

УДК 621.914.22 - 216:658.531.011.56

С. С. Кугаевский, кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОГНОЗНОЙ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ

*Рассмотрен метод расчета прогнозной трудоемкости изготовления конструктивно-технологических элементов детали (КТЭ). Приводится состав параметров КТЭ и алгоритм принятия технологических решений.*

**Ключевые слова:** прогнозирование трудоемкости, конструктивная сложность, конструктивно-технологический элемент, технология механической обработки.

Одной из важнейших задач, стоящих перед руководством предприятия, является прогнозирование себестоимости новых изделий. Для изделий машиностроительного профиля основным ориентиром при расчете себестоимости служит трудоемкость механической обработки деталей и трудоемкость сборки узлов и агрегатов. На основании полученной трудоемкости рассчитываются зарплата исполнителей, требуемые производственные площади, ресурсы оборудования, сроки выпуска опытных образцов изделия и т. д. Определение приблизительной трудоемкости требует большой оперативности и осложняется тем, что на этом этапе отсутствует подробный технологический процесс обработки и сборки. Не имея под рукой технологии обработки детали, невозможно применить отработанные нормативы, и поэтому нормирование сводится к сравнению по принципу аналогий конструкции новых деталей с деталями, уже находящимися в производстве.

Для объективного определения прогнозной трудоемкости можно применять методику оценки конструктивной сложности детали, разработанную профессором Ю. С. Шариным [1]. При этом под сложностью понимается мера трудоемкости изготовления детали, которая измеряется в единицах сложности (ЕС). Расчет сложности  $S$  выполняется по формуле

$$C = C_k K_p K_m K_{заг} K_T, \quad (1)$$

где  $C_k$  – конструктивная сложность детали;  $K_p$ ,  $K_m$ ,  $K_{заг}$ ,  $K_T$  – безразмерные технологические коэффициенты, учитывающие размеры, материал, состояние заготовки и технологичность конструкции.

Коэффициент технологичности детали рассчитывается по формуле (2), где символом  $\beta_i$  обозначены весовые коэффициенты сложности отдельных конструктивных элементов

$$K_T = \frac{\beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n}{n}. \quad (2)$$

Использование этой методики не требует предварительной разработки технологического процесса и основано на анализе чертежа или электронной мо-

дели детали. Расчет прогнозной трудоемкости может производиться с применением механизма экспертных оценок [2] или путем создания типовых технологических алгоритмов (шаблонов) обработки конструктивно-технологических элементов (КТЭ) [3, 4]. Исследования по первому направлению привели к введению нового структурно-параметрического показателя  $K_{стр}$ , включающего коэффициент формы детали, коэффициент жесткости, коэффициент расположения КТЭ и коэффициент формы КТЭ. Исследования по второму направлению связаны с попытками формализовать процесс принятия решения технологом и разработать технологические алгоритмы, по которым можно рассчитать весовые коэффициенты  $\beta_i$  и оценить время обработки КТЭ. Остановимся более подробно на втором подходе.

Современный уровень компьютерного моделирования позволяет на основании САД-модели определить составляющие ее конструктивные элементы. Эти конструктивные элементы могут быть получены напрямую из дерева построений или распознаны по импортированной модели. Однако не следует путать эти конструктивные элементы с КТЭ, хотя зачастую они одинаковы по названиям (стенка, отверстие, полость) и могут иметь одинаковую форму и размеры. Различие между конструктивными элементами детали и конструктивно-технологическими элементами заключается в их природе: конструктивный элемент принадлежит детали, а КТЭ имеет технологическое происхождение.

Представим промежуточные состояния заготовки в ходе ее механической обработки как 3D-модель, размеры которой ограничены временными поверхностями, изменяющимися после каждого перехода в направлении от исходной заготовки к готовой детали. В результате каждого перехода создается новый КТЭ, который изменяет предыдущее состояние заготовки в сторону уменьшения материала. Пользуясь терминологией 3D-моделирования, можно сказать, что происходит булевская операция вычитания из модели заготовки лишнего материала в виде припуска. КТЭ соответствует содержанию технологического перехода и состоит из поверхностей, обрабатываемых на этом переходе. Этот состав поверхностей не связан

со служебными функциями детали, как конструкторский элемент, а отражает форму инструмента и технологический характер перехода. В случае готовой детали КТЭ может совпадать с поверхностью или модулем поверхностей конструкторской 3D-модели.

