

УДК 621.7

В.У. Мнацакян, д.т.н., проф., Московский государственный горный университет, **Гуляев Е.С.** инженер, Московский государственный университет дизайна и технологии.

e-mail: artvik@bk.ru

Комплексная многоуровневая оценка технологичности конструкции машин

Изложена методика многоуровневой оценки технологичности конструкции автономно позиционируемых деталей машин для обеспечения экономичности их изготовления и точности позиционирования при эксплуатации.

Ключевые слова: технологичность конструкции, показатели технологичности, коэффициент надежности, коэффициент экономической эквивалентности.

V.U. Mnatsakanyan, Ye. S. Gulyaev

Integrated Multi-level Assessment of The Technological Construct of Machines

Here is the technique of multi-level assessment of the technological construct independently positioned machine parts to ensure the efficiency of their manufacturing and positioning accuracy during operation.

Keywords: manufacturability of the construct, indicators manufacturability, reliability factor, coefficient of economic equivalence.

Одним из ключевых этапов проектирования технологических процессов изготовления и сборки машин является оценка технологичности конструкции изделия в целом, его сборочных единиц и деталей. Под технологичностью конструкции машин понимают совокупность свойств конструкции, обеспечивающих изготовление, эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание изделия по наиболее эффективным технологиям с наименьшими производственными затратами [1]. Таким образом, анализ технологичности конструкции машин проводят с целью определения возможности снижения трудоемкости и себестоимости их изготовления, что особенно актуально для изделий, к параметрам качества которых предъявляют повышенные требования.

В статье рассматривается многоуровневая оценка технологичности конструкции изделия на примере оценки технологичности прокладчика ткацкого станка, для которого требования точности изготовления по основным параметрам регламентируются по шестому, седьмому качеству.

Оценка технологичности конструкции выполняется по комплексу качественных и количественных критериев. Качественная оценка технологичности (хорошо - плохо; допустимо - недопустимо) определяет соответствие конструкции изделия требованиям его служебного назначения, т.е., в данном случае, требованиям выполнения автоматического позиционирования прокладчика на всех технологических переходах рабочего цикла станка. Она включает:

- достижение точности замыкающих звеньев в позиционных связях методом полной взаимозаменяемости;
- наличие надежных установочных баз прокладчика и баз для его ориентации на рабочих позициях станка;
- требуемую геометрию и размеры поверхностей сопряжений;
- количество и направления движений ориентации при установке прокладчика на позицию;
- наличие направляющих и центрирующих элементов на сопрягаемых поверхностях (фасок, поясков, наклонных поверхностей и др.);
- уровень унификации геометрических элементов в соединениях прокладчика с исполнительными поверхностями на рабочих позициях.

Для обеспечения автоматического ориентирования конструкция корпуса прокладчика должна быть симметричной как по наружным, так и по внутренним поверхностям.

Выполнение комплексной многоуровневой оценки технологичности конструкции прокладчика для условий осуществления безотказного автоматического позиционирования на основных переходах рабочего цикла, предусматривает необходимость выявления и оценки отдельных функциональных элементов в конструкции прокладчика, которые непосредственно влияют на точность его позиционирования. Каждый из таких элементов оценивается двумя показателями:

- частным показателем надежности позиционирования (ориентации) K_i ;
- коэффициентом экономической эквивалентности $K_{эi}$.

Это позволяет рассчитать коэффициент комплексной многоуровневой оценки технологичности прокладчика K_T по формуле:

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_i \cdot K_{эi}}{\sum_{i=1}^{i=n} K_{эi}}, \quad (1)$$

где n – количество рассматриваемых функциональных элементов.

Ниже в таблице приведены рассматриваемые функциональные элементы прокладчика, определяющие его ориентацию, и их показатели - коэффициенты надежности позиционирования и коэффициенты экономической эквивалентности:

Таблица

№ показателя	Коэффициенты надежности позиционирования K_i	Коэффициенты экономической эквивалентности $K_{эi}$
1	Сложность ориентации K_o	$K_{эo}$
2	Симметричность наружных поверхностей K_c	$K_{эc}$
3	Определенность базирования K_b	$K_{эb}$
4	Точность линейных и угловых размеров базовых поверхностей K_n	$K_{эi}$
5	Точность геометрической формы и шероховатость базовых поверхностей K_f	$K_{эф}$
6	Неповреждаемость базовых поверхностей K_n	$K_{эн}$
7	Размеры базовых поверхностей K_p	$K_{эp}$
8	Углы фасок и уклонов на ориентирующих поверхностях K_y	$K_{эy}$
9	Количество сопряжений K_c	$K_{эc}$

Численные значения каждого из коэффициентов надежности позиционирования K_i и коэффициентов экономической эквивалентности $K_{эi}$ находятся в пределах:

$$0 < K_i < 1; \quad 0 < K_{эi} < 1,$$

а суммарное значение каждого из них соответственно равно единице:

$$K_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i = 1 \quad \text{и} \quad K_{э\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} K_{эi} = 1.$$

Это означает, что с увеличением значения коэффициента $K_i \Rightarrow 1$, характеризующего определенный показатель конструкции прокладчика, уровень технологичности его конструкции повышается. Аналогично с увеличением значения коэффициента $K_{эi} \Rightarrow 1$ происходит снижение затрат на изготовление прокладчика.

В соответствии с этим коэффициент комплексной многоуровневой оценки технологичности прокладчика K_T , определяемый по формуле (1), также будет иметь численные значения в пределах $0 < K_T < 1$.

