

Н. А. АЛЕКСЕЕВ

Украина, НТУУ „Киевский политехнический институт”
E-mail: nick@cme.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
05.06 2003 г. — 25.02 2004 г.

Оппонент к. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО
(ОНПУ, г. Одесса)

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОБ ЭФФЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Метод позволяет значительно сократить время проектирования технологических процессов и технологической подготовки приборостроительного производства.

Во время работы любой машины между ее исполнительными поверхностями возникают и действуют различные связи — кинематические, динамические, электрические, механические, гидравлические, пневматические, временные и др. Все виды связей учитываются в процессе создания машины [1].

Размеры деталей (как и сами детали в собранном виде) взаимосвязаны. Эти взаимосвязи определяются размерными связями, образующими сборочные размерные цепи. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что размеры, входящие в нее, не могут назначаться независимо, в связи с чем разработано множество методов расчета размерных цепей (метод максимума-минимума, вероятностный, статистических испытаний и др.). Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки.

Предлагаемый в настоящей работе метод анализа размерных цепей дополняет возможности конструкторского и технологического анализа учетом технико-экономических критериев — технологической себестоимости и эффективности обработки. Введение второго критерия обусловлено тем, что в последнее время при определении целей производства, помимо требования по снижению себестоимости изготовления, в качестве основной ставится задача достижения максимальной эффективности производства при одновременном обеспечении наилучших эксплуатационных характеристик. При этом под эффективностью производства понимается комплексный параметр, который, кроме себестоимости, включает в себя до-

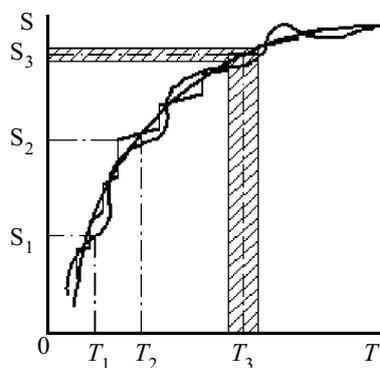


Рис. 1. Изменение эффективности обработки от величины допуска

полнительный на-

бор параметров, определяющий целесообразность применения того или иного способа обработки.

Зависимости изменения себестоимости обработки C и эффективности обработки S от изменения точности (величины допуска) T , установленной в технологическом переходе, показаны в работах [2, 3]. Их графическое представление касательно эффективности обработки показано на **рис. 1**.

Суть предлагаемого метода заключается в интеграции теории размерных цепей, экспертных методов принятия решений и аппарата математического программирования.

Поскольку для обеспечения точности поверхностей, размеры которых составляют размерную цепь, могут использоваться разные способы обработки и их эффективность может описываться разными законами изменения C и S , то отсюда следует конечная цель расчета размерной цепи — составление общей целевой функции эффективности как суммы параметров эффективности достижения точности для отдельных составных звеньев с устремлением целевой функции к экстремуму. В общем виде эту задачу можно представить в виде графа (**рис. 2**).

Поверхности заготовки — $ПЗ_1, ПЗ_2, ПЗ_3$ — связаны между собой размерной цепью со звеньями — допусками разной точности ($РЗ_1, РЗ_2, РЗ_Δ$). В процессе обработки разными способами (операциями, переходами) — $1Сп1, 2Сп1, …$ (длина соответствующих им ребер графа обратно пропорциональна эффективности способов) поверхности заготовки поэтапно преобразуются в поверхности детали — $ПД_1, ПД_2, ПД_3$. Таким образом, целью способа является нахождение такого набора (последовательности) способов обработки поверхностей, при котором, с одной стороны, сохраняется функциональность изделия, заложенная конструктором на этапе конструкторского проектирования и выраженная размерной цепью, а с другой — суммарная длина всех ребер графа была бы наименьшей, что отвечает максимальной эффективности выбора способов обработки.

В отличие от предлагаемой в работе [3] целевой функции, предлагается использовать ее в несколько измененной форме:

$$S_{\text{изд}} = \sum_{i=1}^{n-1} S_i(T_i) \rightarrow \max, \quad (1)$$

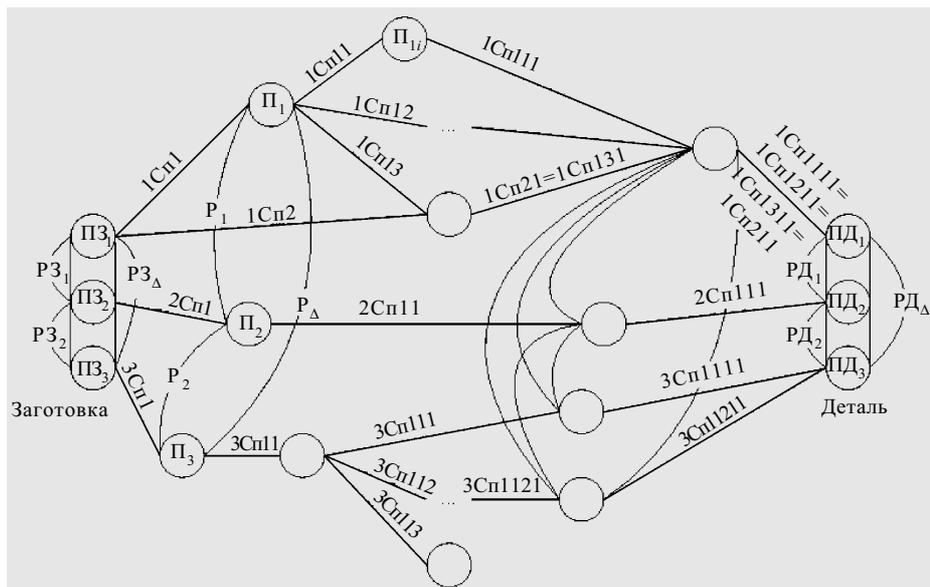


Рис. 2. Граф задачи технико-экономического анализа размерной цепи

где $S_{изд}$ — интегральный критерий эффективности обеспечения требуемой точности;
 n — общее количество звеньев, включая замыкающее;
 T_i — допуск на i -й размер размерной цепи изделия;
 S_i — критерий эффективности обеспечения допуска составляющего звена размерной цепи, выраженный кусочно-линейной зависимостью.

В обоих случаях в качестве ограничений будет выступать зависимость величины допуска замыкающего звена от допусков на составляющие звенья [2]

$$T_{\Delta p} = \sum_{i=1}^{n-1} |k_i| \cdot T_i, \quad (2)$$

где k_i — передаточное отношение i -го звена, т. е. степень влияния изменения i -го звена на степень изменения замыкающего звена (определяется способами, традиционными для прямой задачи, например методом дифференцирования [2]).

В случае расчета угловых, плоских или трехмерных размерных цепей зависимость величины допуска замыкающего звена от допусков на составляющие звенья приводится к виду (2). При этом

$$T_{\Delta p} \leq T_{\Delta}, \quad (3)$$

где $T_{\Delta p}$ — допуск замыкающего звена, определенный, с учетом передаточного отношения, по допускам составляющих звеньев;

T_{Δ} — допуск замыкающего звена, назначенный конструктором.

Если изменение допуска размера может повлечь за собой нарушение функционирования всего изделия (например, нарушение физического принципа), то необходимо ввести дополнительное ограничение вида

$$T_q \leq T_{qm}, \quad (4)$$

где T_q — рассчитываемые допуски звеньев, ограниченных в изменении;

T_{qm} — предельные значения допусков ограниченных звеньев, заданных конструктором.

Поскольку рассчитываемые допуски не должны выходить за пределы достижимой на предприятии точ-

ности, то существует необходимость ограничить их снизу:

$$T_q \geq T_{дост}, \quad (5)$$

где $T_{дост}$ — значения допусков, соответствующие достижимой на предприятии точности.

Таким образом, общая математическая модель предлагаемого метода будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} S_{изд} = \sum_{i=1}^{n-1} S_i(T_i) \rightarrow \max; \\ T_{\Delta} - \sum_{i=1}^{n-1} |k_i| \cdot T_i \geq 0; \\ T_q < T_{qm}; \\ T_q \geq T_{дост}. \end{cases} \quad (6)$$

При определенных доработках эта модель может быть адаптирована к расчету всех основных типов размерных цепей (линейных, угловых, плоских и др.) методами полной и неполной взаимозаменяемости. Например, при расчете этой же задачи вероятностным методом достаточно первое из ограничений записать в виде

$$T_{\Delta} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2 k_i^2}, \quad (7)$$

где k_0 — коэффициент, характеризующий отличие распределения погрешностей i -го и замыкающего звеньев от распределения по закону Гаусса. Коэффициент k_0 для замыкающих размеров вводится при $n-1 < 6$ [5, с. 208].

При этом все остальные элементы модели остаются без изменений.

На основе вышеизложенных соображений можно сформулировать методику автоматизированного принятия решений о структуре (маршруте) технологического процесса механической обработки, которая заключается в следующем*.

1. Производится первоначальный анализ существующих на предприятии технологических процессов с целью выявления и группировки видов элементарных обрабатываемых поверхностей и технологических переходов. Под элементарным обрабатываемым участком понимается фрагмент поверхности детали, обрабатываемый за один переход, и для размерного описания которого необходим один элемент размерной цепи.

