

---

## ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ СБОРОЧНОЙ РАЗМЕРНОЙ ЦЕПИ

Г.А. Расторгуев

Кафедра технологии машиностроения,  
металлорежущие станки и инструменты  
Российский университет дружбы народов  
Ул. Миклухо-Маклая, 10а, Москва, Россия, 117198

В статье рассмотрена методика проверочного расчета составляющих звеньев сборочной размерной цепи на стадии изготовления машин и механизмов.

**Ключевые слова:** сборка, размерная цепь, механизм, проектирование, изготовление.

В современных рыночных условиях конкурентоспособность выпускаемой продукции, в том числе и машиностроительной, имеет решающее значение при ее реализации потребителям. Одним из основных направлений повышения конкурентоспособности продукции машиностроения является обеспечение стабильности ее качества на всех этапах производственного цикла. Некачественная продукция из-за повреждений отдельных элементов в процессе эксплуатации может привести к значительным материальным убыткам. Из-за жесткой конкурентной борьбы на внутреннем и международном рынках компании-производители вынуждены уделять проблеме качества продукции повышенное внимание.

В последние годы качество проектирования продукции машиностроения производится по методике DFMA (Design for manufacture and Assembly) [1], которая базируется на трех принципах. Оценивается технологичность продукции с помощью трех модулей:

- 1) с точки зрения сборочного процесса — *DFA*;
- 2) с точки зрения механической обработки — *DFM*;
- 3) с точки зрения конкурентоспособности — *DFC* (Design for competitiveness).

Для оценки эффективности процесса сборки и степени сложности конструкции используется модуль *DFA*:

$$DFA = \left( \frac{K \cdot NM}{TM} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий расчетное время сборки одного соединения в сравнении с базовым;  $NM$  — теоретически минимальное число деталей, обеспечивающих нормальное функционирование собранного изделия;  $TM$  — суммарное прогнозируемое время сборки.

Этот показатель представляет собой количественную оценку конструкции изделия с точки зрения эффективности сборочного процесса. Уменьшение этого показателя для конкретного изделия возможно только в результате ликвидации излишних деталей или сборочных технологических переходов, пригонки регулировки и т.п.

В настоящее время эта методика дополнена модулями разборки и демонтажа на стадии эксплуатации изделия [2]. Однако модуль разборки важен также и при изготовлении изделия, когда в конструкции используют сборочные единицы (комплекты), требующие разборки перед общей сборкой (например, шатун в сборе с крышкой, разъемные опоры коленчатого вала). Удобство разборки необходимо учитывать при ремонтных воздействиях.

Взаимное расположение деталей, сборочных единиц или сборочных узлов в машине определяется линейными и угловыми размерами, образующими замкнутые размерные цепи. В процессе сборки должно быть обеспечено такое взаимное положение деталей и сборочных единиц, чтобы их исполнительные (функциональные) поверхности или сочетания этих поверхностей в своем относительном перемещении, а также в статическом состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации машины.

Одним из методов определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является расчет и анализ размерных цепей [1]. Размерным анализом называют совокупность математических методов и приемов (аналитических, графических, графо-аналитических), направленных на установление номинальных значений допусков и отклонений сборочных и составляющих размеров.

В практике сборочного производства нередки случаи, когда заданные в сборочных чертежах технические требования (например, необходимый зазор между тормозным диском и ступицей в муфте — тормозе кривошипного пресса) не обеспечиваются, т.е. возникает несобираемость сборочного узла. Здесь возможны два варианта: либо детали по сопрягаемым поверхностям изготовлены с недопустимыми отклонениями, либо сборочная размерная цепь рассчитана некорректно. Если комплексная проверка качества изготовления деталей по сопрягаемым поверхностям показала, что они соответствуют требованиям рабочих чертежей, то возникает сомнение в правильности расчета сборочной размерной цепи, выполненной на стадии проектирования [2; 3].

Рассмотрим проверочный метод расчета сборочной размерной цепи, позволяющий установить истинную причину несобираемости сборочной единицы.

**Основные методические положения.** Для выполнения проверочного расчета необходимо, чтобы числовые значения размеров (составляющих) деталей  $A_i$ , их допуски  $TA_i$  и отклонения  $ESA$  и  $EJA$  были известны и проставлены на рабочих чертежах деталей и сборочных чертежах узлов (или сборочных единиц).

Проверочные расчеты обычно выполняют в такой последовательности:

1) по сборочным чертежам узла или машины в целом выявляют детали и их размеры, которые определяют искомый сборочный размер  $X_I$ , т.е. устанавливают конструкторскую взаимосвязь между деталями, образующими сопряжение для конкретного сборочного размера;

2) для построенной размерной цепи записывают уравнение в общем виде. После анализа функциональной зависимости сборочного и чертежных (составля-

ющих) размеров деталей буквенные обозначения членов уравнения заменяют известными числовыми значениями и вычисляют номинальное значение, максимум и минимум искомой величины сборочного размера;

3) полученные результаты вычислений оценивают с точки зрения удовлетворения требованиям нормального функционирования сборочного узла, его работы, собираемости и экономичности сборочного производства;

4) в соответствии с последовательностью проведения проверочного размерного анализа при любых принятых математических методах решения задачи расчет должен содержать приведенные ниже элементы.

**Эскиз сопряжения.** При составлении эскиза для расчета изображают только ту часть механизма изделия, сборочный размер которого вычисляют.

Эскиз должен показывать взаимосвязь поверхностей деталей, образующих сопряжение, и их взаимодействие в процессе функционирования. Масштаб эскиза может быть произвольным. Для наиболее полного изображения связей деталей сопряжения эскиз (или его отдельные части) можно выполнять схематически или упрощенно в большом масштабе.

Если необходимо показать связь деталей в различных положениях, обычно составляют дополнительные эскизы или возможные положения деталей условно наносят на одном и том же эскизе пунктиром. Все детали на эскизе обозначают номерами на выносных линиях. Как правило, составление эскиза предшествует расчету.

Размеры деталей на эскизе обозначают не цифрами, а буквами. Буквенные обозначения упрощают аналитические зависимости и уравнения, облегчая тем самым проведение математических преобразований, анализ, увязку повторяющихся размеров и т.д.

**Условия расчета.** Если сопрягаемые детали рассматриваемого механизма могут занимать различные промежуточные положения, т.е. в процессе работы перемещаться в крайние положения к поверхностям своих посадочных гнезд, в расчете необходимо четко оговаривать, для какого положения деталей выполнен расчет (обычно рассматривают крайние положения деталей). Здесь же указывают все принятые в расчете упрощения или допущения, а также величину погрешности, вызываемой допущением.

В условиях расчета указывают все учтенные факторы, вызываемые технологическими вариантами изготовления детали или сборки узла (изделия), а также методы и средства контроля размеров.

**Расчет.** В него входит составление размерной цепи и ее уравнения; решение полученного уравнения для номинального, максимального и минимального значений искомой величины.

В зависимости от характера размерной цепи (линейная, плоская или пространственная) методы и приемы решения уравнений размерных цепей искомой величины различны. На практике выработаны приемы решения уравнений искомых величин для линейных и плоских размерных цепей.

**Пример.** Вычислить предельные значения зазора между шайбой 11-401 (рис. 1) и кольцом 11-403. Согласно техническим требованиям зазор не должен превышать 0,5 мм. По сборочному чертежу соединения составим исходные данные для расчета (табл. 1) и сформулируем условия расчета:

- 1) шайба 11-401 отжата вправо в буртик оси 11-402;
- 2) шарикоподшипник 80202 и кольцо 11-403 отжаты влево в торец буртика оси 11-402.

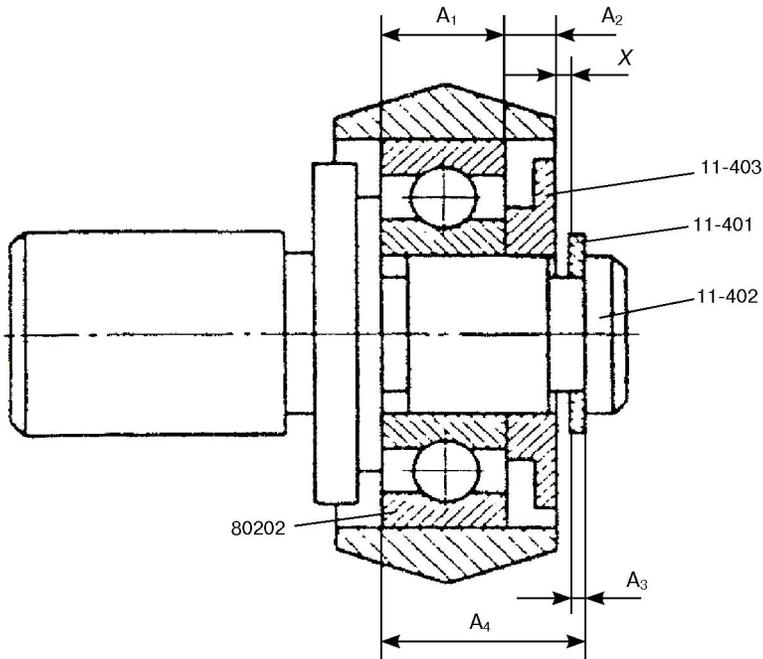


Рис. 1. Эскиз сборочной единицы

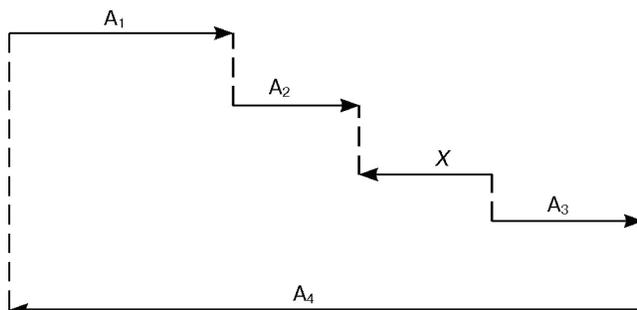
Таблица 1

**Исходные данные для расчета**

Индекс детали по сборочному чертежу*	Наименование детали	Размеры:		
		условное обозначение	номинал и качество точности	отклонение от номинала, мм
11-401	Шайба	$A_3$	1h11	-0,06
11-402	Ось	$A_4$	16H11	+0,12
11-403	Кольцо	$A_2$	4h12	-0,16
80202 ГОСТ 7242—82	Шарикоподшипник	$A_1$	11	-0,10

\* См. рис. 1.

