

УДК 338. 45: 621

И.И. ИЦКОВИЧ, Н.А. МИХАЙЛОВА, В.А. ПОНОМАРЕВ**ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия****СОЗДАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ ТРУДОЕМКОСТИ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
В ОАО «НПО «САТУРН»**

Предложена концепция и показаны примеры разработки статистических нормативов трудоемкости изготовления высокотехнологичных деталей ГТД. Получены приемлемые для практического прогнозирования структурные математические модели трудоемкости, обеспечивающие отклонение не более 10% от фактических данных.

трудоемкость изготовления, прогнозирование, ГТД, многофакторные статистические модели**Введение**

Одним из ведущих факторов себестоимости производства является трудоемкость основных работ, которая зависит от разработанной конструкции, используемой технологии, квалификации производственного персонала, обеспечения оборудованием, инструментом и т.д.

Таким образом, трудоемкость производства газотурбинных двигателей зависит от множества взаимодействующих факторов, характерных как в целом для данного уровня развития производственных сил, так и для предприятия с данным составом оборудования и персонала.

Формулирование проблемы. В условиях научно-производственного объединения трудоемкость продукции закладывается на этапе разработки конструкторской документации под типовые технологические процессы, обеспечивающие качество и надежность продукции.

Управление себестоимостью продукции предполагает, наряду с планированием затрат на материалы, и планирование трудоемкости производства продукции на данном предприятии.

Таким образом, существует проблема прогнозирования трудоемкости производства продукции уже на этапе ее конструкторской разработки.

Результаты исследований

Прогнозирование трудоемкости производства продукции на стадии ее проектирования возможно двумя путями:

- детальная параметрическая проработка конструкции и трудоемкости изготовления на основе комплексной автоматизированной системы (САПР), включающей все типовые технологические операции и переходы, т.е. объединяющей систему проектирования и технологической подготовки производства детали, узла, изделия в целом;

- статистическое прогнозирование трудоемкости изготовления деталей в заданном диапазоне их размеров, производимых по типовой технологии.

Первый путь, параметрический, позволяет создавать оригинальные конструктивно-технологические решения, но требует формирования предельно подробной цепочки технологических операций, учета подготовительно-заключительного времени и обрабатываемости материала, – т.е. создания конструктивно-технологической САПР.

Второй путь, статистическое прогнозирование, использует унифицированные конструктивные решения и технологический опыт предприятия. Его недостатком является отсутствие детальной проработки трудоемкости для всей технологической це-

почки, но если используется типовой технологический процесс, то такая детальная проработка по операциям для оценки трудоемкости типовой детали и не требуется. При этом статистическое прогнозирование позволяет обобщать опыт типовых процессов производства в человеко-машинной системе, где человеческий фактор имеет важное значение, если присутствуют ручные операции на критических этапах, определяющих трудоемкость процесса изготовления в целом.

В работе впервые в отраслевой практике формируется концепция использования многофакторных статистических методов для прогнозирования трудоемкости изготовления типовых деталей газотурбинных двигателей.

Нами было предложено разработать классификатор статистических нормативов трудоемкости (СНТ) на основе многофакторных математических моделей, описывающих трудоемкость изготовления основных деталей и узлов ГТД в существующих технологических условиях серийного производства ОАО «НПО «Сатурн».

Статистическое прогнозирование трудоемкости изготовления типовых деталей необходимо для:

- управления трудоемкостью и себестоимостью серийного производства ГТД на этапах НИОКР с учетом технологии серийного производства;
- планирования загрузки и развития производственных подразделений завода при запуске изделий в серийное производство и выполнения производственной программы;
- анализа и планирования экономических и производственных показателей деятельности предприятия;
- унификации деталей ГТД на основе создания электронного классификатора СНТ типовых деталей (базы данных);
- сокращения необоснованного роста типоразмеров деталей и связанного с этим роста трудоемкости и стоимости изготовления деталей и технологической оснастки.

Использование многофакторных математических моделей и СНТ на их основе позволяет своевременно обосновать трудоемкость, себестоимость и контрактную цену промышленного заказа на партию деталей, узлов и ГТД в целом, используя типовые технологические процессы и унифицированные конструктивные формы деталей.

