

мещений и требуемой точности обработки через основные показатели технологической надежности. Для повышения уровня технологической надежности МЦС с ЧПУ в разработанной программе предлагается учитывать влияние систематических составляющих погрешностей позиционирования при оценке начального состояния путем коррекции положения осей координат в плоскости позиционирования. Так, для рассматриваемого лимитирующего размера 80 мм величина коррекции составляет 14,7 мкм (при двухстороннем позиционировании), что позволяет увеличить точность обработки до 6 качества (допуск 22 мкм). Также возможна автоматическая коррекция во время обработки положения инструмента по максимальному значению принятого диагностического сигнала.

Заключение. На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Для выбора рациональных условий эксплуатации МЦС с ЧПУ и принятия оптимального конструктивного решения при проектировании необходимо использовать, наряду с основными показателями технологической надежности $P(t)$ и K_T , дополнительные показатели K_1, K_2, K_3 , которые определяют соотношения между систематическими и случайными составляющими погрешности выходного параметра.
2. Рассчитанные для рассматриваемого станка показатели технологической надежности позволяют определить границы области существования выходного параметра для различных требований точности обработки и режимов работы МЦС с ЧПУ.

3. Прогнозирование показателей технологической надежности МЦС с ЧПУ позволяет решить задачу увеличения ресурса станка по точности обработки, запаса надежности за счет коррекции устройством управления запрограммированного положения рабочего органа.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
2. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник. В 3-х т. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]: под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – Т. 1. – 444 с.
3. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 9 – 352 с.
4. Горбунов, В.П. Оценка технологической надежности многоцелевого станка по параметру точности координатных перемещений / В.П. Горбунов, В.Ф. Григорьев // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест, 2000. – № 4(4): Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – С. 8–11.
5. Горбунов, В.П. Диагностирование тепловых деформаций многоцелевого станка с ЧПУ / В.П. Горбунов, В.Ф. Григорьев, А.Н. Рудюк // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2008. – №4(52): Машиностроение. – С. 8–11.

Материал поступил в редакцию 17.09.09

HARBUNOU V.P., RUDIYOUK A.N. Forecasting of indexes of technological reliability of a workcenter from the numerical control on an output parameter

Forecasting of indicators of technological reliability of the multi-purpose machine tool with numerical programmed control on target parametre.

Results of an estimation of an initial condition of the multi-purpose machine tool with CNC on target parametre – accuracy of positioning and its change for an operating time are resulted. The calculated indicators of technological reliability allow to define area of existence of target parametre for various requirements of accuracy of processing, a machine tool operating mode and as give the chance to increase a machine tool resource on accuracy.

УДК 693.22.004.18

Григорьев В.Ф., Дакало Ю.А.

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГРАФОВ

Введение. Повышение уровня качества и конкурентоспособности продукции машиностроения требует её непрерывного совершенствования и частой смены объектов производства. Это ведёт к увеличению объёмов и сложности проектных и конструкторских работ, связанных как с созданием изделия, так и с технической подготовкой его производства. При этом нежелательно увеличение сроков разработки и внедрения новой техники. Одним из направлений сокращения сроков освоения и улучшения качества выпускаемых машин является применение в практике конструирования расчётных принципов назначения качественных показателей изделий. Поэтому важной задачей, решаемой в процессе проектирования машин, является установление связей между геометрическими характеристиками деталей машины и её служебным назначением, а также разработка норм точности этих показателей.

Конструктивные и технологические особенности машины зависят от методов координации поверхностей, т.е. правильной расстановки размеров, а также выбора значений и методов задания их допусков. Благодаря рациональному заданию размеров и допусков, не изменяя конструкцию, можно не только значительно повысить точность и взаимозаменяемость изделия, но и уменьшить трудоёмкость его изготовления.

В основе размерной отработки конструкции лежит анализ размерных связей: вначале между деталями механизмов и узлов, а затем внутри каждой детали.