**Задача расчета:** необходимо определить предельные значения зазора  $X$  между шайбой (11-401) и кольцом (11-403). Составим размерную цепь (рис. 2). Расчет можно выполнить методом предельных размеров и методом предельных отклонений.



**Рис. 2.** Сборочная размерная цепь.

Таблица 2

**Размеры и допускаемые отклонения составляющих звеньев**

Обозначение составляющего звена	Номинальный размер, мм	Верхнее отклонение, мм	Нижнее отклонение, мм
1	2	3	4
$+A_4$	+16	+0,12	0
$-A_1$	-11	+0,10	0
$-A_2$	4	+0,16	0
$-A_3$	-1	+0,06	0
$X$	0	+0,44	0

*Расчет методом предельных размеров.* Составим уравнение размерной цепи. Для расчета номинального значения, максимума и минимума зазора  $X$  необходимо в уравнении размерной сборочной цепи буквенные значения заменить на числовые, т.е.

$$X_{\max} = A_{4\text{ном}} - A_{1\text{ном}} - A_{2\text{ном}} - A_{3\text{ном}} = 16 - 11 - 4 - 1 = 0. \quad (2)$$

Для вычисления максимального и минимального значения зазора  $X$  необходимо определить, какое влияние оказывают предельные значения составляющих звеньев на искомую величину. Увеличивающее звено  $A_4$  рассматриваемой сборочной цепи является положительным, а все уменьшающие  $A_1, A_2, A_3$  звенья отрицательными. На основании этого будем иметь следующие формулы для вычисления  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$ :

$$X_{\max} = A_{4\max} - A_{1\min} - A_{2\min} - A_{3\min} \quad (3)$$

$$X_{\max} = 16,12 - 10,9 - 3,84 - 0,94 = 0,44 \text{ мм},$$

$$X_{\min} = A_{4\min} - A_{1\max} - A_{2\max} - A_{3\max} \quad (4)$$

$$X_{\min} = 16 - 11 - 4 - 1 = 0 \text{ мм}.$$

Следовательно, размер зазора между шайбой 11-401 и кольцом 11-403 будет равен  $X = 0^{+0,44}$ .

Изложенная методика носит название «Проверочный расчет сборочных размерных цепей по методу предельных размеров». На практике применяют упрощенный вариант расчета *по предельным отклонениям*. Сущность упрощенного варианта заключается в вычислении номинального размера верхнего ( $ESX$ ) и нижнего ( $EJX$ ) отклонений искомой величины по предельным отклонениям составляющих размеров сборочной цепи. Условные обозначения размеров и их номи-

нальные значения записывают в табл. 2 с тем же знаком, с каким они входят в сборочную размерную цепь (рис. 2).

При записи числовых значений отклонений соблюдаются следующие правила:

— если составляющее звено размерной цепи увеличивающее, то отклонение звена (размера) записывают соответственно: верхнее — в 3-ю графу, нижнее в 4-ю графу табл. 2 со своими знаками;

— если составляющее звено размерной цепи уменьшающее, то его отклонения записывают соответственно: верхнее отклонение — в 4-ю графу, а нижнее — в 3-ю графу табл. 2 с обратными знаками.

В результате суммирования числовых значений получают номинальное значение искомой величины и ее предельные отклонения.

**Вывод:** проверочный метод расчета сборочных размерных цепей позволяет с дополнительной точностью установить причину несобираемости сборочного узла и дать конкретные предложения по корректировке конструкторской документации. В случае невозможности или нерентабельности получения необходимой точности при механической обработке решается вопрос о введении регулируемых компенсаторов или селективной сварки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Холодкова А.Г.* Методика оценки технологичности конструкции изделия для условий автоматической сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2008. — № 11. — С. 3—9.
- [2] *Амиров Ю.Д.* Технологичность конструкции и качество сборки изделия // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2003. — № 6. — С. 3—9.
- [3] *Силич А.А., Расторгуев Г.А., Схиртладзе А.Г., Некрасов Ю.И.* Технологические процессы в машиностроении. — Тюмень: ТюмГНТУ, 2008.

UDC 621.9.02/06

### THE ASSEMBLING SIZE CHAIN OPTIMIZATION ON THE DESIGNING STAGE

**G.A. Rastorguev**

Department of mechanical engineering,  
machine tools and tooling  
Russian Peoples' Friendship University  
*Miklucho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

Calculation procedure of assembling size chains on the designing stage is considered. Variants of optimization of the concluding link limit deviation using principle of equal accuracy are suggested.

**Key words:** assembly, a dimensional circuit, the mechanism, designing, manufacturing.