

чества поверхности деталей машин. М.: Машиностроение, 2003. – 256 с. 6. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей машин/ М.Л. Хейфец, В.С. Точило, В.И. Семенов и др. Новополоцк: ПГУ, 2001. – 112 с. 7. Исикава К. Японские методы управления качеством. М.: Экономика, 1988. – 224 с. 8. Миттаг Х - Й, Ринке Х. Статистические методы обеспечения качества. М.: Машиностроение, 1995. – 616 с. 10. Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Филонов И.П. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Мн.: Технопринт, 2000. – 268 с. 11. Обработка износоустойчивых покрытий/ Л.М. Кожуро, Ж.А. Мрочек, М.Л. Хейфец и др. Мн.: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.

УДК 551.13.15.21.19

Соломахо В.Л., Соколовский С.С., Спесивцев Ю.Б.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ НОРМ ТОЧНОСТИ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Предлагается подход к разработке методического и информационного обеспечения автоматизированного проектирования норм точности геометрических параметров изделий машиностроения, обеспечивающих требуемые эксплуатационные показатели при минимальной технологической себестоимости.

Назначение норм точности параметров является одним из важнейших этапов проектирования изделий, поскольку на этом этапе большей частью закладывается качество будущего изделия, включая затраты на его изготовление.

Известно, что между допусками функциональных параметров и стоимостью изделия существуют объективные взаимосвязи, выражающиеся в том, что ужесточение допусков с одной стороны позволяет повысить эксплуатационные показатели изделий, а с другой, как правило, приводит к их удорожанию и наоборот. Отсюда очевидной является необходимость оптимизации норм точности параметров по стоимостному критерию. Осуществление такой оптимизации представляется возможным на основе составления и расчета соответствующих размерных цепей. Критерием оптимизации при такой постановке задачи должно стать обеспечение требуемой точности замыкающих звеньев конструкторских размерных цепей при минимальной технологической себестоимости всего комплекта деталей, элементы которых определяют составляющие звенья таких цепей.

Все существующие в настоящее время способы расчета размерных цепей (равных допусков, одинаковых качеств и др.) с использованием детерминированного и стохастического подходов (расчет на максимум-минимум и вероятностный расчет) ориентированы, в основном, на обеспечение точностной эквивалентности составляющих звеньев [1]. При этом за основу принимается посылка, что составляющие звенья, эквивалентные с точки зрения их точности, характеризуются и приблизительно одинаковой технологической себестоимостью. Однако это далеко не так, поскольку технологическая себестоимость отдельных звеньев размерных цепей определяется не только точностью соответствующих элементов, но и зависит от их формы, размеров, физико-механических свойств материалов и других факторов.

Известно, что повышение точности воспроизведения конкретного элемента детали может достигаться за счет использования более точного технологического оборудования, соответствующего изменения режимов обработки, и как результат, увеличения технологического времени, затрачиваемого на обработку элемента детали. Поэтому оптимизация норм точности составляющих звеньев размерных цепей по стоимостному критерию должна быть направлена на минимизацию затрат на технологическое оборудование (его амортизацию и эксплуатацию), заработную плату рабочих-станочников, временных затрат на осуществление технологических процессов получения элементов, а следовательно, минимизацию технологической себестоимости изделий в целом при обеспечении требуемых их эксплуатационных показателей.

Такая минимизация технологической себестоимости может быть достигнута рациональным повышением точности менее «затратных» звеньев и снижением точности более «затратных» до достижения некоторого глобального минимума технологической себестоимости изделия в целом при условии обеспечения требуемых эксплуатационных показателей. Учитывая то, что всякое изделие машиностроения описывается, как правило, не одной размерной цепью, а комплексом взаимосвязанных размерных цепей, в общем случае необходимо оптимизировать систему размерных цепей.

Как показал анализ литературных источников, работы в этом направлении, ведутся давно [2-9]. Общим недостатком известных способов оптимизированного расчета размерных цепей с учетом экономических факторов является отсутствие практически реализуемой на этапе проектирования системы количественной оценки технологической себестоимости получения различных составляющих звеньев размерных цепей в зависимости от их точности. В качестве отправной точки для осуществления таких способов оптимизационных расчетов допусков используется посылка, что зависимости стоимости изготовления каждого составляющего звена от его точности уже известны и описываются аналитическими выражениями того или иного вида. Вместе с тем, методики определения постоянных параметров, входящих в эти выражения, либо отсутствуют вообще, либо их практическая реализуемость вызывает большие

сомнения. Кроме того, отсутствует необходимое методическое и информационное обеспечение таких расчетов. Названные недостатки известных способов расчета приводят к тому, что на практике при проектировании изделий они фактически не применяются.

Таким образом, для реализации предлагаемого подхода к оптимизации размерных цепей необходимо, прежде всего, решить проблему создания эффективной системы количественной оценки технологической себестоимости составляющих звеньев размерных цепей на этапе проектирования изделий.

Состав, структурная организация, принципы построения, а также форма реализации как информационного, так и программного обеспечения такой оценки во многом определяются особенностями методического обеспечения необходимых расчетов. Поэтому создание системы количественной оценки технологической себестоимости звеньев, удовлетворяющей поставленной задаче, целесообразно начинать с разработки ее методического обеспечения.

В настоящее время существует большое разнообразие методик количественной оценки технологической себестоимости изготовления деталей, но они могут быть использованы при наличии детальной информации о технологических процессах получения элементов деталей (применяемом технологическом оборудовании и оснастке, квалификации персонала, режимах резания и др.) [9].

Многовариантность технологий получения отдельных элементов деталей делает практически невозможным использование таких методик на этапе проектирования изделий. Среди наиболее существенных причин этого можно отметить следующие:

- методики позволяют оценивать, как правило, себестоимость изготовления деталей в целом, а не их элементов, определяющих звенья размерных цепей, что требуется в рассматриваемой задаче;

- для выполнения расчетов на базе этих методик необходимо знание «подробностей» технологических процессов, что невозможно обеспечить на этапе проектирования изделия;

- методики базируются на абсолютных стоимостных показателях (стоимости станков, технологической оснастки, режущего инструмента и т.д.), которые изменяются с течением времени, в то же время для целей оптимизации размерных цепей в большинстве реальных ситуаций достаточно ограничиться использованием согласованных относительных показателей.

В справочной литературе приводятся абсолютные значения указанных стоимостных показателей, относящиеся к различным периодам времени. Очевидно, что в таком виде их нельзя использовать для оценки и сопоставления стоимости реализации отдельных составляющих звеньев размерных цепей.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать обобщенный подход к определению технологической себестоимости составляющих звеньев размерных цепей, заключающийся в укрупненной оценке материальных и временных затрат на обработку элемента детали, определяющего звено

размерной цепи. Такую оценку целесообразно осуществлять на базе применения типовых технологических процессов, типового технологического оборудования, усредненных режимов резания, укрупненных нормативов трудовых затрат и т.д. с учетом серийности производства. В основу такой оценки можно положить следующее аналитическое выражение:

$$Q = \sum_{k=1}^N q_k \cdot t_k, \quad (1)$$

где Q – комплексный (обобщенный) показатель технологической себестоимости элемента;

q_k – коэффициент относительной стоимости k -й технологической операции, приведенный к единице времени;

t_k – время, затрачиваемое на выполнение k -й технологической операции;

N – общее количество операций технологического процесса получения рассматриваемого элемента детали.

Применение относительных величин в виде коэффициентов относительной стоимости операций q_k позволяет абстрагироваться от изменяющихся цен, что очень важно с точки зрения повышения достоверности полученных результатов.

При оценке коэффициентов q_k следует учитывать, что стоимость технологической операции определяется расходами на амортизацию станочного оборудования, технологической оснастки, режущего инструмента, заработную плату основных и вспомогательных рабочих, а также общецеховыми и общезаводскими расходами. Расходы по этим статьям в принципе могут быть определены аналитически с использованием известных методик. Однако такие расчеты достаточно громоздки и требуют большого количества исходных данных о технологических процессах.

В данной ситуации с учетом специфики решаемой задачи для оценки коэффициентов q_k предлагается использовать достаточно простой и легко реализуемый способ, базирующийся на квалиметрических оценках [10], суть которого заключается в следующем.

Как правило, в условиях конкретного предприятия можно предложить ряд вариантов технологических процессов, позволяющих получить тот или иной элемент детали заданной точности. Поэтому всегда необходимо проводить анализ имеющегося набора возможных решений в целях поиска оптимального, обеспечивающего наименьшие затраты при его реализации. Ниже приводится одна из упрощенных методик анализа технологических процессов и количественной оценки стоимости обработки, основанная на составлении так называемой матрицы оптимизации, которая позволяет оптимизировать (в первом приближении) принимаемое решение при наличии набора возможных конкурирующих вариантов с использованием интегрального коэффициента технологической себестоимости.

Такая матрица может быть представлена в форме таблицы следующего вида.

Матрица оптимизации решений

Составляющие технологической себестоимости (A_j)	Весовые коэффициенты составляющих технологической себестоимости (μ_j)	Оценочные коэффициенты составляющих технологической себестоимости различных вариантов решений (a_{ji})			
		1	2	...	n
Стоимость оборудования	μ_1	a_{11} $\mu_1 a_{11}$	a_{12} $\mu_1 a_{12}$	...	a_{1n} $\mu_1 a_{1n}$
Амортизация и ремонт оборудования	μ_2	a_{21} $\mu_2 a_{21}$	a_{22} $\mu_2 a_{22}$	...	a_{2n} $\mu_2 a_{2n}$
Электроэнергия	μ_3	a_{31} $\mu_3 a_{31}$	a_{32} $\mu_3 a_{32}$	...	a_{3n} $\mu_3 a_{3n}$
Режущий инструмент	μ_4	a_{41} $\mu_4 a_{41}$	a_{42} $\mu_4 a_{42}$	...	a_{4n} $\mu_4 a_{4n}$
Средства измерения	μ_5	a_{51} $\mu_5 a_{51}$	a_{52} $\mu_5 a_{52}$	...	a_{5n} $\mu_5 a_{5n}$
Технологическая оснастка	μ_6	a_{61} $\mu_6 a_{61}$	a_{62} $\mu_6 a_{62}$	...	a_{6n} $\mu_6 a_{6n}$
Заработная плата рабочих	μ_7	a_{71} $\mu_7 a_{71}$	a_{72} $\mu_7 a_{72}$	...	a_{7n} $\mu_7 a_{7n}$
.....					
Прочие расходы	μ_m	a_{m1} $\mu_m a_{m1}$	a_{m2} $\mu_m a_{m2}$	...	a_{mn} $\mu_m a_{mn}$
Итого:	$\sum_{j=1}^m \mu_j = 1$	q_1	q_2	...	q_n

Данная таблица заполняется следующим образом.

1. Выявляется набор возможных вариантов решений (технологических процессов получения выделенного элемента детали требуемой точности), из которых предстоит выбрать оптимальный. Каждому из вариантов решений приписывается определенный номер в диапазоне от 1 до n, где n – общее количество возможных вариантов. Такие номера служат лишь для идентификации выделенных вариантов решений и не отражают какие-либо их качественные характеристики.

2. На основе анализа производственных затрат определяется качественный состав технологической себестоимости (A_1, A_2, \dots, A_m), куда входят затраты на амортизацию и ремонт оборудования, универсальных приспособлений,

заработную плату основных и вспомогательных рабочих, содержание зданий и др.

3. В зависимости от уровня значимости каждой составляющей технологической себестоимости получения элемента детали им приписываются весовые коэффициенты $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m$, которые могут иметь значения от 0 до 1, причем сумма всех коэффициентов должна быть равна 1. Определение весовых коэффициентов представляет некоторые трудности, так как оно основано на качественной оценке уровня значимости составляющих технологической себестоимости, однако, опытный специалист достаточно легко может это сделать с относительно небольшой погрешностью.

4. На основании опытных данных о выделенных составляющих технологической себестоимости по всем конкурирующим вариантам, им присваиваются оценочные коэффициенты, выражаемые в баллах от 0 до 10 (возможны дробные значения, но не более одного знака после запятой), которые записываются в правом верхнем углу клеток табличной матрицы (в таблице они обозначены буквой a с двойными индексами: первый меняется по числу составляющих себестоимости от 1 до m , второй – по числу вариантов решений от 1 до n).

