K_M):

$$K_M = a_2 a_{23} \left(\frac{\sum n_i b_{Mi}}{n} \right) + a_2 a_{26} \left(\frac{\sum n_i b_{Mi}}{n} \right), \quad (10)$$

где n_{Mi} – количество элементов i -го значения массы; n – количество элементов в изделии;

b_M – степень влияния i -го значения массы элемента на трудоёмкость; a_{26} – степень влияния T_{26} на T_2 .

11. Коэффициент твёрдости деталей ($K_{ТВ}$):

$$K_{ТВ} = a_2 a_{22} \left(\frac{\sum n_{Ti} b_{TVi} b_{STVi}}{n} \right), \quad (11)$$

где n_{Ti} – количество деталей i -го значения твёрдости материала; n – количество деталей в изделии; b_{TVi} – степень влияния i -го значения твёрдости материала детали на трудоёмкость; b_{STVi} – доля площади деталей i -го значения твёрдости от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу.

Приведённые расчетные формулы коэффициентов производственной технологичности позволяют определить интегральную оценку уровня ТКИ посредством суммирования их значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 14.205-83 технологичность конструкции изделий. Термины и определения: утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 09.02.83 №711: издание (февраль 2009 г.) взамен ГОСТ 18831-73.

2. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 56 с.

3. Амиров, Ю.Д. Технологичность конструкций изделий: справочник / Ю.Д. Амиров, Т.К. Алфёрова, П.Н. Волков. – М.: Машиностроение, 1985. – 368 с.

4. Базров, Б.М., Троицкий, А.А. Метод расчета уровня технологичности конструкции изделия // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2019. – № 1 (241). – С. 98-102.

5. Базров, Б.М., Троицкий, А.А. Система коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Станки и инструмент. – 2019. – № 3. – С. 22-26.

REFERENCES

1. GOST 14.205-83 *Manufacturability of Product Design. Terms and Definition*: approved and implemented by the Decree of the State Committee of the USSR on Standards of 09.02.83. No.711: edition (February, 2009) instead of GOST 18831-73.

2. *Procedure of Design Optimization for Manufacturability and Estimates of Manufacturability Level of Engineering and Instrument Making Products*. – М.: Standard Publishers, 1976. – pp. 56.

3. Amirov, Yu.D. *Product Design Manufacturability*: reference book / Yu.D. Amirov, T.K. Alfeyorova, P.N. Volkov. – М.: Mechanical Engineering, 1985. – pp. 368.

4. Bazrov, B.M., Troitsky, A.A. Method for calculation of product design manufacturability level // *Problems of Mechanical Engineering and Machinery Reliability*. 2019. – No.1(241). – pp. 98-102.

5. Bazrov, B.M., Tritsky, A.A. Factor system of product design production manufacturability // *Machines and Instrument*. 2019. – No.3. – pp. 22-26.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарев

