

УДК 621.9.06
DOI:10.30987/2223-4608-2020-11-8-15

Б.М. Базров, д.т.н.,
А.А. Троицкий, аспирант
(ФГБУН ИМАШ им.Благонравова, Россия, 101990, г. Москва,
Малый Харитоньевский переулок, д. 4)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Преобразование коэффициентов технологичности при их групповом влиянии на трудоёмкость изготовления изделия

Изложена методика разработки расчетных формул коэффициентов технологичности в группах, оказывающих влияние на один и тот же вид трудоёмкости. Приведены скорректированные расчетные формулы коэффициентов технологичности.

Ключевые слова: технологичность; коэффициент; группа; трудоёмкость; характеристика; деталь; конструкция изделия.

B.M. Bazrov, Dr.Sc.Tech.,
A.A. Troitsky, Post graduate student
(FSBEI Blagonravov IMACH, 4, Maly Kharitonievsky Lane, Moscow, 101990, Russia)

Transformation of manufacturability factors at their group impact upon complexity of product manufacturing

A procedure for development of the calculation formulae of manufacturability factors in groups exerting influence upon the same kind of complexity is presented. There are shown adjusted calculation formulae of manufacturability factors.

Keywords: manufacturability; factor; group; complexity; characteristic; part; product design.

В работе [1] приведены одиннадцать коэффициентов производственной технологичности с их расчетными формулами. Из них можно сформировать семь групп коэффициентов технологичности (табл. 1). В каждой из этих групп коэффициенты технологичности влияют на один соответствующий вид трудоёмкости изготовления конструкции изделия (КИ) [2]:

- первая группа включает $K_{\text{ПОК}}$, K_3 , $K_{\text{ПВД}}$, $K_{\text{ТИП}}$;
- вторая группа включает $K_{\text{ПВС}}$, $K_{\text{МРЦ}}$;
- третья группа включает $K_{\text{ПОК}}$, K_3 , $K_{\text{ПВД}}$, K_C ;
- четвёртая группа включает $K_{\text{ПОК}}$, $K_{\text{ПВД}}$;
- пятая группа включает $K_{\text{ПОК}}$, $K_{\text{ТЧ}}$, $K_{\text{Ш}}$, $K_{\text{ТВ}}$;
- шестая группа включает $K_{\text{ПОК}}$, $K_{\text{М}}$;
- седьмая группа включает K_C , $K_{\text{МРЦ}}$.

Как отмечалось в работе [3] среди семи групп коэффициентов технологичности следует выделить пятую группу, где из четырех коэффициентов технологичности $K_{\text{ПОК}}$, $K_{\text{ТЧ}}$, $K_{\text{Ш}}$, $K_{\text{ТВ}}$ три коэффициента $K_{\text{ТЧ}}$, $K_{\text{Ш}}$, $K_{\text{ТВ}}$ оказывают влияние на трудоёмкость изготовления конструкции изделия, через характеристики, изменяющиеся под воздействием одного фактора – режима обработки заготовки. Поэтому при суммировании коэффициентов технологичности, следует учитывать только тот коэффициент технологичности из этих трёх, который оказывает наименьшее влияние на снижение трудоёмкости.

В остальных группах коэффициентов технологичности характеристики конструкции изделия, оказывающие влияние на трудоёмкость, изменяются под воздействием разных факторов. В этом случае, если суммировать их

значения, то величина снижения этого вида трудоёмкости может превысить её величину. В связи с этим требуется преобразование рас-

четных формул коэффициентов технологичности, входящих в семь групп.

1. Влияние коэффициентов технологичности на трудоёмкость

№ КТ	Коэффициент технологичности (КТ)	Вид трудоёмкости (T _i)								
		T ₁			T ₂					
		T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	T ₂₄	T ₂₅	T ₂₆
1	K _{ПОК}	+		+	+	+	+			
2	K _З	+		+						
3	K _{ПВД}	+		+	+					
4	K _{ПВС}		+	+				+		
5	K _{ТИП}	+								
6	K _{ТЧ}					+				
7	K _Ш					+				
8	K _{ТВ}					+				
9	K _М						+			+
10	K _С								+	
11	K _{МРЦ}		+						+	

Примечания:

+ – влияние коэффициента технологичности на вид трудоёмкости.

T₁ – трудоёмкость технологической подготовки производства; T₂ – трудоёмкость изготовления КИ; T₁₁ – трудоёмкость разработки технологических процессов изготовления деталей; T₁₂ – трудоёмкость разработки технологических процессов соединения деталей; T₁₃ – трудоёмкость разработки и изготовления технологической оснастки; T₂₁ – трудоёмкость подготовительно заключительных работ при обработке заготовок; T₂₂ – трудоёмкость технологических переходов обработки заготовок; T₂₃ – трудоёмкость вспомогательных переходов обработки заготовок; T₂₄ – трудоёмкость подготовительно-заключительных работ при соединении деталей; T₂₅ – трудоёмкость технологических переходов соединения деталей; T₂₆ – трудоёмкость вспомогательных переходов соединения деталей.

Это требует разработки особой методики суммирования коэффициентов технологичности. Рассмотрим применение данной методики преобразования расчетных формул коэффициентов технологичности первой группы в их последовательности согласно табл. 1: K_{ПОК}, K_З, K_{ПВД}, K_{ТИП}.

В этой группе все коэффициенты технологичности влияют на величину трудоёмкости T₁₁, что потребует изменения в их расчетных формулах только первого слагаемого за исключением коэффициента K_{ПОК}, расчетная формула которого не требует изменения.

После применения первого слагаемого коэффициента K_{ПОК} величина T₁₁ снижения до (T₁₁⁽¹⁾) будет равна:

$$T_{11}^{(1)} = K_{ПОК}^{(1)} T_{11},$$

где K_{ПОК}⁽¹⁾ – дробь первого слагаемого формулы K_{ПОК}.

Тогда оставшаяся часть трудоёмкости (T₁₁⁽²⁾) будет равна:

$$T_{11}^{(2)} = T_{11} - T_{11}^{(1)} = T_{11} - K_{ПОК}^{(1)} T_{11} = T_{11} (1 - K_{ПОК}^{(1)}).$$

После применения первого слагаемого коэффициента K_З трудоёмкость T₁₁⁽²⁾ снижается до величины T₁₁⁽³⁾:

$$T_{11}^{(3)} = K_3^{(1)} T_{11}^{(2)} = K_3^{(1)} T_{11} (1 - K_{ПОК}^{(1)}) = T_{11} K_3^{(1)} (1 - K_{ПОК}^{(1)}),$$

где K_З⁽¹⁾ – дробь первого слагаемого формулы K_З.

После преобразования коэффициента K_3 получаем формулу первого его слагаемого:

$$K_3^{(1)} = a_1 a_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) \frac{\sum D_{3i} b_{3.слi}}{D - D_{\text{ПОК}}}$$

Величина трудоёмкости, оставшейся после применения коэффициентов K_3 снижается до величины $T_{11}^{(4)}$:

$$\begin{aligned} T_{11}^{(4)} &= T_{11}^{(2)} - T_{11}^{(3)} = \\ &= T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) - K_3^{(1)} T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) = \\ &= T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}). \end{aligned}$$

После применения первого слагаемого ко-

эффициента $K_{\text{ПВД}}$ трудоёмкость $T_{11}^{(4)}$ снижается до величины $T_{11}^{(5)}$, определяемой по формуле:

$$\begin{aligned} T_{11}^{(5)} &= K_{\text{ПВД}}^{(1)} T_{11}^{(4)} = \\ &= K_{\text{ПВД}}^{(1)} T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) = \\ &= T_{11} K_{\text{ПВД}}^{(1)} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}), \end{aligned}$$

где $K_{\text{ПВД}}^{(1)}$ – дробь первого слагаемого формулы $K_{\text{ПВД}}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{\text{ПВД}}$ получаем формулу первого его слагаемого:

$$K_{\text{ПВД}}^{(1)} = a_1 a_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) \frac{\sum (D_{\text{ПВД}j} - 1) i b_{\text{ПВД.сл}i} - \sum (D_{\text{ПВД}zj} - 1) i b_{\text{ПВД.сл}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3}$$

Величина трудоёмкости, оставшейся после применения первого слагаемого коэффициента $K_{\text{ПВД}}$, снижается до величины $T_{11}^{(6)}$:

$$\begin{aligned} T_{11}^{(6)} &= T_{11}^{(5)} - T_{11}^{(4)} = T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) - \\ &- K_{\text{ПВД}}^{(1)} T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) = T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) (1 - K_{\text{ПВД}}^{(1)}); \end{aligned}$$

После применения первого слагаемого коэффициента $K_{\text{ТИП}}$ трудоёмкость $T_{11}^{(6)}$ снижается до величины $T_{11}^{(7)}$:

$$\begin{aligned} T_{11}^{(7)} &= K_{\text{ТИП}}^{(1)} T_{11}^{(6)} = K_{\text{ТИП}}^{(1)} T_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) (1 - K_{\text{ПВД}}^{(1)}) = \\ &= T_{11} K_{\text{ТИП}}^{(1)} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) (1 - K_{\text{ПВД}}^{(1)}), \end{aligned}$$

где $K_{\text{ТИП}}^{(1)}$ – дробь формулы $K_{\text{ТИП}}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{\text{ТИП}}$ получаем его формулу:

$$K_{\text{ТИП}}^{(1)} = a_1 a_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) (1 - K_{\text{ПВД}}^{(1)}) \frac{\sum D_{\text{ТИП}i} b_{\text{ТИП.сл}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3 - D_{\text{ПВД}} + m}$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности второй группы – $K_{\text{ПВС}}$, $K_{\text{МРЦ}}$. В этой группе оба коэффициента технологичности влияют на снижение трудоёмкости T_{12} , что требует изменения только первого слагаемого в расчетной формуле $K_{\text{МРЦ}}$.

После применения первого слагаемого коэффициента $K_{\text{ПВС}}$ величина T_{12} уменьшится на

величину $T_{12}^{(1)}$:

$$T_{12}^{(1)} = K_{\text{ПВС}}^{(1)} T_{12},$$

где $K_{\text{ПВС}}^{(1)}$ – дробь первого слагаемого формулы $K_{\text{ПВС}}$.

Оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{12}^{(2)}$) вычисляется по формуле:

$$T_{12}^{(2)} = T_{12} - T_{12}^{(1)} = T_{12} - K_{\text{ПВС}}^{(1)} T_{12} = T_{12} (1 - K_{\text{ПВС}}^{(1)}).$$

После применения коэффициента первого слагаемого $K_{\text{МРЦ}}$ трудоёмкость $T_{12}^{(2)}$ снижается до величины $T_{12}^{(3)}$:

$$T_{12}^{(3)} = K_{\text{МРЦ}}^{(1)} T_{12}^{(2)} = K_{\text{МРЦ}}^{(1)} T_{12} (1 - K_{\text{ПВС}}^{(1)}) = T_{12} K_{\text{МРЦ}}^{(1)} (1 - K_{\text{ПВС}}^{(1)}),$$

где $K_{\text{МРЦ}}^{(1)}$ – дробь первого слагаемого формулы $K_{\text{МРЦ}}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{МРЦ}$ получаем формулу первого его слагаемого:

$$K_{МРЦ}^{(1)} = a_1 a_{12} \left(1 - K_{ПВС}^{(1)}\right) \frac{ПВb_{Р.ПВ} + НПb_{Р.НП} + ГВb_{Р.ГВ} + РЕb_{Р.РЕ} + ПРb_{Р.ПР}}{n_{МРЦ}}$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности третьей группы – $K_{ПОК}$, K_3 , $K_{ПВД}$, $K_{ПВС}$. В этой группе все коэффициенты технологичности влияют на величину трудоёмкости T_{13} , что потребует изменения в их расчетных формулах тех слагаемых, которые влияют на снижение трудоёмкости T_{13} за исключением коэффициента $K_{ПОК}$, расчетная формула которого не изменится.

После применения второго слагаемого ко-

эффициента $K_{ПОК}$ величина T_{13} уменьшится на величину $T_{13}^{(1)}$:

$$T_{13}^{(1)} = K_{ПОК}^{(3)} T_{13},$$

где $K_{ПОК}^{(3)}$ – дробь первого слагаемого формулы $K_{ПОК}$.

Тогда оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{13}^{(2)}$) рассчитывается по выражению:

$$T_{13}^{(2)} = T_{13} - T_{13}^{(1)} = T_{13} - K_{ПОК}^{(3)} T_{13} = T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}).$$

После применения второго слагаемого коэффициента K_3 трудоёмкость $T_{13}^{(2)}$ снижается до величины $T_{13}^{(3)}$:

$$T_{13}^{(3)} = K_3^{(3)} T_{13}^{(2)} = K_3^{(3)} T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) = T_{13} K_3^{(3)} (1 - K_{ПОК}^{(3)}),$$

где $K_3^{(3)}$ – дробь второго слагаемого формулы K_3 .

Таким образом, после преобразования коэффициента K_3 получаем формулу второго его слагаемого:

$$K_3^{(3)} = a_1 a_{13} \left(1 - K_{ПОК}^{(3)}\right) \frac{\sum D_{3i} b_{3.СЛi}}{D - D_{ПОК}}$$

Величина трудоёмкости, оставшейся после применения второго слагаемого коэффициента K_3 , определяется по формуле:

$$T_{13}^{(4)} = T_{13}^{(2)} - T_{13}^{(3)} = T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) - K_3^{(3)} T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) = T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}).$$

После применения второго слагаемого коэффициента $K_{ПВД}$ трудоёмкость $T_{13}^{(4)}$ снижается до величины $T_{13}^{(5)}$:

$$T_{13}^{(5)} = K_{ПВД}^{(3)} T_{13}^{(4)} = K_{ПВД}^{(3)} T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) = T_{13} K_{ПВД}^{(3)} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}),$$

где $K_{ПВД}^{(3)}$ – дробь второго слагаемого формулы $K_{ПВД}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{ПВД}$ получаем формулу второго его слагаемого:

$$K_{ПВД}^{(3)} = a_1 a_{13} \left(1 - K_{ПОК}^{(3)}\right) (1 - K_3^{(3)}) \frac{\sum (D_{ПВДj} - 1) i b_{ПВД.СЛi} - \sum (D_{ПВД.3j} - 1) i b_{ПВД.СЛi}}{D - D_{ПОК} - D_3}$$

Величина трудоёмкости, оставшейся после применения второго слагаемого коэффициентов $K_{ПВД}$, определяется по формуле:

$$T_{13}^{(6)} = T_{13}^{(4)} - T_{13}^{(5)} = T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) - K_{ПВД}^{(3)} T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) = T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) (1 - K_{ПВД}^{(3)}).$$

После применения второго слагаемого $K_{ПВС}$ трудоёмкость $T_{13}^{(6)}$ снижается до величины $T_{13}^{(7)}$:

$$T_{13}^{(7)} = K_{ПВС}^{(3)} T_{13}^{(6)} = K_{ПВС}^{(1)} T_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) (1 - K_{ПВД}^{(3)}),$$

где $K_{ПВС}^{(3)}$ – дробь второго слагаемого формулы $K_{ПВД}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{ПВС}$ получаем формулу второго его слагаемого:

$$K_{ПВС}^{(3)} = a_1 a_{13} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) (1 - K_{ПВД}^{(3)}) \frac{\sum (C_{ПВСj} - 1) b_{С.СЛi}}{C}.$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности четвертой группы – $K_{ПОК}$, $K_{ПВД}$. В этой группе оба коэффициента технологичности влияют на снижение трудоёмкости T_{21} , что потребует изменения только третьего слагаемого в расчетной формуле $K_{ПВД}$.

После применения третьего слагаемого ко-

эффициента $K_{ПОК}$ величина T_{21} уменьшится на величину $T_{21}^{(1)}$:

$$T_{21}^{(1)} = K_{ПОК}^{(4)} T_{21},$$

где $K_{ПОК}^{(4)}$ – дробь третьего слагаемого формулы $K_{ПОК}$.

Тогда оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{21}^{(1)}$) определяется по следующему выражению:

$$T_{21}^{(2)} = T_{21} - T_{21}^{(1)} = T_{21} - K_{ПОК}^{(3)} T_{21} = T_{21} (1 - K_{ПОК}^{(3)}).$$

После применения третьего слагаемого коэффициента $K_{ПВД}$ трудоёмкость $T_{21}^{(2)}$ снижается до величины $T_{21}^{(3)}$:

$$T_{21}^{(3)} = K_{ПВД}^{(4)} T_{21}^{(2)} = K_{ПВД}^{(4)} T_{21} (1 - K_{ПОК}^{(3)}) = T_{21} K_{ПВД}^{(4)} (1 - K_{ПОК}^{(3)}),$$

где $K_{ПВД}^{(4)}$ – дробь третьего слагаемого формулы $K_{ПВД}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента $K_{ПВД}$ получаем формулу третьего его слагаемого:

$$K_{ПВД}^{(4)} = a_2 a_{21} (1 - K_{ПОК}^{(4)}) \frac{\sum (D_{ПВДj} - 1) b_{ПВД.СЛi}}{D - D_{ПОК}}.$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности пятой группы – $K_{ПОК}$, $K_{ТЧ}$, $K_{Ш}$, $K_{ТВ}$. В этой группе все коэффициенты технологичности влияют на величину трудоёмкости T_{22} , что потребует изменения в их расчетных формулах, за исключением коэффициента $K_{ПОК}$, расчетная формула которого не изменится.

После применения четвертого слагаемого формулы $K_{ПОК}$ величина T_{22} уменьшится на величину $T_{22}^{(1)}$:

$$T_{22}^{(1)} = K_{ПОК}^{(5)} T_{22},$$

где $K_{ПОК}^{(5)}$ – дробь четвертого слагаемого формулы $K_{ПОК}$.

Тогда оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{22}^{(2)}$) будет равна:

$$T_{22}^{(2)} = T_{22} - T_{22}^{(1)} = T_{22} - K_{ПОК}^{(5)} T_{22} = T_{22} (1 - K_{ПОК}^{(5)}).$$

Далее рассчитываются снижение трудоёмкости $T_{22}^{(3)}$ в результате применения коэффициентов $K_{ТЧ}$, $K_{Ш}$, $K_{ТВ}$ без изменения их формул, после чего сопоставляются результаты снижения трудоёмкости $T_{22}^{(3)}$, и при определении уровня ТКИ в расчет принимается только тот из них, который снижает $T_{22}^{(3)}$ на меньшую величину. Расчетные формулы коэффициентов $K_{ТЧ}$, $K_{Ш}$, $K_{ТВ}$ принимают следующий вид после применения коэффициента $K_{ПОК}$:

$$K_{ТЧ}^{(1)} = a_2 a_{22} (1 - K_{ПОК}^{(5)}) \left(1 - \frac{n}{\sum B_i b_{Шi} b_{СШi}}\right).$$

$$K_{Ш}^{(1)} = a_2 a_{22} (1 - K_{ПОК}^{(5)}) \left(1 - \frac{n}{\sum A_i b_{ТЧi} b_{ТЧSi}}\right).$$

$$K_{ТВ}^{(1)} = a_2 a_{22} (1 - K_{ПОК}^{(5)}) \left(\frac{\sum D_{ТВi} b_{ТВi} b_{ТВSi}}{D}\right).$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности шестой группы – $K_{ПОК}$, K_M . В этой группе оба коэффициента технологичности влияют на снижение трудоёмкости T_{23} , что потребует изменения только первого слагаемого в расчетной формуле K_M .

После применения пятого слагаемого коэффициента $K_{ПОК}$ величина T_{23} уменьшится на величину $T_{23}^{(1)}$:

$$T_{23}^{(1)} = K_{\text{ПОК}}^{(6)} T_{23},$$

где $K_{\text{ПОК}}^{(6)}$ – дробь пятого слагаемого формулы $K_{\text{ПОК}}$.

Оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{23}^{(1)}$) определяется следующим образом:

$$T_{23}^{(2)} = T_{23} - T_{23}^{(1)} = T_{23} - K_{\text{ПОК}}^{(6)} T_{23} = T_{23}(1 - K_{\text{ПОК}}^{(6)}).$$

После применения первого слагаемого K_M трудоёмкость $T_{23}^{(2)}$ снижается до величины $T_{23}^{(3)}$:

$$T_{23}^{(3)} = K_M^{(6)} T_{23}^{(2)} = K_M^{(6)} T_{23}(1 - K_{\text{ПОК}}^{(6)}),$$

где $K_M^{(6)}$ – дробь первого слагаемого формулы K_M .

Таким образом, после преобразования коэффициента K_M получаем формулу первого его слагаемого:

$$K_M^{(6)} = a_2 a_{23} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(6)}) \frac{\sum \Delta_{Mi} b_{Mi}}{\Delta_M}.$$

Преобразование расчетных формул коэффициентов технологичности седьмой группы – $K_C, K_{\text{МРЦ}}$. В этой группе оба коэффициента технологичности влияют на снижение трудоёмкости T_{25} , что потребует изменения только второго слагаемого в расчетной формуле $K_{\text{МРЦ}}$.

После применения K_C величина T_{25} уменьшится на величину $T_{25}^{(1)}$:

$$T_{25}^{(1)} = K_C^{(7)} T_{25},$$

где $K_C^{(7)}$ – дробь формулы K_C .

Оставшаяся часть трудоёмкости ($T_{25}^{(2)}$) определяется по следующему выражению:

$$T_{25}^{(2)} = T_{25} - T_{25}^{(1)} = T_{25} - K_C^{(7)} T_{25} = T_{25}(1 - K_C^{(7)}).$$

После применения коэффициента $K_{\text{МРЦ}}$ трудоёмкость $T_{25}^{(2)}$ снижается до величины $T_{25}^{(3)}$:

$$T_{25}^{(3)} = K_{\text{МРЦ}}^{(7)} T_{25}^{(2)} = K_{\text{МРЦ}}^{(7)} T_{25}(1 - K_C^{(7)}),$$

где $K_{\text{МРЦ}}^{(7)}$ – дробь второго слагаемого формулы $K_{\text{МРЦ}}$.

Таким образом, после преобразования коэффициента K_M получаем формулу первого его слагаемого:

$$K_{\text{МРЦ}}^{(7)} = a_2 a_{25} (1 - K_C^{(7)}) \frac{ПВb_{\text{ИЗ.ПВ}} + НПb_{\text{ИЗ.НП}} + ГВb_{\text{ИЗ.ГВ}} + РЕb_{\text{ИЗ.РЕ}} + ПРb_{\text{ИЗ.ПР}}}{n_{\text{МРЦ}}}.$$

В связи с этим нужно внести изменения в формулы коэффициентов технологичности.

В формуле второго коэффициента (K_3) из-

меняют оба слагаемых. В результате формула коэффициента заимствования имеет следующий вид:

$$K_3 = a_1 a_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) \frac{\sum D_{3i} b_{3.СЛi}}{D - D_{\text{ПОК}}} + a_1 a_{13} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) \frac{\sum D_{3i} b_{3.СЛi}}{D - D_{\text{ПОК}}},$$

где D – общее число деталей КИ; $D_{\text{ПОК}}$ – число покупных деталей КИ; D_{3i} – i -я заимствованная деталь; $b_{3.СЛi}$ – коэффициент, отражающий уровень сложности конструкции i -го заимствованного элемента; $a_1 = \frac{T_1}{T}$ – степень влияния T_1 на T ; $a_{11} = \frac{T_{11}}{T_1}$ – степень влияния T_{11} на T_1 ;

$a_{13} = \frac{T_{13}}{T_1}$ – степень влияния T_{13} на T_1 .

В формуле третьего коэффициента ($K_{\text{ПВД}}$) изменятся три слагаемые. В результате формула коэффициента повторяемости деталей будет иметь следующий вид:

$$K_{\text{ПВД}} = a_1 a_{11} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) \times \frac{\sum (D_{\text{ПВД}j} - 1) i b_{\text{ПВД.СЛ}i} - \sum (D_{\text{ПВД.3}j} - 1) i b_{\text{ПВД.СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3} + a_1 a_{13} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) \times \frac{\sum (D_{\text{ПВД}j} - 1) i b_{\text{ПВД.СЛ}i} - \sum (D_{\text{ПВД.3}j} - 1) i b_{\text{ПВД.СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}} - D_3} + a_2 a_{21} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(4)}) \frac{\sum (D_{\text{ПВД}j} - 1) i b_{\text{ПВД.СЛ}i}}{D - D_{\text{ПОК}}},$$

где $D_{пвдj}$ – j -е число повторяемых деталей i -й группы; $D_{пвд3j}$ – j -е число повторяемых заимствованных деталей i -й группы; D_3 – число заимствованных деталей КИ; $b_{пвд.сли}$ – коэффициент, учитывающий влияние сложности конструкции i -й повторяемой детали на снижение соответствующего подвида трудоёмкости из-

готовления КИ (T_{ij}); a – степень влияния T_2 на T ; $a_{21} = \frac{T_{21}}{T_2}$ – степень влияния T_{11} на T_1 .

В формуле четвертого коэффициента ($K_{пвс}$) меняется только второе слагаемое. В результате формула коэффициента повторяемости соединений будет иметь следующий вид:

$$K_{пвс} = a_1 a_{12} \frac{\sum (C_{пвсj} - 1)_i b_{с.сли}}{C} + a_1 a_{13} (1 - K_{пок}^{(3)}) (1 - K_3^{(3)}) (1 - K_{пвд}^{(3)}) \times \\ \times \frac{\sum (C_{пвсj} - 1)_i b_{с.сли}}{C} + a_2 a_{24} \frac{\sum (C_{пвсj} - 1)_i b_{с.сли}}{C},$$

где $C_{пвсj}$ – j -е число повторяемых соединений i -й группы; C – общее количество соединений КИ; $b_{с.сли}$ – коэффициент, учитывающий влияние сложности конструкции i -го повторяемого соединения на снижение соответст-

вующего подвида трудоёмкости изготовления КИ (T_{ij}); $a_{24} = \frac{T_{24}}{T_2}$ – степень влияния T_{24} на T_2 .

Формула пятого коэффициента ($K_{тип}$) изменится и будет иметь следующий вид:

$$K_{тип} = a_1 a_{11} (1 - K_{пок}^{(1)}) (1 - K_3^{(1)}) (1 - K_{пвд}^{(1)}) \frac{\sum D_{типi} b_{тип.сли}}{D - D_{пок} - D_3 - D_{пвд} + m},$$

где $D_{типi}$ – типовой представитель i -й группы деталей в КИ; $D_{пвд}$ – число повторяемых деталей КИ; m – число повторяемых групп деталей КИ; $b_{тип.сли}$ – коэффициент, учитывающий влияние сложности конструкции i -го типового представителя на снижение соответствующего подвида трудоёмкости изготовления КИ (T_{11}).

Формула шестого коэффициента ($K_{тч}$) примет следующий вид:

$$K_{тч} = a_2 a_{22} (1 - K_{пок}^{(5)}) \left(1 - \frac{n}{\sum A_i b_{тчi} b_{тчsi}}\right),$$

где A_i – наиболее жесткий i -й квалитет точности, который выбирается между квалитетом точности, назначенным на размер поверхности, на отклонение её формы и на размер относительного положения; n – число поверхностей деталей в изделии; $b_{тчi}$ – коэффициент, учитывающий трудоёмкость достижения точности A_i при обработке детали, изменяющийся от нуля до единицы; $b_{тчsi}$ – доля площади i -й поверхности детали, от общей площади поверхностей всех деталей в изделии принятой за единицу; $a_{22} = \frac{T_{22}}{T_2}$ – степень влияния T_{22} на T_2 .

Формула седьмого коэффициента ($K_{ш}$) изменится и примет следующий вид:

$$K_{ш} = a_2 a_{22} (1 - K_{пок}^{(5)}) \left(1 - \frac{n}{\sum B_i b_{ши} b_{шsi}}\right),$$

где B_i – значение i -го параметра шероховатости поверхностей деталей в изделии; n – количество поверхностей деталей в изделии; $b_{ши}$ – коэффициент, учитывающий трудоёмкость достижения параметра B_i при обработке детали, изменяющийся от нуля до единицы; $b_{шsi}$ – доля площади i -й поверхности детали от общей площади поверхностей всех деталей в изделии, принятой за единицу.

Формула восьмого коэффициента ($K_{тв}$) примет следующий вид:

$$K_{тв} = a_2 a_{22} (1 - K_{пок}^{(5)}) \left(\frac{\sum D_{тви} b_{тви} b_{твsi}}{D_{тв}}\right),$$

где $D_{тви}$ – число не покупных деталей i -го значения твёрдости материала КИ; $D_{тв}$ – общее число не покупных деталей КИ; $b_{тви}$ – степень влияния i -го значения твёрдости материала детали на снижение подвида трудоёмкости изготовления КИ (T_{22}); $b_{твsi}$ – коэффициент степени влияния величины площадей поверхностей деталей на снижение трудоёмкости изготовления КИ.