Метод оценки сложности, основанный на применении поэлементной технологии, базируется на анализе параметров КТЭ, полученных из 3D-модели детали. Благодаря автоматическому считыванию параметров модели этот метод практически не зависит от субъективного фактора и обеспечивает высокую оперативность расчета. Основой для расчета прогнозной трудоемкости является набор технологических алгоритмов – шаблонов, которые учитывают конструктивные особенности детали. Применение шаблонов позволяет получить количественное значение весовых коэффициентов технологичности конструкции  $\beta_i$ , представленные в формуле (2), для каждого КТЭ. Например, сложность двух полостей (рис. 1) одинакового объема, но различных размеров существенно отличается. Для кармана, показанного на рис. 1, а, эта сложность (и трудоемкость) обработки почти в 2 раза меньше, чем для кармана на рис. 1, б. В данном случае разница вызвана проблемами, связанными с обработкой глубоких стенок второго кармана.

Очевидно, что качество создаваемых технологических шаблонов зависит от полноты состава параметров КТЭ, учитываемых при разработке алгоритмов. Нами рассмотрено 10 типовых КТЭ для операций механообработки, в том числе: плоскость, карман, окно, стенка, паз, цилиндр наружный и ци-

линдр внутренний, канавка, резьба наружная, резьба внутренняя. Внешний вид КТЭ «карман» и состав его параметров отображены на рис. 2.

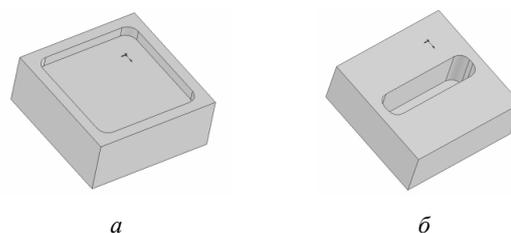


Рис. 1. Эскиз деталей с карманами различного размера

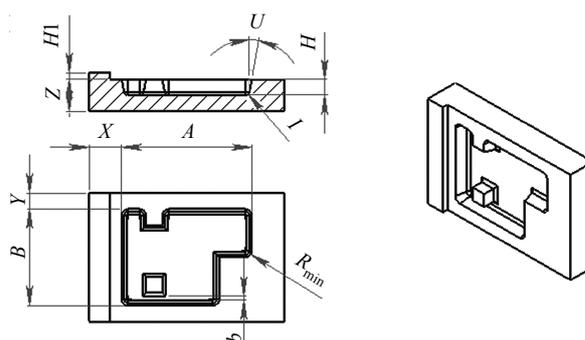


Рис. 2. Внешний вид КТЭ «карман» и его параметры

В таблице приведен полный состав параметров КТЭ, определяющих условия принятия решения при формировании переходов фрезерования.

Таблица состава параметров конструктивно-технологического элемента

	Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
1	привязка	$X, Y, Z$		мм
2	тип	по типам		
3	площадь	$F$		мм <sup>2</sup>
4	периметр	$P$		мм
5	глубина	$H$		мм
6	наибольший габаритный размер КТЭ	$A$		мм
7	наименьший габаритный размер КТЭ	$B$		мм
8	глубина залегания КТЭ	$H1$		мм
9	угол наклона стенки	$\phi$		град
10	ширина коридора	$b$		мм
11	минимальный внутр. радиус	$R_{min}$		мм
12	радиус на дне КТЭ	$r$		мм
13	мин. допуск по $X (Y)$	$\delta 1$		мкм
14	мин. допуск по $Z$	$\delta 2$		мкм
15	мин. шероховатость по контуру	$Ra 1$		мкм
16	мин. шероховатость на дне	$Ra 2$		мкм
17	кол-во внутр. элементов	$n$		
18	переходные поверхности сверху (фаски и др.)	по типам		

Выбор параметров продиктован технологически-ми особенностями процесса обработки, в том числе:

- размеры элемента ( $A, B, F$ ) определяют возможности выбора типа обработки (например, при слишком больших значениях  $A, B, F$  целесообразно использовать черновую и чистовую обработку);
- радиус внутреннего угла контура имеет особенно важное значение, так как определяет диаметр чистовой фрезы;

- глубина  $H$  служит информацией для оценки жесткости концевой фрезы;
- технологические показатели точности и максимальной допустимой шероховатости на стенках и дне КТЭ служат информацией для назначения глубины резания и подачи чистового прохода;
- данные о расположении КТЭ ( $X, Y, Z$ ) могут быть использованы для проведения размерного анализа и проверки достаточности рабочей зоны станка

для операции, включающей несколько переходов, и для других целей.

