О значении вопросов качества при проектировании технических изделий

С.А. Зайцев

к.т.н., профессор МАМИ; Москва

В.В. Мартишкин

к.т.н., доцент МАМИ; Москва

Т.С. Сухова

к.т.н., доцент МАМИ; Москва

ВВЕДЕНИЕ

На стадии проектирования (РП) решаются принципиальные вопросы конструкции и технологии производства изделий. Выявленные недостатки проектной документации являются браком разработки. Его необходимо устранить, т.е. найти инженерно-технические решения, улучшающие конструкцию деталей и сборочных единиц.

Недостатки РП в части функциональности и структуры изделия выявляются с помощью количественных оценок. Количественную оценку качества технических изделий (ТИ) на стадии РП осуществляют при помощи коэффициентов, описывающих соответствующие конструктивные и технологические параметры. Полученные количественные показатели качества сравнивают с качеством базовых изделий, и в зависимости от разницы в показателях качества вырабатывают управленческие решения по улучшению конструкции разработанного изделия.

ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Качество спроектированного изделия можно оценить только в сравнении с базовым (наилучшим) техническим изделием такого же типа. Как было показано выше, улучшение качества оцениваемого изделия осуществляют с помощью управляющих инженерно-технических решений, разработанных на основе знаний и опыта конструкторов и технологов, а также с использованием каталогов и альбомов, посвященных проектированию и конструированию [1–3].

Ниже представлен порядок расчета качества (конструктивности и функциональности) технических изделий на стадии проектирования (РП).

1. Выбор определяющей сборочной единицы и выявление в этой сборочной единице определяющей детали.

Строят структурную схему для уяснения конструкции изделия и связей между деталями и сборочными единицами. Определяющую деталь назначают в соответствии со свойствами определяющей детали, представленными в *табл. 1*.

Таблица 1.

Признаки определяющей детали в составе сборочной единицы

1	Деталь должна быть наиболее ответственной в данной сборочной единице, должна обладать наибольшей весомостью (β_i) и удовлетворять принципу Парето [4]. В соответствии с принципом Парето (в переложении к машиностроению: 80% эффективности изделия обеспечивают 20% наиболее ответственных деталей), определяющая деталь должна обеспечивать не менее 70…80% функциональности и надежности сборочной единицы.
2	Определяющая деталь должна обладать самой высокой надежностью относительно других деталей, входящих в данную сборочную единицу. В последовательных схемах расчета надежности сборочных единиц определяющая деталь должна быть первой, т.е. самой надежной.
3	Определяющая деталь должна быть оригинальной (т.е. не стандартизированной или унифицированной) и должна отвечать за функциональность сборочной единицы не менее чем на 70…80%. Конструкция определяющей детали должна иметь резерв в части ее изменения и улучшения.
4	Если целевой функцией сборочной единицы является обеспечение точности работы изделия в целом, то определяющая деталь должна отличаться наивысшей точностью среди остальных деталей сборочной единицы, т.е. характеризоваться самыми высокими значениями коэффициентов точности и шероховатости.
5	Для обеспечения функциональности сборочной единицы определяющая деталь может быть связана с другими деталями сборочной единицы следующими видами соединений: – резьбовое; – клепочное; – с использованием посадок различных типов.

2. Назначение коэффициентов весомости β_i для деталей в составе сборочной единицы.

Сумма коэффициентов весомостей в каждой сборочной единице должна быть равна 1,0:

$$\Sigma\beta_i = 1{,}0.$$

В *табл. 2* описана значимость деталей в обеспечении функциональности сборочных единиц.

academquality.ru, ql–journal.ru

Таблица 2.

Значимость деталей в обеспечении функциональности сборочных единицы

№	Описание детали и ее ответственности для функционирования сборочной единицы или изделия	Интервалы весомостей β_i
1	Определяющая деталь: самая ответственная деталь (поршни, шатуны, цилиндры, нагруженные рычаги сложной формы, зубчатые колеса, шкивы, звездочки, коленчатые и кулачковые валы)	0,70…0,80
2	Нагруженные детали (подшипники скольжения, направляющие для поступательного движения, соединительные, направляющие, обеспечивающие перемещение других деталей в заданном направлении)	0,30…0,01
3	Сложная деталь (станины, кронштейны, крышки, коробки скоростей и коробки передач, фартуки, поворотные круги, оправки, балансировочные оправки и т.п.)	0,25…0,01
4	Деталь обычная (простые валы и оси, гладкие и ступенчатые; крышки подшипников, детали из листового проката, кронштейны, пружины, мембраны, сильфоны и др.)	0,20…0,01
5	Детали малоответственные (крепежные болты и гайки, шайбы, шпонки, крышки, кольца, тяги, рукоятки, хомуты, и пр. вспомогательные, облегчающие эксплуатацию готового изделия)	0,15…0,01
6	Детали из неметаллических материалов (резинотехнические изделия – манжеты, прокладки, уплотнители и пр.)	0,10…0,01

3. Определение качества определяющей детали

На основании конструктивных и технологических параметров определяющей детали рассчитывают коэффициенты конструктивной $q_{к.с}$ и технологической сложности $q_{т.с}$:

$$q_{к.с} = \frac{q_{сл.} + q_{рх.} + q_{рм.} + q_{рр.} + q_{мат.}}{5};$$

$$q_{т.с} = \frac{q_{т.} + q_{ш.} + q_{заг.} + q_{доп.} + q_{пов.}}{5}.$$

В *табл. 3* описаны некоторые коэффициенты конструктивной и технологической сложности, так как этих коэффициентов в машиностроении значительно больше. Коэффициенты $q_{т.}$ и $q_{ш.}$ рассчитывают по данным чертежа детали, остальные коэффициенты табличные и описаны в работе [5].

Рассчитывают обобщенный показатель качества определяющей детали $q_{опр.}$ по формуле:

$$q_{опр.} = \beta_{кс} \cdot q_{кс} + \beta_{тс} \cdot q_{тс},$$

где $\beta_{кс} = 0{,}6$ и $\beta_{тс} = 0{,}4$ – весомости коэффициентов конструктивной и технологической сложности, соответственно.

Таблица 3.

Некоторые коэффициенты конструктивной и технологической сложности деталей

№	Перечень коэфициентов конструктивной сложности	№	Перечень коэффициентов технологической сложности
1	$q_{сл.}$ – конструктивной сложности	1	$q_{т.}$ – коэффициент точности
2	$q_{р.х.}$ – коэффициент размерной характеристики детали	2	$q_{ш.}$ – коэффициент шероховатости
3	$q_{р.м.}$ – коэффициент числа размеров, выполненных механической обработкой	3	$q_{заг.}$ – коэффициент типа заготовки
4	$q_{р.р.}$ – коэффициент числа размеров, обозначающих резьбу	4	$q_{доп.}$ – коэффициент вида дополнительной обработки
5	$q_{мат.}$ – коэффициент группы материалов	5	$q_{пов.}$ – коэффициент отклонения формы и расположения поверхностей

4. Расчет показателей качества остальных деталей сборочной единицы

Расчет производят, исходя из принципа пропорциональности качества деталей q_i их весомостям β_i в сборочной единице в соответствии с т.н. треугольником качества, представленном на *рис. 1*. Описанный принцип пропорциональности лежит в основе принципа Парето, благодаря чему возможно построить треугольник качества сборочной единицы.

«Треугольник качества сборочной единицы» – это геометрическая модель, отражающая взаимосвязи качества и весомости деталей в сборочной единице. Один показатель (катет – высота треугольника) представляет собой шкалу весомостей β (β = 0…1,0), другой катет представляет собой шкалу показателей качества Q (Q = 0…0,9). Точка *K* – точка определения положения гипотенузы треугольника качества, полученная по известной весомости определяющей детали ($\beta_{опр.}$ = 0,8)

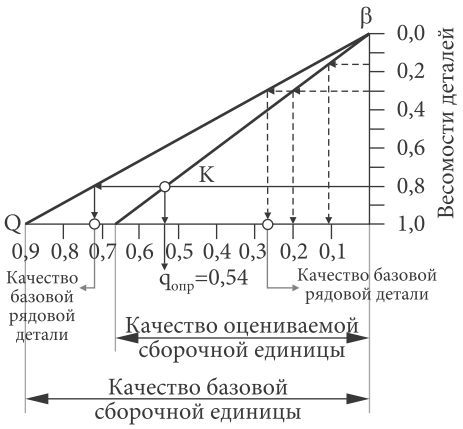

Рис. 1. **Треугольник качества сборочной единицы**

и предварительно определенному показателю качества (например $q_{опр}$ = 0,54). Качества остальных деталей сборочной единицы располагаются на шкале качества в соответствии со шкалой весомостей в интервале 0…0,8. В соответствии с этим треугольником, показатели качества деталей в составе сборочной единицы зависят от весомости этих деталей:

$$\frac{q_{опр.}}{\beta_{опр.}} = \frac{q_1}{\beta_1} = \frac{q_2}{\beta_2} = \ldots \frac{q_n}{\beta_n},$$

откуда $q_1 = \frac{q_{опр.} \cdot \beta_1}{\beta_{опр.}}$, $q_2 = \frac{q_{опр.} \cdot \beta_2}{\beta_{опр.}}$ и так далее.

5. Расчет качества сборочной единицы

Расчет проводят путем сложения показателей качества деталей, входящих в сборочную единицу, с учетом их весомостей:

$$Q_{сб.} = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \cdot q_i,$$

где: n – количество деталей, входящих в сборочную единицу, q_i – качество детали, определенное по треугольнику качества, β_i – нормированный коэффициент весомости i-й детали в составе сборочной единицы.

Качество всего изделия:

$$Q_{изд.} = \sum_{i=1}^{m} Q_{i.сб.} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \beta_i \cdot q_i,$$

где m – количество сборочных единиц, n – количество деталей в сборочных единицах.

6. Определение базовых изделий

Базовые изделия определяют с учетом «Общих методических рекомендаций по оценке технического уровня промышленной продукции» (издание Госстандарта СССР от 24.11.89 г. № 665). Конкретные значения показателей качества базовых изделий мы установили, исходя из накопленного опыта работы зарубежной и отечественной машиностроительной отрасли. Типы базовых изделий представлены в *табл. 4*.

Таблица 4.

Типы базовых изделий на основе определений «Общих методических рекомендаций по оценке технического уровня промышленной продукции» [6]

1. *Базовое ТИ идеального качества* – это виртуальное ТИ (не существующее в реальности), характеризуется максимальным качеством, $Q_{б.1}$=1,0
2. *Перспективное базовое ТИ* – модель ТИ, отражающая перспективные требования, установленные (или заданные) на определенный будущий период времени. Качество такого ТИ возможно получить при достижении соответствующего уровня науки и техники, $Q_{б.2}$ = 0,97
3. *Базовое ТИ мирового уровня качества* – изделия, реально существующие за рубежом, $Q_{б.3}$ = 0,95
4. *Реалистичное базовое ТИ* – существующие ТИ, воплотившие в себе современные научно-технические достижения как в РФ, так и за рубежом. Эти ТИ должны отвечать имеющимся потребностям и возможностям производства в РФ, $Q_{б.4}$ = 0,9

7. Формирование конструкторско-технологических решений по повышению качества оцениваемых изделий.

Сравнивают показатели качества оцениваемых и базовых изделий. По величине разницы в показателях качества формируют конструкторско-технологические решения по повышению качества оцениваемых изделий в соответствии с рекомендациями, указанными в *табл. 5*.

Таблица 5.

Возможные конструкторско-технологические решения по повышению качества оцениваемых изделий

a)	если качество оцениваемого изделия составляет 60…75% от качества базового, то это означает, что функциональность оцениваемого изделия соответствует базовому, но требуется пересмотр конструкции некоторых сборочных единиц на основе последних достижений в данной области техники;
b)	если качество оцениваемого изделия составляет 76…85% от качества базового, то требуется корректировка технологических процессов изготовления сборочных единиц с учетом последних достижений в технологии обработки изделий;
c)	если качество оцениваемого изделия составляет 86…95% от качества базового, то требуется изменение параметров как конструктивных, так и технологических малоответственных сборочных единиц;
d)	если качество оцениваемого изделия составляет 96…100% от качества базового, то не требуется корректировка, т.к. считается, что оцениваемое изделие приблизительно соответствует по качеству базовому. Разница в показателях качества 5% (±2,5%) представляет собой методическую ошибку, отражающую степень доверия α = 1−0,95 = 0,05 (5%) к разработанному методу «определяющей» детали.

На *рис. 2* представлен геометрический образ технического изделия, состоящего из n сборочных единиц. Обозначения:

β_0 – β_1 – шкала весомостей,

$Q_{изд}$ – качество сборочных единиц,

q_i q_2 …..q_n – качества деталей, входящих в сборочные единицы.

Геометрический образ изделия представляет собой простейший симплекс – прямоугольный тетраэдр (4 вершины, 6 ребер, 4 грани). С помощью этого симплекса из множества вновь разработанных деталей, находящихся внутри него, всегда можно выделить любую деталь из сборочной единицы, определить ее качество относительно базовой детали и в соответствии с этим найти необходимые решения, способствующие улучшению ее качества.

