
**НАДЕЖНОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ
МАШИН И КОНСТРУКЦИЙ**

УДК 621.9.06

**МЕТОД РАСЧЕТА УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ
КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ**© 2019 г. Б. М. Базров^{1*}, А. А. Троицкий²¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Россия*²*МГТУ им. Э.Н. Баумана, г. Москва, Россия***e-mail: modul_lab@mail.ru*

Поступила в редакцию 26.12.2017 г.

Изложен метод расчета уровня значений конструкции изделия посредством суммирования коэффициентов, базирующегося на учете степени их влияния на трудоемкость изделия.

DOI: 10.1134/S0235711919010048

Технологичность конструкции изделия (ТКИ) является показателем качества изделия, определяющим уровень трудоемкости и себестоимости изделия. Важным является оценка уровня конструкции изделия на этапе создания.

Рассмотрим этот вопрос на примере оценки производственной конструкции изделия. Кроме основных показателей – трудоемкости и себестоимости для оценки изделия применяются дополнительные показатели – коэффициенты технологичности, которые влияют на технологичность через соответствующие характеристики конструкции изделия [1].

Главным достоинством оценки технологичности с помощью коэффициентов является возможность установить через какие характеристики конструкции изделия и в какой степени они влияют на трудоемкость изготовления. Это способствует повышению эффективности процессов обработки конструкции изделия на технологичность.

К коэффициентам производственной технологичности конструкции изделия, согласно ГОСТ 14205-83 [2, 3] относятся коэффициенты стандартизации ($K_{СТ}$), унификации (K_U), типизации (K_T), повторяемости ($K_{пов}$), точности обработки ($K_{Тч}$), шероховатости поверхности детали ($K_{Ш}$), взаимозаменяемости ($K_{вз}$) и контролепригодности (K_K).

В табл. 1 приведены расчетные формулы перечисленных коэффициентов технологичности, применяемые при оценке производственной конструкции изделия.

Анализ формул коэффициентов технологичности показал, что главным их недостатком является то, что они не показывают степень их влияния на трудоемкость изготовления изделия. Это означает, что коэффициенты с одинаковым значением в разной степени влияют на уровень технологичности изделия. Например, коэффициент повторяемости влияет на трудоемкость конструкторской, технологической подготовки и трудоемкость технологических процессов изготовления изделия, а коэффициент точности обработки деталей влияет только на трудоемкость изготовления деталей. В связи с этим невозможно рассчитывать уровень конструкции изделия суммированием значений коэффициентов технологичности. Поэтому в основе действующего метода оценки конструкции изделия с помощью коэффициентов технологичности лежит их сопоставление со значениями коэффициентов изделия-аналога или с заданными

Таблица 1

Формула	
$K_{ст} = \frac{E_{ст} + D_{ст}}{E + D}$	$K_{тч} = 1 - \frac{1}{A_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum An_i}$
$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D}$	$A_{ср} = \frac{\sum n_i}{\sum An_i} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$
$K_{пов} = \frac{Q_{сч}}{E + D}$	$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_{им}}{\sum An_{им}}$
$K_T^{К.И} = \frac{Q_{с.к}}{Q_{с.к}^{т.п}}$	$A_{ср} = \frac{\sum Bn_i}{\sum n_{им}} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots}$
	$K_k = T_{о.к} / (T_{о.к} + T_{всп.к})$
	$K_{вз} = \frac{T_{сб} - (T_{пр} + T_{г.вз})}{T_{сб}}$

Здесь: $E_{ст}$, $D_{ст}$, E_y , D_y , $Q_{сч}$, $Q_{с.к}$, $Q_{с.к}^{т.п}$ – число стандартных, унифицированных, повторяемых, типовых составных частей изделия; E , D – число специфицированных и не специфицированных составных частей изделия; A – класс точности обработки; n_i – число размеров соответствующего класса точности; B – класс шероховатости поверхности; $n_{им}$ – число поверхностей соответствующего класса шероховатости; $T_{о.к}$ – трудоемкость изделия в основных операциях технического контроля; $T_{всп.к}$ – трудоемкость изделия во вспомогательных операциях технического контроля; $T_{сб}$ – трудоемкость сборочных работ; $T_{пр}$ – трудоемкость пригоночных работ; $T_{г.вз}$ – трудоемкость работ по методу групповой взаимозаменяемости.

ми значениями коэффициентов технологичности. Это существенно снижает эффективность оценки конструкции изделия [3].

В связи с этим представляется актуальной задача разработки метода расчета уровня технологичности. Для этого необходимо установить степень влияния каждого коэффициента технологичности на трудоемкость изготовления изделия. Влияние коэффициентов технологичности на трудоемкость проявляется через соответствующие характеристики конструкции изделия [4]. Поэтому метод расчета уровня конструкции изделия должен базироваться на связях между характеристиками конструкции изделия и трудоемкостью изготовления. Полная трудоемкость (T_n) изготовления изделия представляет собой сумму трудоемкостей: трудоемкость конструкторской подготовки (T_1), трудоемкость технологической подготовки (T_2), трудоемкость технологических процессов изготовления изделия (T_3).

Трудоемкость технологических процессов состоит из трудоемкости сборки изделий (T_4) и трудоемкости изготовления деталей (T_5).

В свою очередь, трудоемкость сборки изделия включает трудоемкости технологических переходов сборки (T_6) и вспомогательных переходов сборки (T_7), а трудоемкость изготовления деталей включает трудоемкости технологических переходов (T_8) и вспомогательных переходов обработки деталей (T_9). Из расчетных формул коэффициентов технологичности (табл. 1) видно, что: формулы расчета некоторых коэффициентов технологичности не содержат характеристики конструкции изделия; все коэффициенты технологичности, за исключением коэффициента контролепригодности, не показывают на какой вид трудоемкости они влияют; не все характеристики изделия,

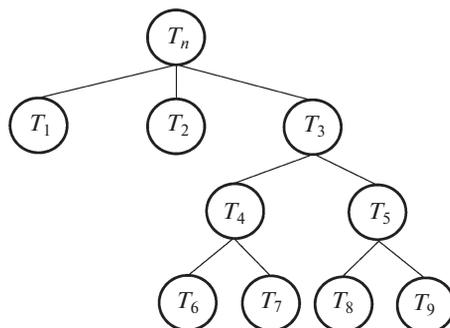


Рис. 1.

влияющие на трудоемкость, нашли отражение в коэффициентах технологичности. В результате достоверность уровня оценки технологичности в целом оказывается настолько низкой, что не представляет практического интереса.

Для расчета уровня технологичности необходимо установить в первую очередь, на какой вид трудоемкости и в какой степени влияет каждый коэффициент технологичности. Зная на трудоемкость каких видов производимых работ влияют характеристики конструкции изделия и связи между видами трудоемкости (рис. 1), были установлены связи между коэффициентами технологичности и видами трудоемкости изготовления изделия (табл. 2).

Для определения степени влияния каждого коэффициента технологичности на уровень конструкции изделия, надо знать степень влияния каждого вида трудоемкости на полную трудоемкость, что позволит определить степень его влияния на уровень конструкции изделия. Тогда уровень ТКИ определяется из уравнения

$$\text{ТКИ} = \sum_p^{i=1} a_i k_i \quad (1)$$

где k_i – i -й коэффициент технологичности; a_i – степень влияния i -го коэффициента технологичности на конструкцию изделия; p – число коэффициентов технологичности.

Таблица 2

Трудоемкость	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
Коэффициент									
$K_{ст}$		$b_{ст}^2$	$b_{ст}^3$						
K_y	b_y^1	b_y^2	b_y^3						
K_T		$b_{ст}^2$	$b_{ст}^3$						
$K_{пов}$	$b_{пов}^1$	$b_{пов}^2$	$b_{пов}^3$						
$K_{тч}$								$b_{тч}^8$	
$K_{ш}$								$b_{ш}^8$	
$K_{вз}$				$b_{вз}^4$				$b_{вз}^8$	
K_K							b_K^7		b_K^9

Таблица 3

K_{CT}	$a_{CT} = a_2^n b_{CT}^2 + a_3^n b_{CT}^3$
K_y	$a_y = a_1^n b_y^1 + a_2^n b_y^2 + a_3^n b_y^3$
K_T	$a_T = a_2^n b_T^2 + a_3^n b_T^3$
$K_{ПОВ}$	$a_{ПОВ} = a_1^n b_{ПОВ}^1 + a_2^n b_{ПОВ}^2 + a_3^n b_{ПОВ}^3$
$K_{ТЧ}$	$a_{ТЧ} = a_8^n b_{ТЧ}^8$
$K_{Ш}$	$a_{Ш} = a_8^n b_{Ш}^8$
$K_{ВЗ}$	$a_{ВЗ} = a_4^n b_{ВЗ}^4 + a_8^n b_{ВЗ}^8$
K_K	$a_K = a_7^n b_K^7 + a_9^n b_K^9$

Наивысший уровень технологичности будет при $TKI_{\max} = 1$, т.е., когда трудоемкость изготовления изделий равна нулю. Отсюда следует, что фактический уровень технологичности может только приближаться к единице.