Выявление конструкторских размерных цепей – сложная, трудоёмкая, неформальная задача. Применение методики размерного анализа упрощает процесс выявления размерных цепей, позволяет решать задачи обеспечения качества сложных изделий машиностроения и открывает путь к его алгоритмизации.

Методика исследований. Решение линейно-угловых размерных цепей возможно в двух вариантах [1, 2]: можно рассматривать либо угловые размеры, либо линейные размеры в двух координатных направлениях. В случае если большинство размеров деталей задано в линейном виде, размерный анализ целесообразнее производить в двух координатных направлениях. Такую плоскую размерную цепь решают путем её приведения к двум линейным цепям путём замены составляющих звеньев их проекциями на две взаимно перпендикулярных оси. При этом угловые размеры выражаются через линейные с помощью тригонометрических функций.

Григорьев Владимир Фёдорович, к.т.н., доцент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Дакало Юрий Александрович, магистр технических наук, ассистент кафедры машиноведения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Выявление размерных цепей может проводиться двумя способами:

- по отдельности для каждого линейного или углового размера;
- комплексно, для всех размеров в определённом координатном направлении, на основе графа размерных связей.

В математике под графом понимается пара множеств - множество вершин, соответствующих анализируемым объектам и множество пар вершин (рёбер), соответствующих взаимосвязям между объектами. При построении графа размерных связей под объектами подразумеваются конструктивные элементы детали, под рёбрами - размеры объектов, размеры и допуски, определяющие взаимное расположение объектов, текстовые технические требования, косвенно заданные размеры. Схематично граф изображается множеством окружностей (вершин), соединённых линиями (рёбрами).

В основу метода графов положена схема замещения изделия структурированным множеством поверхностей изделия. С этой целью изделие следует рассматривать как конструкцию, представляющую собой совокупность сборочных единиц и деталей, где каждая деталь - это подмножество поверхностей.

В качестве схемы замещения изделия воспользуемся графом иерархической структуры [3]. Использование множества поверхностей в качестве конечного элемента изделия позволит рассматривать последнее в виде графа. Для этого надо построить три графа: граф сборочных единиц и деталей изделия, граф деталей изделия, граф поверхностей изделия.

Применим данную методику для размерного анализа сборочной единицы электрических и газовых плит "Шарнир дверцы духовки". На машиностроительном предприятии был установлен брак по углу открывания дверцы духовки.

Шарнир служит для крепления и фиксации углового положения дверцы духовки. Дверца духовки через блок шарнира (рис. 1) крепится с помощью двух шарниров дверцы духовки к корпусу плиты и имеет положение монтажа ($\alpha_{\Delta}=40^{\circ}$), положение гриль ($\alpha_{\Delta}=20^{\circ}$) и два крайних положения (положение при открытой и закрытой дверце).

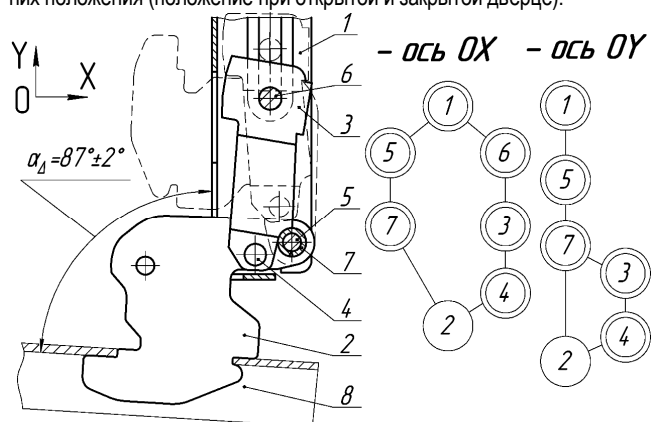


Рис. 1. Эскиз сборочной единицы и графы деталей: 1 – корпус; 2 – тяга; 3 – кронштейн; 4 – ось тяги; 5 – ось; 6 – ось механизма; 7 – обойма; 8 – блок шарнира

В положении при открытой дверце необходимо обеспечить размер $\alpha_{\Delta}=87^{\circ}\pm 2^{\circ}$. Погрешность угла открывания составляла до $\pm 8^{\circ}$. С целью устранения нестабильности угла открывания был разработан второй вариант конструкции сборочной единицы. Поскольку большинство размеров деталей задано в линейном виде, размерный анализ конструктивных вариантов будем производить в двух координатных направлениях.