Статистические нормативы трудоемкости изготовления типовых деталей ГТД обладают следующими свойствами:

- характеризуют среднюю трудоемкость изготовления детали данного типоразмера в серийном производстве данного предприятия;
- представляются в виде формулы (статистической зависимости) вида «конструктивные размеры, пр. факторы и зависящая от них трудоемкость в серийном производстве»;
- подлежат периодическому пересмотру, т.е. повторному расчету указанной зависимости по мере развития типовых технологических процессов.

Метод получения статистической модели. Вид статистической модели трудоемкости изготовления детали по типовому технологическому процессу определяется с помощью программного комплекса «МАРС» (Многоэтапная адаптивная распознающая система) (рис. 1), разработанного в ОАО «НПО «Сатурн».

При этом возможности «МАРС» в нормировании используются частично.

В целом, в комплексе «МАРС» используется:

- метод главных компонент для сжатия информации;
- многорядная селекция ансамблей признаков-функций исходных переменных: по критериям максимума коэффициента множественной корреляции R и минимума нормированной дисперсии поверхности отклика, вычисленной в точке экстраполяции; с использованием метода случайного поиска с адаптацией для реализации второго ряда селекции; дискриминация регрессионных гипотез в третьем ряду селекции;

– таксонометрия в подпространстве диагностических признаков.

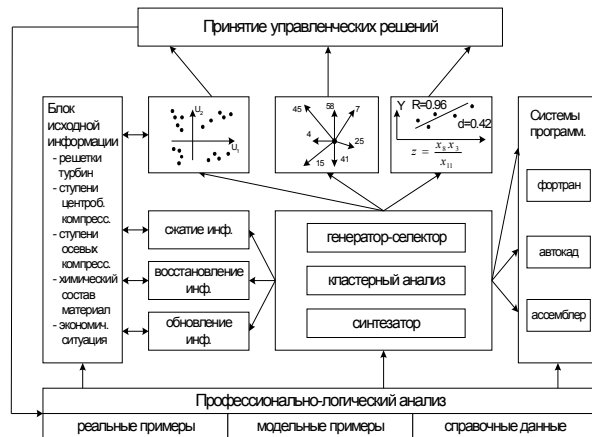


Рис. 1. Многоэтапная адаптивная распознающая система («МАРС»)

Минимальное количество экспериментов (в нашем случае число типовых деталей, трудоемкость которых известна), при котором могут быть получены состоятельные оценки прогноза, равно 5. Система приспособлена к работе в условиях информационной недостаточности и избыточности, при коррелированных «независимых» переменных, нелинейном характере функциональных связей, в обстановке помех и неоднородности эмпирических данных. Путем перекрестных перепроверок, за счет использования альтернативных алгоритмов описания и диагностики, система позволяет обнаружить данные, не несущие полезной информации.

Порядок разработки статистических нормативов трудоемкости типовых деталей ГТД

1. Строится интегральная кривая распределения трудоемкости изготовления узлов ГТД по наименованиям деталей с учетом их количества (кривая Парето применительно к деталям и узлам ГТД). Значения откладываются в порядке возрастания трудоемкости всех деталей.

В качестве примера представлен график роста трудоемкости КВД двигателя Д-30КУ/КП по наименованиям деталей (рис. 2). По данной кривой выбираются наиболее трудоемкие детали и узлы, на ко-

торые приходится не менее 80% трудоемкости. В данном случае речь идет о точке, выделенной цветом, которая соответствует 76 наименованиям деталей и около 90% общей трудоемкости. При этом не учитывалась трудоемкость сборки. Ее следует рассматривать в составе узла.

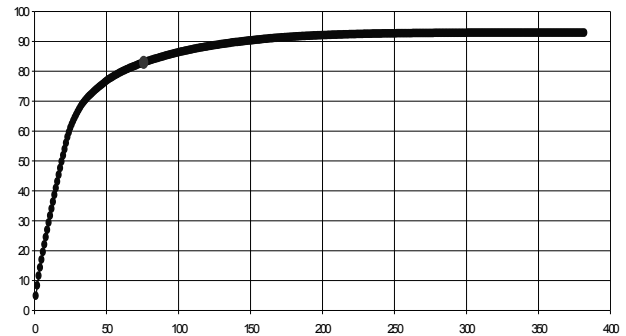


Рис. 2. Интегральная кривая роста трудоемкости КВД двигателя Д-30КУ/КП по наименованиям деталей с учетом их количества