В данной методике коэффициент относительной стоимости k -й технологической операции q определяется путем квалиметрической оценки технологических процессов и может рассматриваться в этом случае как некоторый интегральный коэффициент. Порядок его определения заключается в следующем. Сначала перемножаются по всем строкам матрицы весовые коэффициенты составляющих себестоимости на числовые значения оценочных баллов вариантов решений ($\mu_j a_{ji}$), где $i=1, 2, 3, \dots, n$; $j=1, 2, 3, \dots, m$ и результаты записываются в левом нижнем углу клеток таблицы-матрицы, затем производится суммирование полученных результатов по столбцам матрицы. Числовые значения произведений весовых коэффициентов для отдельных составляющих и оценочных баллов тем больше, чем больше вклад составляющей в интегральную оценку себестоимости, следовательно, и числовые значения определяемых таким образом интегральных коэффициентов будут отражать интегральную характеристику себестоимости конкурирующих вариантов решений (чем больше коэффициент, тем выше себестоимость). Учитывая приближенность определения весовых коэффициентов и оценочных баллов, следует считать интегральные коэффициенты равноценными, если они различаются не более чем на 10-20%. И тогда выбор технологического процесса должен осуществляться исходя из других соображений (например, использование наименее загруженного оборудования). Окончательный выбор технологического процесса следует производить после определения затрачиваемого времени на обработку элемента детали, являющегося составляющим звеном размерной цепи.

Как следует из формулы (1), для расчета комплексного (обобщенного) показателя технологической себестоимости Q , вторым параметром, определяющим стоимость технологической операции, является время ее осуществления t .

Время, затрачиваемое на изготовление элемента детали требуемой точности $t_{шк}$ складывается, как известно, из двух частей: подготовительно-заключительного ($t_{пз}$), приходящегося на единицу продукции и штучного времени ($t_{ш}$), что аналитически можно описать следующим образом [11]:

$$t_{шк} = t_{ш} + \frac{t_{пз}}{r}, \text{ причем}$$

$$t_{ш} = t_o + t_в + t_{об} + t_{от},$$

где r – размер партии, шт;

t_o – основное время, мин;

$t_в$ – вспомогательное время, мин;

$t_{об}$ – время обслуживания рабочего места, мин;

$t_{от}$ – время на отдых и личные надобности, мин.

Для сравнительной оценки технологической себестоимости различных вариантов решений (обработки элемента детали) из состава штучно-калькуляционного времени предлагается выделить те составляющие, которые будут не только зависеть от точности, конфигурации, материала обрабатываемого элемента, но и изменяться при повышении или понижении точности. Время на установку детали в их число не входит, поэтому им можно пренебречь. Время на отдых и организационно-техническое обслуживание рабочего места при калькулировании определяется в процентном отношении от оперативного времени, т. е. зависит от продолжительности обработки, а следовательно, и от точности. Эти составляющие хотя и косвенно, но оказывают влияния на себестоимость, поэтому исключать их нельзя, тем более, что для различных видов механической обработки доли, отводимые на них, различны.

Подготовительно-заключительное время определяется, прежде всего, объемом партии деталей, его связь с точностью незначительна. В состав штучно-калькуляционного времени оно входит в виде слагаемого, на величину которого не влияет размер и материал детали. Все необходимые составляющие входят в состав «неполного штучного времени», получившего свое название благодаря своему структурному сходству с нормой штучного времени (оно содержит основное время, вспомогательное время, за исключением части, связанной с установкой детали и время, затрачиваемое на отдых и организационно-техническое обслуживание).

Нормативы неполного штучного времени разработаны для единичного, мелкосерийного и серийного типов производства на основе усреднения многих факторов, влияющих на обработку. Они базируются на типовом содержании и условиях выполнения операций, что подходит для решения поставленной задачи, обеспечивая необходимой информацией при отсутствии экспериментальных данных.

Таким образом, в результате реализации предлагаемого подхода может быть сформирована информационная база, являющаяся основой для одной из математических моделей оптимизации и последующего создания системы автоматизированного проектирования норм точности геометрических параметров изделий, призванной осуществлять оптимизацию норм точности функциональных параметров по критерию обеспечения требуемых эксплуатационных показателей изделий при минимальной их технологической себестоимости.