В формуле девятого коэффициента ($K_{м}$) меняется только первое слагаемое. В результате формула коэффициента массы элементов изделия будет иметь следующий вид:

$$K_M = a_2 a_{23} (1 - K_{\text{ПОК}}^{(6)}) \left(\frac{\sum \Delta_{Mi} b_{Mi}}{\Delta_M} \right) + a_2 a_{26} \left(\frac{\sum \Delta_{Mi} b_{Mi}}{\Delta_M} \right),$$

где Δ_{Mi} – число элементов i -го значения массы; Δ_M – число элементов КИ; b_{Mi} – степень влияния i -го значения массы элемента на снижение соответствующего подвида трудоёмкости изготовления КИ (T_{ij}); $a_{23} = \frac{T_{23}}{T_2}$ – сте-

пень влияния T_{23} на T_2 ; $a_{26} = \frac{T_{26}}{T_2}$ – степень влияния T_{26} на T_2 .

В формуле одиннадцатого коэффициента ($K_{\text{МРЦ}}$) меняются оба слагаемых. В результате его формула будет иметь следующий вид:

$$K_{\text{МРЦ}} = a_1 a_{12} (1 - K_{\text{ПВС}}^{(2)}) \times \left(\frac{\text{ПВ}b_{\text{Р.ПВ}} + \text{НП}b_{\text{Р.НП}} + \text{ГВ}b_{\text{Р.ГВ}} + \text{РЕ}b_{\text{Р.РЕ}} + \text{ПР}b_{\text{Р.ПР}}}{n_{\text{МРЦ}}} \right) +$$

$$+ a_2 a_{25} \times (1 - K_C^{(7)}) \times \left(\frac{\text{ПВ}b_{\text{ИЗ.ПВ}} + \text{НП}b_{\text{ИЗ.НП}} + \text{ГВ}b_{\text{ИЗ.ГВ}} + \text{РЕ}b_{\text{ИЗ.РЕ}} + \text{ПР}b_{\text{ИЗ.ПР}}}{n_{\text{МРЦ}}} \right),$$

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; $n_{\text{МРЦ}}$ — общее число размерных цепей в КИ; $b_{\text{ИЗ.ПВ}}$ — 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; $b_{\text{Р.ПВ}}$ — коэффициент степени влияния метода полной взаимозаменяемости на трудоёмкость сборки изделия; $b_{\text{Р.НП}}$ — коэффициент степени влияния метода неполной взаимозаменяемости на трудоёмкость сборки изделия; $b_{\text{Р.ГВ}}$ — коэффициент степени влияния метода групповой взаимозаменяемости на трудоёмкость сборки изделия; $b_{\text{Р.РЕ}}$ — коэффициент степени влияния метода регулировки на трудоёмкость сборки изделия; $b_{\text{Р.ПР}}$ — коэффициент степени влияния метода пригонки на трудоёмкость

сборки изделия; $a_{26} = \frac{T_{26}}{T_2}$ — степень влияния T_{26} на T_2 .

Скорректированные формулы коэффициентов технологичности позволяют определить уровень технологичности конструкции изделия путём их суммирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троицкий, А.А. Расчетные формулы коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – № 7(109). – С. 31-34.
2. Базров, В.М., Троицкий, А.А. Система коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Станки и инструмент. – 2019. – № 3. – С. 22-26.
3. Базров, В.М., Троицкий, А.А. Метод суммирования коэффициентов производственной технологичности конструкции изделия // Технология машиностроения. – 2020. – № 8. – С. 70-75.

REFERENCES

1. Troitsky, A.A. Design formulae of manufacturability factors of product design // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2020. – No.7(109). – pp. 31-34.
2. Bazrov, V.M., Troitsky, A.A. System of manufacturability factors of product design // *Machines and Tools*. – 2019. – No.3. – pp. 22-26.
3. Bazrov, V.M., Troitsky, A.A. Summation method of manufacturability factors of product design // *Engineering Technique*. – 2020. – No.8. – pp.70-75.

Рецензент д.т.н. П.Ю. Бочкарёв