Построение графа множества поверхностей изделия начинается с построения графа изделия как совокупности сборочных единиц и деталей [4]. Для этого проводится анализ сборочного чертежа изделия, в результате которого устанавливаются связи между сборочными единицами и деталями, и определяется, какие из них являются базисными для других.

Граф строится следующим образом. На первом уровне располагается базовая деталь изделия. На втором уровне располагаются

детали и сборочные единицы, устанавливаемые на базовой детали; на третьем уровне располагаются детали и сборочные единицы, устанавливаемые на деталях или сборочных единицах предыдущего уровня и т.д., до последней детали и сборочной единицы. Построенный таким образом граф показывает состав деталей и сборочных единиц и геометрические связи между ними. Однако этот граф не отражает характер соединения деталей и сборочных единиц, являющийся одним из важных элементов конструкции изделия, которые влияют на его качество и во многом определяют технологический процесс сборки изделия. Отсутствие этой информации в графе делает неполным представление об изделии. В связи с этим, чтобы установить все соединения деталей в изделии, надо заменить в графе сборочные единицы изделия совокупностями составляющих их деталей, установить конструкторские базы деталей и, таким образом, определить их иерархию.

Граф деталей каждой сборочной единицы строится по той же методике, что и предыдущий граф. На рис. 1 показаны графы детали изделия в направлении осей OX и OY, где все сборочные единицы заменены соответствующими графами их деталей. Построенный граф показывает состав деталей, их относительное расположение и конструкторские базы. Детали, поверхности которых являются базами для других, отмечены двойными линиями.

По построенному графу можно установить характер размерных цепей и их взаимосвязи. Чтобы заменить их размерами между поверхностями, нужно воспользоваться графом поверхностей изделия. Для построения этого графа необходимо представить каждую деталь структурированным множеством поверхностей в виде соответствующего графа.

Граф поверхностей детали строится следующим образом. Сначала на основе анализа сборочного чертежа определяется служебное назначение каждой поверхности детали. Далее определяются поверхности, служащие конструкторскими базами для других поверхностей. На основе этой информации строится граф, где на первом уровне располагается поверхность, выступающая в роли основной базы детали, на втором уровне размещаются поверхности, базой которых является поверхность первого уровня. На третьем уровне размещаются поверхности, базой которых являются поверхности второго уровня и т.д., до последней поверхности. В качестве примера на рис. 2 показаны фрагменты графов поверхностей детали 3 (кронштейн). При этом оси располагаем таким образом, чтобы большинство размеров деталей проецировались на оси координат детали в натуральную величину.

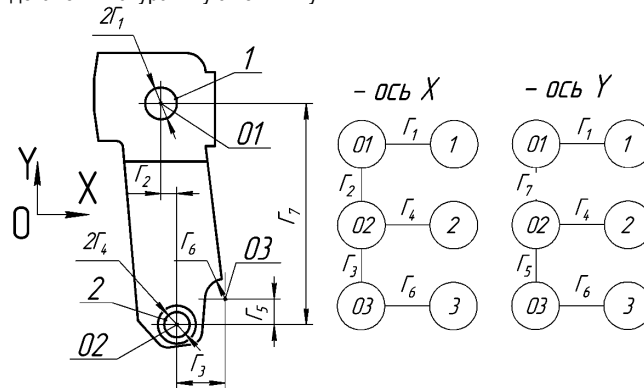


Рис. 2. Эскиз кронштейна и графы размерных связей

На рис. 2 цифры 1, 2, и т.д. соответствуют поверхностям детали, цифры 05, 06 и т.д. соответствуют осям поверхностей детали, буквы Γ_i соответствуют размерам детали. Полученный граф поверхностей детали показывает число поверхностей, входящих в состав детали и их конструкторские размерные связи.

Заменяв в графах деталей изделия на рис. 1 все детали соответствующими графами поверхностей, получим графы поверхностей всего изделия (рис. 3 и 4). Однако в случае, если деталь изменяет своё угловое положение (детали 2 и 3) по отношению к заданному на рабочем чертеже, необходимо учесть изменение величин проекций

размеров на рассматриваемые координатные направления. На рис. 3 и 4 звенья, обозначенные B_i, V_i и т.д., соответствуют размерам деталей; звенья B'_i, V'_i и т.д. соответствуют проекциям размеров на рассматриваемое координатное направление, звенья $S_{i,j}$ соответствуют зазорам между поверхностями деталей; обозначения Д1–Д7 соответствуют номерам деталей на рис. 1.

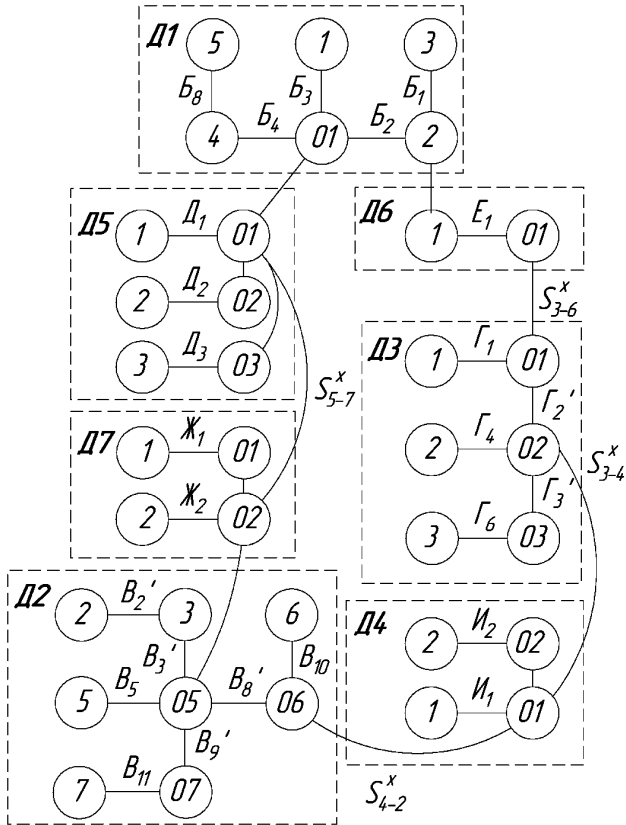


Рис. 3. Граф размерных связей изделия в направлении оси OX

Для обоих вариантов конструкции графы размерных связей получились одинаковыми. Это свидетельствует о том, что изменения простановки размеров, внесённые во второй вариант конструкции, не влияют на состав и связи звеньев рассматриваемых изделий. Используя полученные графы, отражающие конструкторские размерные связи изделия, можно перейти к составлению уравнений размерных цепей.

При переносе размера замыкающего звена на граф размерных связей изделия получается замкнутый контур, который соответствует конструкторской размерной цепи. Полученный замкнутый контур позволяет составить уравнение соответствующей размерной цепи. На его основе и в дополнение к нему составляются уравнения, традиционно используемые при решении размерных цепей: уравнение допусков звеньев; два уравнения предельных значений [1, 5].

Исходя из полученных в графах замкнутых контуров, составим уравнения соответствующих размерных цепей:

$$\begin{cases} \text{ось OX } B_8' = B_2 - E_1 + \Gamma_2' - S_{2,4}^x - S_{3,4}^x + S_{3,6}^x - S_{5,7}^x; & (1) \\ \text{ось OY } B_6' = (\Gamma_6 - \text{Ж}_1) \cos \gamma_3 + \Gamma_5' + S_{2,4}^y + S_{3,4}^y + S_{5,7}^y. & (2) \end{cases}$$

Уравнения (1) и (2) отражают соотношение между номинальными значениями замыкающих и составляющих звеньев.

Вследствие изменения углового положения деталей в открытом состоянии шарнира (рис. 5), необходимо учитывать изменение и величины проекций размеров этих деталей на рассматриваемые координатные направления с учётом допуска угла наклона [4].

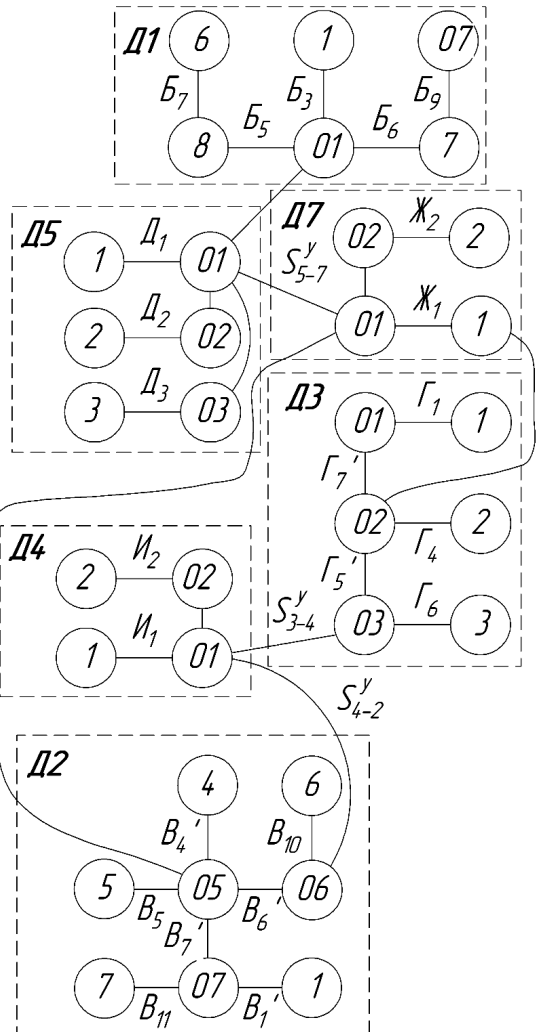


Рис. 4. Граф размерных связей изделия в направлении оси OY

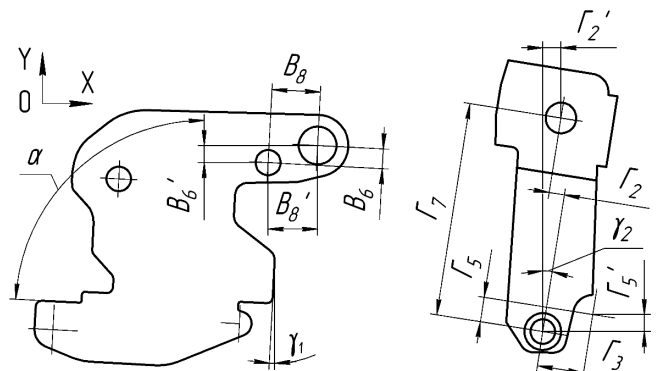


Рис. 5. Схема определения проекций размеров на рассматриваемое координатное направление

Составим зависимости для размеров деталей 2 и 3, изменяющих значение проекции на рассматриваемое координатное направление:

$$B_8' = (B_8 + B_6 \operatorname{tg} \gamma_1) \sin \alpha; \quad (3)$$

$$\Gamma_2' = (\Gamma_7 \operatorname{tg} \gamma_2 - \Gamma_2) \cos \gamma_2; \quad (4)$$

$$B_6' = (B_6 + B_8 \operatorname{tg} \gamma_1) \sin \alpha; \quad (5)$$

$$\Gamma_5' = (\Gamma_5 - \Gamma_3 \operatorname{tg} \gamma_2) \cos \gamma_2. \quad (6)$$

Подставив полученные выражения и зависимости для определения зазоров в уравнения (1) и (2) получим систему уравнений, содержащую все размеры, от которых зависит угол α . Суммировав уравнения данной системы, получим:

$(B_8+B_6 \operatorname{tg} \gamma_1) \sin \alpha + (B_6+B_8 \operatorname{tg} \gamma_1) \sin \alpha = B_2 - E_1 +$
 $+(\Gamma_7 \operatorname{tg} \gamma_2 - \Gamma_2) \cos \gamma_2 - (B_{10} - I_1) \sin \gamma_4 - (\Gamma_4 - I_1) \sin \gamma_5 -$
 $-(\mathcal{J}_2 - D_1) \sin \gamma_6 + (\Gamma_6 - \mathcal{J}_1) \cos \gamma_3 + (\Gamma_5 - \Gamma_3 \operatorname{tg} \gamma_2) \cos \gamma_2 + (7)$
 $+(B_{10} - I_1) \cos \gamma_4 + (\Gamma_4 - I_1) \cos \gamma_5 + (\Gamma_1 - E_1) + (\mathcal{J}_2 - D_1) \cos \gamma_6.$
 где $\gamma_3 \dots \gamma_6$ – углы между осью OY и линиями максимальных зазоров в соединениях.

Выразив из уравнения $\sin \alpha$, получим:

$$\sin \alpha = \frac{B_2 - E_1 + (\Gamma_6 - \mathcal{J}_1) \cos \gamma_3 + 2}{(B_8 + B_6)(1 + \operatorname{tg} \gamma_1)} + \frac{(\Gamma_5 - \Gamma_2 + (\Gamma_7 - \Gamma_3) \operatorname{tg} \gamma_2) \cos \gamma_2}{(B_8 + B_6)(1 + \operatorname{tg} \gamma_1)} + \frac{(B_{10} - I_1)(\cos \gamma_4 - \sin \gamma_4) +}{(B_8 + B_6)(1 + \operatorname{tg} \gamma_1)} + \frac{(\Gamma_1 - E_1) + (\Gamma_4 - I_1)(\cos \gamma_5 - \sin \gamma_5)}{(B_8 + B_6)(1 + \operatorname{tg} \gamma_1)} + \frac{(\mathcal{J}_2 - D_1)(\cos \gamma_6 - \sin \gamma_6)}{(B_8 + B_6)(1 + \operatorname{tg} \gamma_1)}. \quad (8)$$

На основе данного уравнения были составлены уравнения для определения номинального (α_n) и предельных значений (α_{\min} , α_{\max}), а также допуска угла (T_α) методами максимума-минимума и теоретико-вероятностным методом. Рассчитанные параметры замыкающего звена для обоих вариантов конструкции и двух методов расчёта приведены в таблице 1. Для вероятностного метода расчёта был принят нормальный закон распределения размеров составляющих звеньев с допустимой вероятностью брака $p=0,27\%$.

Таблица 1. Параметры точности замыкающего звена

Вариант конструкции	Угол открывания, град							
	метод максимума-минимума				вероятностный метод			
	α_n	α_{\min}	α_{\max}	T_α	α_{cp}	α_{\min}	α_{\max}	T_α
1	65,09	90,33	57,96	32,37	67,71	69,32	66,11	3,21
2	65,09	85,81	58,97	26,84	67,80	69,07	66,52	2,55

Как видно из таблицы, точность замыкающего звена, (его номинальное и предельные значения), не обеспечивается в обоих вариантах конструкции при расчёте методом максимума-минимума. При расчёте методом неполной взаимозаменяемости номинальное значение угла по обоим вариантам не соответствует заданному, а допуск угла открывания получается меньше заданного.

Для обеспечения точности замыкающего звена изменяют либо конструкцию изделия (уменьшая число составляющих деталей), либо изменяют номинальные значения размеров и уменьшают допуски составляющих звеньев. Уменьшение числа составляющих деталей приводит к снижению функциональности: обеспечению трёх фиксированных углов открывания.

Как видно из уравнения (8), для попадания угла α в необходимые пределы можно изменить номинальных значения размеров (для метода максимума-минимума) или размеров, соответствующих координатам середин полей допусков этих размеров составляющих звеньев (для вероятностного метода).