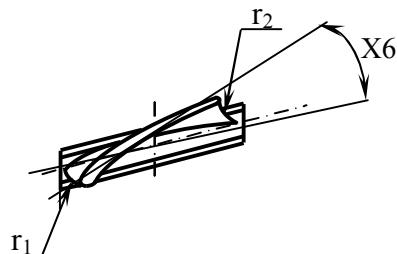
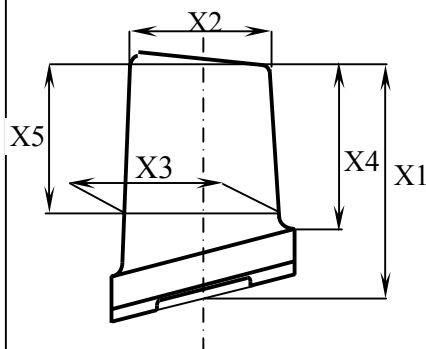
2. Из списка наименований деталей, определяющих 90%-ую долю общей трудоемкости узла, в приведенном примере – КВД двигателя Д-30КУ/КП – выбирается группа (не менее 5 – 7 наименований) однотипных по конструкции деталей (лопатки, диски, кольца и т.п.), имеющих единую маршрутную технологию производства. По данной группе деталей формируется лист классификатора. В принципе, для обобщения могут использоваться однотипные детали от разных изделий.

3. Разрабатывается лист классификатора СНТ.

3.1. Изображается схема простановки характерных размеров детали данного типа, снятых с чертежа (для лопатки компрессора: высота пера, хорда на среднем радиусе, размеры замка и т.п.) и обозначенных буквами А, Б, В, ... (рис. 3).

3.2. Составляется исходная информационная матрица для расчета статистического норматива трудоемкости (табл. 1). Матрица включает исходные данные не менее чем по 5 – 7 деталям данного типа: предполагаемые параметры, влияющие на трудоемкость, в том числе размеры деталей, обозначенные буквами А, Б, В, ..., и трудоемкость детали в производстве с разбивкой по центрам ее накопления.

Рабочая лопатка осевого компрессора без бандажной полки, изготовленная из заготовки, полученной методом объемной штамповки (материал ВТ3-1)



Номер чертежа	Наименование РЛ	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y	Y, расчет	%
		мм	мм	мм	мм	мм	град	н-час	н-час	
40-01-4321	РЛ I ступени II каскада	168,62	58,42	50,75	159	159	27,450	2,501	2,534	1,35
40-01-4192	РЛ II ступени II каскада	144,57	52,83	48,29	127	120	25,263	2,052	1,989	-3,07
40-01-595	РЛ III ступени II каскада	116,1	39,91	47,86	95	93	22,930	1,444	1,452	0,58
40-01-593	РЛ V ступени II каскада	68,63	31,2	31,2	60	57,5	18,410	0,849	0,927	9,25
40-01-594	РЛ VI ступени II каскада	58,89	27,82	27,82	55	46	16,790	0,811	0,798	-1,65
40-01-554	РЛ VII ступени II каскада	51,91	27,82	27,82	48	43	14,380	0,757	0,789	4,17
40-01-008	РЛ VIII ступени II каскада	47,63	27,82	27,82	43	41,5	16,160	0,701	0,720	2,68
H40100002	РЛ II ступени компрессора Сатурн ГТД-6,3	74	41,5	43	60	60	23,2		0,907	

Суммарная трудоемкость изготовления рабочей лопатки

$$Y=0,4788601+0,0009225259X1^2 (X2+X3) X5/(X3 X4 X6)$$

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Факторы модели взаимосвязаны и не могут задаваться произвольно

ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОМЕТРИИ:

1. Хвостовик
Тип – ласточкин хвост,
Длина: 25 – 55 мм,
Высота: 3 – 10 мм.
2. Перо
X4 Высота: 40 – 170 мм,
X3 Хорда у корня: 25 – 51 мм,
X2 по периферии: 20 – 59 мм,

- X5 Расстояние между полными корневым и периферийным сечениями пера: 41 – 160 мм,
- X6 Угол закрутки между полными корневым и периферийными сечениями пера: 10 – 28 град.
3. C_{max} у корня: 2 – 4,5 мм, по периферии: 1,5–3,5 мм.
4. Радиусы входной и выходной кромок r1 и r2: 0,2 – 6 мм.

5. Образующие входной и выходной кромки прямые с наклоном от z-z: ±15°
6. Радиус перехода хвостовик-перо 2-6мм.

ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ:

1. Отклонение контуров корыта и спинки от теоретического профиля: 0,1 в тело.

2. Смещение по оси построения контуров сечений по оси у-у: ± 0,15.
3. Отклонение радиуса входной и выходной кромки от расчётных размеров: +0,05/-0,1 для эталона.
4. Угловой разворот профиля от номинального расположения: ± 14°
5. КИМ от 0,15 до 0,23.

Рис. 3. Пример листа классификатора СНТ – Рабочая лопатка осевого компрессора без бандажной полки, изготовленная из заготовки, полученной методом объемной штамповки (материал ВТ3-1)

Таблица 1
Исходная информационная матрица

Деталь	Параметры				Трудоемкость в производстве			
	X_1	X_2	...	X_n	$Цех_1$	$Цех_2$	...	$Цех_l$
№ 1			...		Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1l}
№ 2			...		Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2l}
...	...	...	...	...	...	...	...	...
№ 7			...		Y_{71}	Y_{72}	...	Y_{7l}

3.3. Модель определения трудоемкости деталей и узлов ГТД получается с помощью многофакторного статистического анализа на основе системы «МАРС». Метод получения многофакторной статистической модели в краткой записи выглядит следующим образом:

$$\begin{vmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n & Y_1 & Y_2 & \dots & Y_l \\ a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{71} & a_{72} & \dots & a_{7n} & y_{71} & y_{72} & \dots & y_{7l} \end{vmatrix} \xrightarrow{\text{«МАРС»}} \begin{vmatrix} Y_1 = f_1(Z_{11}, Z_{21}) \\ Y_2 = f_2(Z_{12}, Z_{22}) \\ \dots \\ Y_l = f_l(Z_{1l}, Z_{2l}) \end{vmatrix}$$

где $Z_{1j} = f_j(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{sj})$, $s = \text{var} [1; m]$;

$Z_{2j} = f_j(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{kj})$, $k = \text{var} [1; m]$;

$j = 1, \dots, l$; $s \leq m$; $m \leq n$; $k \leq m$;

$$Y = \sum_{i=1}^l Y_i, \quad (1)$$

где l – число технологических операций (цехов); n – первоначальное число факторов; m – число оставленных факторов.

Формула трудоемкости детали содержит часть априорно выбранных факторов из исходной информационной матрицы, в большей степени влияющих на трудоемкость изготовления детали. Именно эти факторы, уточненные по корреляции, представлены в конечной информационной матрице.

3.4. Заполняется лист классификатора. В него включена конечная информационная матрица типовых детали ГТД, обобщенное изображение детали с указанием факторов геометрии, точности изготовления, а также полученное на основе «МАРС» математическое описание трудоемкости изготовления детали в условиях ОАО «НПО «Сатурн».

Полученное по статистической формуле значение трудоемкости для разрабатываемой детали становится плановым для изготовления в серийном

производстве и используется при расчете себестоимости (рентабельности) производства.

В случаях, когда при разработке моделей получаются альтернативные варианты формул трудоемкости изготовления деталей, необходимо выявить наиболее точную модель по критериям R и S_R (среднее квадратическое отклонение).

Заключение

Предложена концепция и разработан метод создания многофакторных статистических нормативов трудоемкости изготовления высокотехнологичных деталей газотурбинной техники. Проведена апробация метода в условиях предприятия ОАО «НПО Сатурн».

Литература

1. Шейнин В.М., Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. – М.: Машиностроение, 1984. – 552 с.
2. Новиков А.С., Ицкович И.И., Шишкин В.Н. Структурный анализ элементов конструкции в авиадвигателестроении. Учебное пособие / Под ред. А.С. Новикова. – Рыбинск: РГАТА, 1999. – 141 с.
3. Техническая справка №451-007/014 от 14.03.2005 «Разработка методики планирования трудоемкости изделий на основе классификатора статистических нормативов трудоемкости деталей ГТД в условиях производства ОАО «НПО «САТУРН». – Рыбинск: ОАО «НПО «САТУРН», 2005. – 29 с.
4. Ицкович И.И., Ласточкин Ю.В., Загоринский Э.Е. Структурная зависимость «цена – параметры» для локального рынка газотурбинных двигателей // Авиационная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 58 – 60.

Поступила в редакцию 12.05.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Л. Михайлов, ОАО «НПО «САТУРН», Рыбинск.