*Пункты 1 — 6 выполняются один раз, на начальном этапе использования данного метода. При необходимости дальнейшего пополнения таблицы после проведенной оценки переходов вновь введенные данные оцениваются относительно дополняемой группы переходов.

Пример классификационной таблицы

Поверхность			Эскиз	Текст перехода	Точность 1	Точность j	Точность t
Типы	Подтипы	Элементарные поверхности	Эскизы (элементарные участки)	Сп1	S_{11}	S_{j1}	S_{t1}
				Сп i	S_{1i}	S_{ji}	S_{ti}
				Спт	S_{1m}	S_{jm}	S_{tm}

2. Результаты такого анализа оформляются в виде исходной классификационной **таблицы**. В левой ее части записываются наиболее общие признаки группировки элементарных поверхностей, которые при смещении по ячейкам таблицы вправо все более конкретизируются и уменьшаются. В правой части таблицы данных находятся эскизы элементарных участков и элементарные переходы.

3. Заполняются анкетные ячейки таблицы (далее — анкета), содержащие значения коэффициентов эффективности S_{ji} . Они находятся правее элементарных участков, и заполнение их производится с помощью экспертов. Количество экспертов, их профессия и квалификация разные и определяются производственными условиями на каждом предприятии. Заполнение анкеты осуществляется каждым экспертом отдельно для каждого столбца качеств при помощи известных способов ранжирования [4].

В случае, если для текущей поверхности невозможно, например, i -м способом достичь в производственных условиях j -ю точность, то указывается соответствующая экспертная оценка. Таким образом, автоматически учитывается условие (5).

4. С использованием одного из методов экспертного оценивания составляется и заполняется таблица технологических коэффициентов, учитывающих технологические особенности изделия (например, количество деталей в партии, материал, массу заготовки и проч.).

5. После заполнения анкет экспертами производится анализ достоверности оценок по известным методикам [4]. Если в результате анализа выходит, что экспертные данные согласованы и обладают необходимой воспроизводимостью, таблицы считаются заполненными и готовыми для использования в качестве инструментария для определения коэффициентов эффективности в формуле (1).

6. Окончательным этапом в определении коэффициентов эффективности является расчет удельных характеристик, определяющих отношение величины коэффициентов эффективности к величине допуска. При этом численное значение допуска определяется для типового размера, а значения коэффициентов эффективности выбираются из анкеты классификационной таблицы.

7. Производится анализ детали или узла, на которые необходимо назначить допуски, с целью выявления элементов, входящих в размерную цепь. Одновременно, согласно классификационной таблице, классифицируются поверхности, образующие размерную цепь. При этом таблица может пополняться новыми видами поверхностей, новыми эскизами и текстами переходов.

8. При анализе размерной цепи с целью назначения допусков на ее отдельные звенья получается зависимость вида (1) с ограничениями, вид которых зависит от характера размерных цепей.

9. Полученная зависимость решается методами динамического программирования. В результате проведения расчета определяются оптимальные значения допусков элементов размерной цепи и наилучшие значения коэффициентов эффективности, по которым (перемещаясь по составленной заранее классификационной таблице справа налево и учитывая технологические коэффициенты) определяются оптимальные способы обработки поверхности. При этом должно соблюдаться соответствие поверхности в таблице той поверхности, для описания которой используется оптимизируемый размер.

В том случае, если перед технологом не стоит задача расчета размерной цепи, то данный метод при использовании жестких значений в условии 4 может служить для автоматизации процесса принятия решений о последовательности способов обработки поверхностей проектируемых деталей приборов, что также в существенной мере позволяет сократить время проектирования технологических процессов.

Предложенный технико-экономический метод автоматизированной генерации маршрута технологического процесса основывается на оригинальном соединении методов экспертного оценивания, методов расчета размерных цепей с учетом экономических показателей эффективности и оптимизационных методов математического программирования. Его применение для решения ряда задач технологического проектирования, таких как получение рекомендации о составе технологического процесса, позволяет в значительной мере сократить время конструкторско-технологической подготовки производства в целом.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога.— М.: Машиностроение, 1976.
2. Размерный анализ конструкций: Справочник / С. Г. Бондаренко, О. Н. Чередников, В. П. Губий, Т. М. Игнатцев.— К.: Техника, 1989.
3. Глоба Л. С., Алексеев А. Н., Алексеев Н. А. Техничко-экономический расчет размерных цепей и его приложение для выбора состава операций механообработки // Вісник СумДУ.— 2000.— № 19.— С. 93—98.
4. Емельянов С. В., Езеров В. Б. Исследовательские методы прогнозирования.— М.: Машиностроение, 1973.
5. Якушев А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения.— М.: Машиностроение, 1979.