Чем больше величина этого коэффициента, тем выше уровень технологичности конструкции прокладчика и на его изготовление требуются меньшие производственные затраты.

Частные показатели технологичности K_i и $K_{эi}$ определяют на основе данных теоретических, экспериментальных и производственных исследований процессов автоматического соединения рассматриваемых изделий, а также на основе выявляемых статистических данных по затратам на изготовление деталей прецизионной точности.

Отдельные коэффициенты могут быть рассчитаны по формулам [2]. Так, например, коэффициент симметричности K_c для деталей с наружными плоскими поверхностями можно рассчитать по формуле:

$$K_c = 1 - N_p / 2n_p, \quad (2)$$

где N_p – число различных положений деталей;

n_p – число ребер деталей.

Согласно выражению (2) коэффициент симметричности K_c для корпуса прокладчика, имеющего восемь ребер $n_p = 8$ и шесть положений $N_p = 6$ составит:

$$K_c = 1 - 6 / 16 = 0,625.$$

Для удобства расчетов коэффициентов экономической эквивалентности $K_{эi}$, когда для отдельных показателей его значения могут быть достаточно малыми, целесообразно применить способ относительных приращений [2, 3]. В этом случае в начале находят коэффициент $K_{эi}$, имеющий наибольшее значение $K_{эi}^{\max}$, а затем относительно его определяют приращение $\Delta_{эj}$ (разность значений) для коэффициента $K_{эj}$ другого показателя:

$$\Delta_{эj} = K_{эi}^{\max} - K_{эj}. \quad (3)$$

Так как, сумма значений всех коэффициентов $K_{эi}$ должна быть равна единице, то оставшаяся величина $\Delta_{э(m-n)}$ для коэффициентов экономической эквивалентности $K_{эj}$ других показателей может быть найдена по формуле:

$$\Delta_{э(m-n)} = 1 - K_{эi}^{\max} - \sum_{i=1}^{i=m} (K_{эi}^{\max} - \Delta_{эi}) \quad (4)$$

или по формуле:

$$\Delta_{эj} = 1 - K_{эi}^{\max} - \sum_{i=1}^{i=m} K_{эi} \quad (5)$$

где m - количество коэффициентов с установленными численными значениями;

n - количество коэффициентов для всех рассматриваемых показателей. Зная частные показатели технологичности (коэффициенты надежности позиционирования K_i и коэффициенты экономической эквивалентности $K_{эi}$), представляется возможным по формуле (1) рассчитать комплексный многоуровневый показатель технологичности прокладчика K_T :

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^{i=9} K_i \cdot K_{эi}}{\sum_{i=1}^{i=9} K_{эi}} = \frac{K_o \cdot K_{эo} + \dots + K_y \cdot K_{эy} + K_c \cdot K_{эc}}{K_{эo} + \dots + K_y + K_{эy} + K_{эc}}. \quad (6)$$

На основе изложенного для рассматриваемого нитепрокладчика были определены численные значения коэффициентов надежности позиционирования K_i :

K_o	K_c	K_6	K_n	K_ϕ	K_h	K_p	K_y	K_c
0,10	0,22	0,07	0,15	0,13	0,16	0,08	0,04	0,05

и значения коэффициентов экономической эквивалентности $K_{эi}$:

$K_{эo}$	$K_{эc}$	$K_{э6}$	$K_{эn}$	$K_{эф}$	$K_{эн}$	$K_{эp}$	$K_{эy}$	$K_{эc}$
0,05	0,625	0,02	0,10	0,065	0,05	0,02	0,04	0,03

Это позволило по формуле (6) рассчитать комплексный многоуровневый показатель технологичности нитепрокладчика K_T :

$$K_T = \frac{\sum_{i=1}^{i=9} K_i \cdot K_{эi}}{\sum_{i=1}^{i=9} K_{эi}} = \frac{0,1 \cdot 0,05 + \dots + 0,04 \cdot 0,04 + 0,05 \cdot 0,03}{0,05 + \dots + 0,02 + 0,04 + 0,03} = 0,18.$$

Полученный результат $K_T = 0,18$ показывает, что сложный по геометрии, многофункциональный корпус нитепрокладчика, параметры геометрической точности которого соответствуют прецизионному уровню, в целом, является нетехнологичным. Высокие требования точности геометрической формы, точности относительного положения поверхностей, точности угловых и линейных размеров достигаются путем многократного, поэтапного уточнения в результате выполнения 65-и операций. Все это определяет большую трудоемкость изготовления корпуса и значительные производственные затраты, которые следует считать целесообразными и оправданными при стабильном выполнении нитепрокладчиком своего служебного назначения, при его безотказном автоматическом позиционировании на всех переходах рабочего цикла станка.

Исследования показывают, что изложенный подход может быть также реализован для оценки технологичности сложных по конструкции рабочих элементов роторно-вихревых насосов (в частности, ступени ротор-статор), используемых при добыче трудноизвлекаемых запасов нефти в осложненных скважинах.

Список литературы

1. **Технология машиностроения.** Под ред. Тимирязева В.А./ В.У. Мнацаканян, В.В. Морозов, А.Г. Схиртладзе, В.А. Тимирязев. Владимир: ВлГУ, 2013 г., 524 с.
2. **Технология автоматической сборки.** Под. Ред. А.Г. Холодковой /А.Г. Холодкова, М.Г. Кристаль, Б.Л. Штриков и др. М.: Машиностроение, 2010 г., 560 с.
3. **Гусев А.А.** Адаптивные устройства сборочных машин. М.: Машиностроение, 1979 г., 208 с.