GRIGORYEV V.F., DAKALO Y.A. The analysis of linearly-angular dimensional circuits with graph method usage

In article the application of graph method to the dimensional analysis of constructions of linearly-angular dimensional circuits products, its advantages are considered. The basic foundations of the dimensional assaying of articles by graph method technique and an order of construction of counts of dimensional connections are given.

Outcomes of the dimensional assaying of assembly unit "the Joint of a door of an oven are given. The possibility of elimination of a probable discard of flawed item by a modification of rating value of one linear link is displayed.

Чтобы определить, размеры каких звеньев целесообразно изменить, найдем передаточные отношения звеньев:

$$\xi_{B_2} = 1; \xi_{\Gamma_2} = -\cos \gamma_2 = -0,9877; \xi_{\Gamma_3} = -\operatorname{tg} \gamma_2 \cdot \cos \gamma_2 = -0,1564; \xi_{\Gamma_5} = \cos \gamma_2 = 0,9877; \xi_{\Gamma_7} = \operatorname{tg} \gamma_2 \cdot \cos \gamma_2 = 0,1564; \xi_{B_6} = -1.$$

Очевидно, наибольшее влияние на замыкающее звено имеют размер корпуса B_2 , размеры кронштейна Γ_5 и Γ_2 . Кроме того, значительное влияние на замыкающее звено имеют размеры тяги B_8 и B_6 . Исходя из технологичности изготовления было предложено изменить размер корпуса $B_2=7,3 \pm 0,15$ в обоих вариантах на $B_2'=8,15 \pm 0,15$ мм.

В результате расчётов теоретико-вероятностным методом с изменённым значением размера B_2 были получены следующие результаты:

- для варианта 1 конструкции: $\alpha_{cp}=86,6^\circ$; $\alpha_{\min}=85,0^\circ$; $\alpha_{\max}=88,2^\circ$.
- для варианта 2 конструкции: $\alpha_{cp}=87,0^\circ$; $\alpha_{\min}=85,7^\circ$; $\alpha_{\max}=88,3^\circ$.

Как видим, значение угла открывания α попадает в необходимые пределы для обоих вариантов конструкции. Среднее значение угла открывания α_{cp} соответствует номинальному для второго варианта конструкции и незначительно меньше для первого варианта.

Закключение. 1. Представление изделия ориентированным множеством поверхностей позволяет абстрагироваться от его конкретного служебного назначения, конструктивного оформления и перейти к описанию содержания через состав поверхностей и внутренние связи между ними. Размерный анализ методом графов снижает затраты времени и трудоёмкость процесса выявления конструкторских размерных цепей, а также позволяет представить все размерные связи изделия в упорядоченной, наглядной и компактной форме - в виде графа.

2. При решении линейно-угловых размерных цепей в случае, если большинство размеров деталей задано в линейном виде, размерный анализ целесообразнее производить в двух координатных направлениях.

3. С применением метода графов произведён анализ и решена задача конструктивного обеспечения точности реального производственного объекта "Шарнир дверцы духовки".

4. Применение разработанной методики размерного анализа конструкций изделий с линейно-угловыми размерными цепями позволяет обоснованно назначать допуски составляющих звеньев, а также выполнять проверочные точностные расчёты.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Размерный анализ конструкций: справочник / С.Г. Бондаренко, О.Н. Чередников, В.П. Губий, Т.М. Игнатцев; под общ. ред. канд. техн. наук С.Г. Бондаренко. – К.: Техника, 1989. – 150 с.
2. Дунаев, П.Ф. Размерные цепи / П.Ф. Дунаев. – М.: Машгиз, 1963. – 308 с.
3. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б.М. Базров – М: Машиностроение, 2005. – 736 с.
4. Размерный анализ конструкций изделий с линейно-угловыми размерами / Ю.А. Дакало // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов. – Брест: БрГТУ, 2009 – С. 159–162.
5. Дунаев, П.Ф. Расчёт допусков размеров / П.Ф. Дунаев, О.П. Лёликов 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – 400 с.

Материал поступил в редакцию 01.10.09