Наибольшего эффекта от использования такой системы следует ожидать на машиностроительных предприятиях, выпускающих технически сложную дорогостоящую продукцию в условиях постоянно меняющейся номенклатуры (агрегатные станки, автоматические линии и т.д.).

Внедрение автоматизированной системы проектирования норм точности на таких предприятиях может обеспечить:

- снижение технологической себестоимости изделий;
- расширение сферы автоматизации проектно-конструкторских работ;
- снижение трудоемкости и стоимости проектирования.

Создание и внедрение такой системы даст возможность повысить качество и технологическую культуру проектирования изделий, сократить сроки их проектирования и изготовления, будет способствовать улучшению конкурентоспособности производимой продукции и повышению рентабельности промышленных предприятий за счет снижения себестоимости их продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ конструкций: Справ./ Бондаренко С.Г., Чередников О.Н., Губий В.П., Игнатцев Т.М. – Киев: Тэхника, 1989. – 149 с. 2. Бочкарев В.Н. Решение задач по экономической оптимизации допусков.// Стандарты и качество. - 1980.- № 6. – С.55-57. 3. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Расчет допусков размеров. – М.: Машиностроение, 1981. – 189 с.4. Edel D.H., Auer T.B. Determine the Least Cost Combination for Tolerance Accumulations in a Drive Shaft Seal Assembly.//General Motors Engineering Journal, Fourth Quarter, 1964. - P.37-38. 5. Speckhart F. H. Calculation of Tolerance Based on a Minimum Cost Approach. // J. of Engineering for Industry, ASME, vol. 94, May 1972. - P. 447-453. 6. Ostwald P. F., Huang J. A Method for Optimal Tolerance Selection.// J. of Engineering for Industry, ASME, vol.99, Aug. 1977. - P. 558-565. 7. Monte M.E., Datsaris P. Optimum Tolerance Selection for Minimum Manufacturing Cost and Other Criteria.// ASME Paper No. 82-DET-35, 1982.-P. 1-9. 8. Krishnaswami M., Mayne R.W. Optimizing Tolerance Allocation Based on Manufacturing Cost and Quality Loss.//Advances in Design Automation, ASME DE. – Vol. 69 – 1. – 1994. – P. 211-218. 9. Меркачев В.Н., Бутенко А.И. Экономический справочник машиностроителя. – Одесса: Маяк, 1991.- 198 с. 10. Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я., Поликарпов М.П. и др. Методы квалиметрии в машиностроении. – М.:Технонефтегаз, 1999. – 211 с.

11. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. - М.: Изво стандартов, 1992. - 460 с.

УДК 621.9.01 (075.8)

Филонов И.П., Курч Л.В., Лещинский Ю.А.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ НА ЭТАПЕ ВЫБОРА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

*Белорусский национальный технический университет,
РУП “Минский тракторный завод”
Минск, Беларусь*

Одним из важных элементов обеспечения технологичности конструкции изделия на этапе проведения сборочных работ является обоснованное технологическое оснащение этого процесса. При закупке средств технологического оснащения необходимо учитывать как стоимостные параметры закупаемого оборудования, так и ряд технико-эксплуатационных параметров, влияющих на точность, скорость, надежность и ряд других параметров процесса сборки.

Поэтому процесс закупки товаров работы и услуг требует взвешенного подхода к этой процедуре с использованием современных методик многофакторного анализа.

В данной работе нами был проанализирован процесс проведения тендера на закупку пневмоинструмента и сопутствующих изделий на условиях шеф-монтажа для проведения ремонтно-сборочных работ на “Минском тракторном заводе”.

Была разработана системы автоматизации этого процесса с использованием современных методов функционально-стоимостного анализа и системы экспертных оценок, что значительно снизило, на наш взгляд, вероятность принятия субъективных, не достаточно проанализированных решений и улучшило организацию работ в снабженческих структурах предприятий.

В основу организации работ в снабженческих структурах положено Постановление Совета Министров Республики Беларусь [1].

Данное Постановление внесло ряд положительных моментов – четко прописанный алгоритм конкурсного отбора, с учетом качественных и стоимостных показателей. Использование процедуры открытых тендеров, с публикацией объявлений о их проведении в открытой печати, позволило значительно упростить поиск и налаживание сотрудничества между поставщиками и потребителями определенных видов товаров, работы и услуг. Данный алгоритм от-