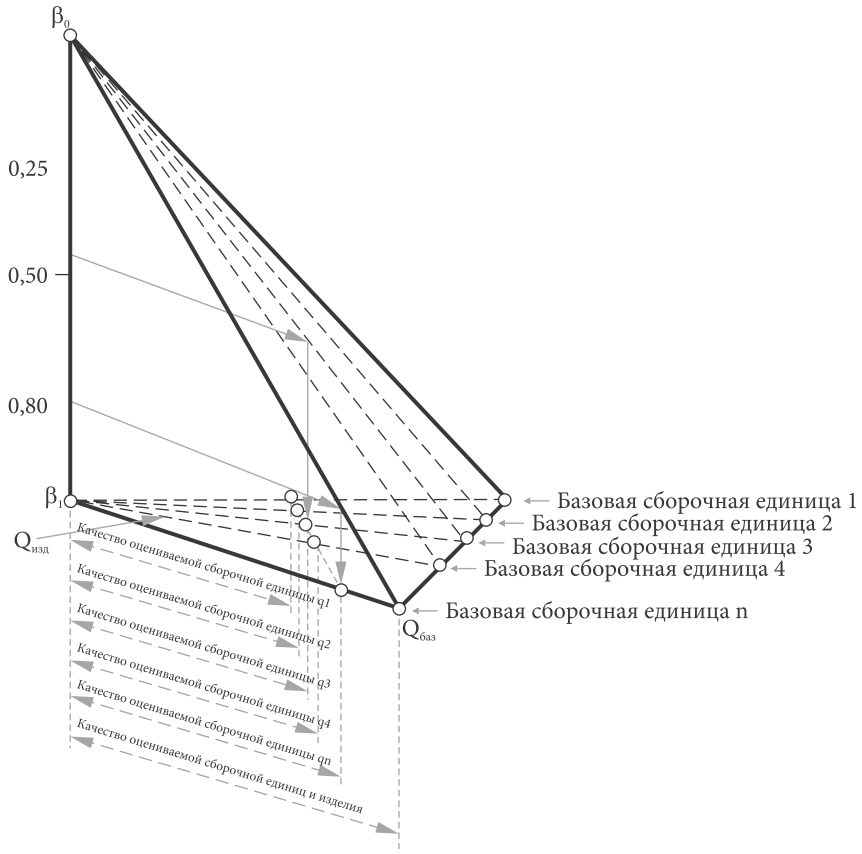

Рис. 2. **Геометрический образ изделия, состоящего из нескольких сборочных единиц**

8. Определение управляющих инженерно-технических решений для повышения качества деталей и сборочных единиц.

Проводят декомпозицию (разложение на детали) базового изделия. Сравнивают показатели качества оцениваемых и базовых деталей и по величине разницы в показателях качества формируют конструкторско-технологические решения по повышению качества деталей и изделий в соответствии с рекомендациями, указанными в *табл. 6*.

Таблица 6.

Управляющие решения для повышения качества деталей в составе сборочных единиц

а) если разница в параметрах оцениваемой и базовой деталей составляет до 10% включительно от качества базовой, то не требуется корректировок конструктивных и технологических коэффициентов, т.к. считается, что оцениваемая деталь в этом случае соответствует по качеству базовой. Разница в 10% (±5%) в величинах коэффициентов представляет собой методическую ошибку, включающую: – неполное знание требований ЕСКД – ±2%, – неполное знание требований ЕСТД – ±2% – экспертов при назначении коэффициентов для конкретных параметров – ±1%
б) если разница в величинах коэффициентов базовой и оцениваемой деталей составляет до 50% от качества базовой, то выносится решение об улучшении соответствующих параметров, т.е. конструктивных и технологических коэффициентов
в) если разница в величинах коэффициентов базовой и оцениваемой деталей выше 50%, то это говорит о том, что коэффициенты конструктивной и технологической сложности определены неправильно, т.е. их необходимо пересмотреть (заменить материал детали, повысить точность обработки, уменьшить шероховатость и пр.)

ВЫВОДЫ

1. Разработан порядок расчета качества деталей и сборочных единиц на стадии проектирования на основе принципа «определяющей детали».
2. Предложены принципиальные инженерно-технические решения, зависящие от разницы в показателях качества оцениваемого и базового изделий, которые могут способствовать повышению качества оцениваемого изделия.
3. Метод «определяющей детали» может использоваться для прогнозирования технического уровня технических изделий на ближайшую перспективу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И.И. Механизмы в современной технике. В 7 т., изд. 2 е / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1980.
2. Крайнев, А.Ф. Идеология конструирования / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 2003.
3. Орлов, П.И. Основы конструирования: спр.-метод. пособие в 2-х кн. / П.И. Орлов. – М.: Машиностроение, 1988.
4. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учеб. пособие / М.М. Кане [и др.]. – СПб. : Питер, 2008г. – 560 с.
5. Мартишкин, В.В. Управление качеством технических изделий на стадии разработки рабочей документации / В.В. Мартишкин // Известия МГТУ МАМИ. – М.: МГТУ МАМИ, 2013. – №2(16). – С. 348-354.
6. Общие методические рекомендации по оценке технического уровня промышленной продукции / ГКНТ СССР от 24.10.89 № 665.

academquality.ru, ql–journal.ru