Указанный состав параметров подходит для всех 10 типовых КТЭ. Для сложных объемных поверхностей он неприменим. Понятно, что некоторые из параметров необязательны для различных типов КТЭ.

Разработанные алгоритмы используют полученные параметры для принятия технологических решений. Расчет прогнозной трудоемкости обработки КТЭ «карман» производится в последовательности, показанной на рис. 3.

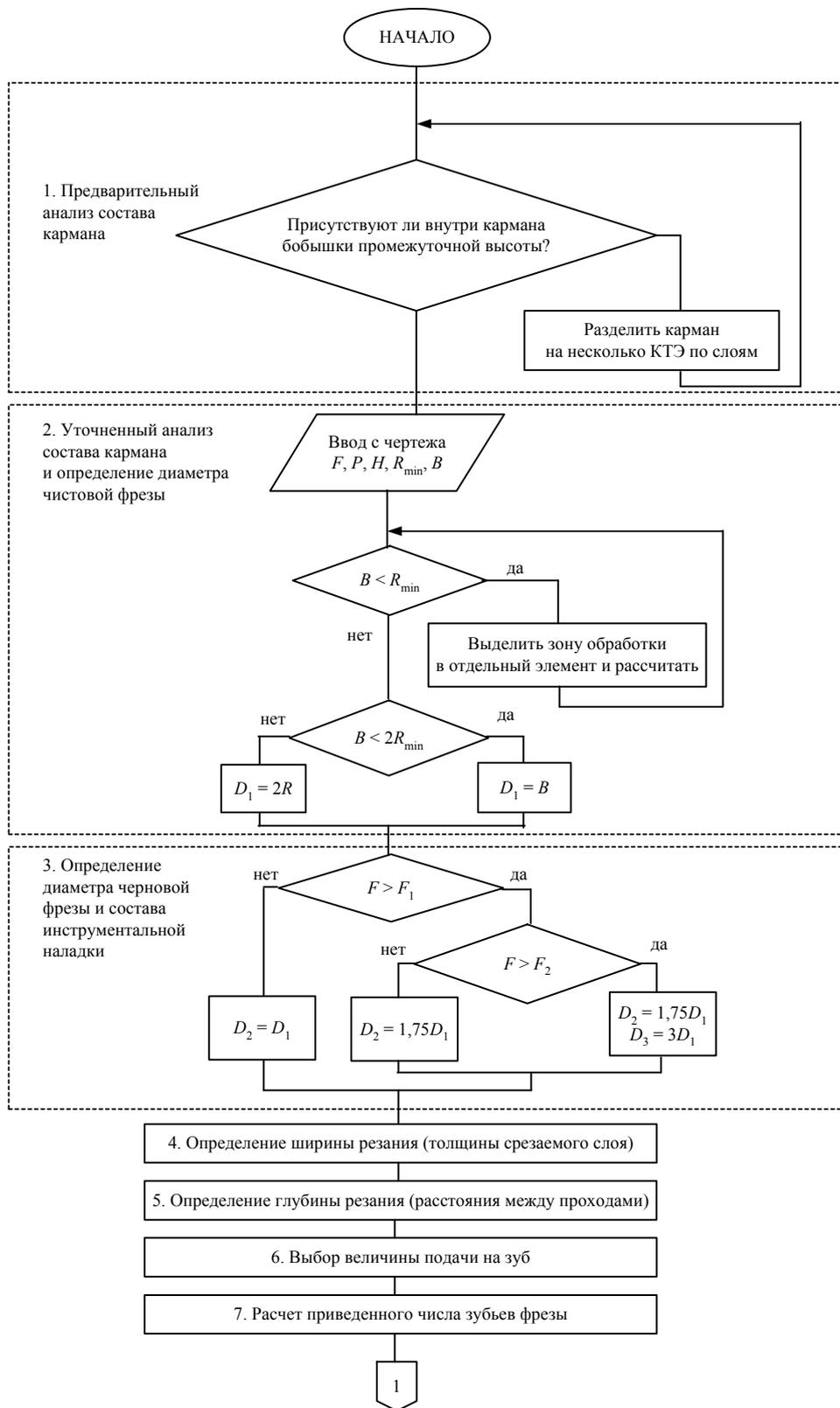


Рис. 3. Последовательность принятия технологических решений

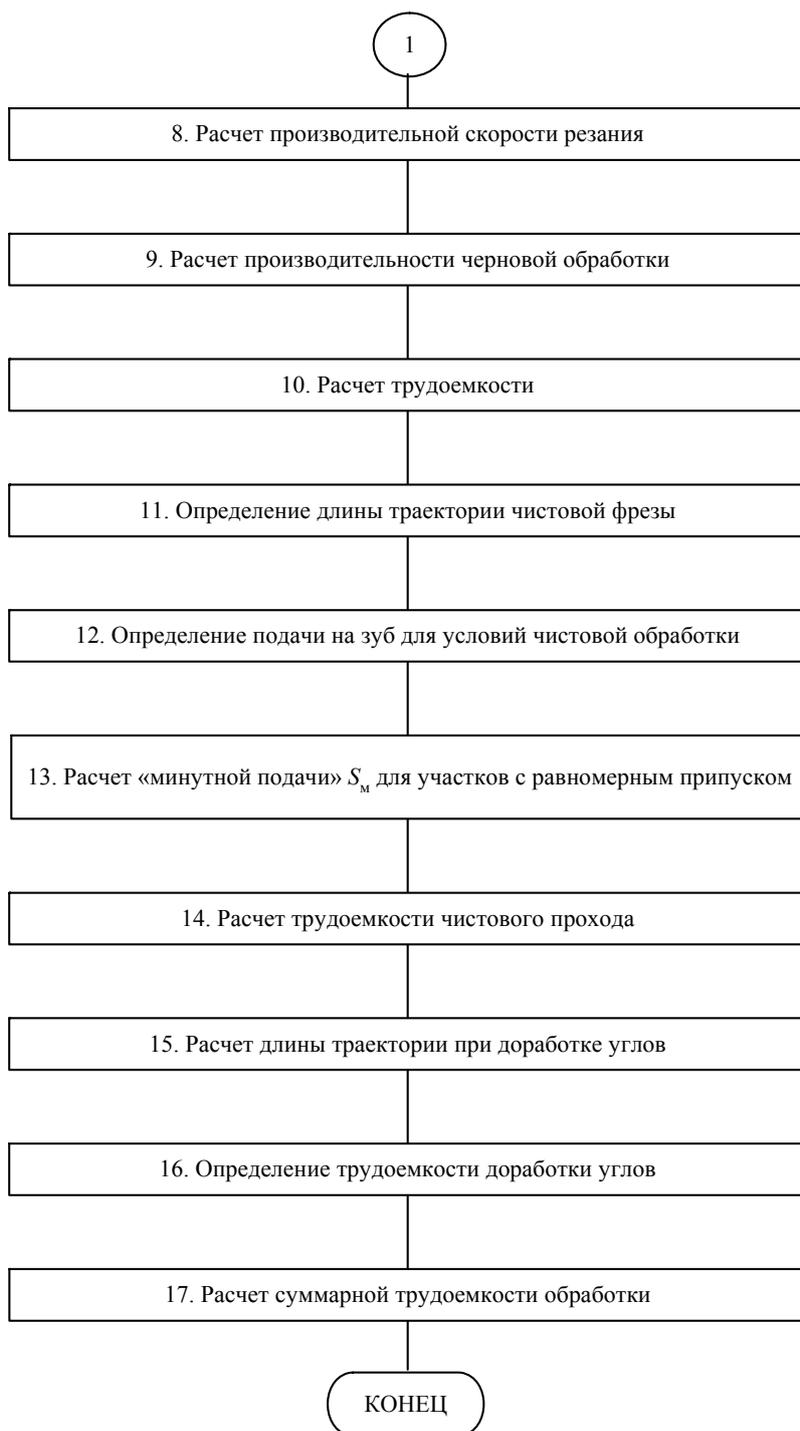


Рис. 3. Последовательность принятия технологических решений (окончание)

Полученную в результате трудоемкость обработки элемента сравнивают с трудоемкостью обработки базового элемента, в результате чего получают весовой коэффициент технологичности  $\beta_i$  рассматриваемого КТЭ:

$$\beta_i = \frac{T_i}{T_6}, \quad (3)$$

где  $T_i$  – трудоемкость рассматриваемого элемента;  
 $T_6$  – трудоемкость базового элемента

Дальнейший расчет прогнозной трудоемкости ведут по традиционной схеме с использованием соотношения (1). Для учета особенностей реальных производственных условий далее необходимо выполнить следующие действия.