Для решения уравнения (1) необходимо, рассчитать коэффициенты технологичности и определить степень их влияния на полную трудоемкость. Для расчета коэффициентов технологичности воспользуемся формулами, приведенными в табл. 1. У коэффициентов $K_{ТЧ}$ и $K_{Ш}$ следует заменить в знаменателе A и B на функции $T = f(A)$ и $T = f(B)$, где T – трудоемкость. В общем случае функции могут быть линейными и нелинейными.

Степень влияния коэффициента технологичности на уровень конструкции изделия устанавливается посредством определения степени его влияния на полную трудоемкость изготовления изделия.

Задача решается следующим образом. Сначала определяем степень a_i^T влияния каждого вида трудоемкости на трудоемкость предыдущего уровня (рис. 1). Тогда

$$a_1^T = T_1/T_{П}; \quad a_2^T = T_2/T_{П}; \quad a_3^T = T_3/T_{П}; \quad a_4^T = T_4/T_3; \quad a_5^T = T_5/T_3; \\ a_6^T = T_6/T_4; \quad a_7^T = T_7/T_4; \quad a_8^T = T_8/T_5; \quad a_9^T = T_9/T_5.$$

Значение a_i^T определяется на основе статистических данных о трудоемкости процессов изготовления изделий.

Затем определяем степени (a_i^n) влияния каждого вида трудоемкости на полную трудоемкость согласно схеме связей видов трудоемкости (рис. 1)

$$a_1^n = a_1^T; \quad a_2^n = a_2^T; \quad a_3^n = a_3^T; \quad a_4^n = a_4^T a_3^T; \quad a_5^n = a_5^T a_3^T; \\ a_6^n = a_6^T a_4^T a_3^T; \quad a_7^n = a_7^T a_4^T a_3^T; \quad a_8^n = a_8^T a_5^T a_3^T; \quad a_9^n = a_9^T a_5^T a_3^T.$$

Устанавливаем степень (b_i) влияния каждого коэффициента технологичности на соответствующий вид трудоемкости (табл. 2). Например, степень влияния $K_{ТЧ}$ на трудоемкость технологических переходов определяем как $b_{ТЧ}^П = T_{ТЧ}/T_{В}$, где $T_{ТЧ}$ – трудоемкость, затраченная на достижения заданной точности детали.

Значение $T_{ТЧ}$ определяем из статистических данных о трудоемкости достигаемой точности обработки различных деталей.

Зная значения a_i^n , b_i рассчитываем степень (a) влияния каждого коэффициента технологичности на полную трудоемкость (табл. 3).

При суммировании коэффициентов технологичности необходимо учитывать, что уровень точности и шероховатости поверхностей деталей достигается на операции обработки детали соответствующими значениями режима обработки, поэтому при расчете уровня технологичности надо учитывать один из коэффициентов, который в большей степени влияет на трудоемкость изготовления деталей.

Принимая во внимание все изложенное, предлагаем следующий метод расчета уровня технологичности. В качестве исходных данных выступают степени влияния (a^T) видов трудоемкости на изготовление изделия, степени (b_i) влияния коэффициентов технологичности на соответствующие виды трудоемкости, зависимости $T = f(A)$, $T = f(B)$ и значения характеристик конструкции изделия, участвующие в коэффициентах технологичности.

Сначала рассчитываем значения всех коэффициентов технологичности. Далее определяем степени (a^n) влияния каждого вида трудоемкости на полную трудоемкость изготовления изделия, затем степени (a) влияния каждого коэффициента технологичности на уровень конструкции изделия с последующим суммированием произведений $\sum a_i k_i$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения.
2. Методика отработки конструкций на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения // М.: Гос. ком. стандартов Совета Министров СССР, ВНИИНмаш, 1976. 56 с.
3. Базров Б.М. Проблема обеспечения технологичности изделия // Научно-технические технологии. 2016. Т. 1. № 4. С. 30–34.
4. Базров Б.М. Технологичность конструкции изделия и ее оценка // Вестник машиностроения. 2018. № 6. С. 47–50.