1. Рассмотреть выборку из генеральной совокупности деталей, обрабатываемых на конкретном участке (станке).

2. Получить диаграмму рассеивания и, используя математический аппарат регрессионного анализа,

определить зависимость между случайными величинами  $C_i$  (сложность) и  $T_i$  (трудоемкость).

3. Рассчитать коэффициенты уравнения регрессии.

4. Рассчитать прогнозную трудоемкость изготовления детали для данных производственных условий, мин, по формуле

$$T = a + bC. \quad (4)$$

В формуле (4) свободный член  $a$  характеризует затраты времени, несвязанные с обработкой. Сюда входят вспомогательное и подготовительно-заключительное время операции. Коэффициент регрессии  $b = \text{tg}\alpha$  характеризует производительность оборудования и уровень организации труда на данном производстве.

#### Библиографические ссылки

1. Шарин Ю. С., Шмурыгин Н. Д., Терентьев В. Н. Вопросы нормирования механообработки и теория сложности. – Екатеринбург : УГТУ, 2001. – 259 с.

2. Якимович Б. А., Кориунов А. И. Экспертные методы оценки структурно-параметрической сложности деталей. – М. : Машиностроение : Информатика машиностроения. – 1997. – № 3. – С. 28–32.

3. Кугаевский С. С. Технология обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ : монография. В 2 ч. – Ч. 1. Обработка внутренних контуров. – Екатеринбург : УГТУ, 2000. – 142 с.

4. Кугаевский С. С. Технология обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ : монография. В 2 ч. – Ч. 2. Обработка плоскостей и отверстий. – Екатеринбург : УГТУ, 2001. – 96 с.

S. S. Kugaevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University after First President of Russia  
B. N. Yeltsyn, Yekaterinburg

#### Use of Design and Technological Components in Calculation of Prognostic Labour Intensity

*A method of the prognostic labour intensity calculation of design and technological components is considered. A set of design and technological parameters and an algorithm of technological decisions are offered.*

**Key words:** prognostication of labour intensity, structural complexity, design and technological component, tooling method.

УДК 531.36; 629.7

**А. В. Алексеев**, кандидат технических наук, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева

**В. С. Красников**, магистрант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева

## УГЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ РАЗГОННОГО БЛОКА С ЖИДКИМ ТОПЛИВОМ

*Предложена математическая модель движения вокруг центра масс разгонного блока (РБ) с тороидальным баком, заполненным жидким топливом. Определены зависимости параметров движения от времени численным и аналитическим методами. Исследованы предельные случаи ориентации в углах Эйлера.*

**Ключевые слова:** разгонный блок, параметры Кэли – Клейна, углы Эйлера, кинематические уравнения.

**Д**ля проведения высокоточных работ и экспериментов на борту космического аппарата необходимо обеспечивать определенные условия: заданное движение центра масс, угловое движение, минимальный вибрационный режим и т. д. Следовательно, необходимо учитывать любые возмущения, возникающие при движении космического аппарата. Одним из таких возмущений является влияние жидкого топлива, расположенного на борту, а именно: из-за наличия свободной поверхности и расхода топлива происходит постоянное изменение инерционно-массовых характеристик, кроме того, циркуляционные движения жидкого топлива могут вызвать гироскопические явления.

Реальный разгонный блок будем моделировать твердым телом с тороидальной полостью, целиком заполненной жидкостью. Форма полости выбрана не случайно: это один из наиболее распространенных типов баков наряду с цилиндрическими и сферическими, используемых в РБ. Таким образом, ставится задача моделирования движения РБ с жидким топливом в тороидальном баке, а также получения аналитических зависимостей параметров движения от времени.

Под простейшими случаями движения твердого тела с полостями, наполненными жидкостью, будем подразумевать случаи, когда движение жидкости в полости можно полностью охарактеризовать конечным числом переменных [1]. Очевидно,