

УДК 338.45:621

**И.И. ИЦКОВИЧ, Н.А. МИХАЙЛОВА**

*ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАТОРА СТАТИСТИЧЕСКИХ НОРМАТИВОВ**

Предложена методика прогнозирования трудоемкости изготовления типовых деталей и узлов ГТД при проектировании, в основе которой находится разрабатываемый Классификатор статистических нормативов трудоемкости (КСНТ).

**газотурбинные двигатели, трудоемкость изготовления, статистические нормативы, прогнозирование**

### **Введение**

Управление себестоимостью является актуальной проблемой, которая возникает, начиная с этапа проектирования изделия.

Предлагается возможное решение этой проблемы на основе разработки статистических нормативов для типовых технологических процессов изготовления ГТД. Нормативы должны использоваться на этапе проектирования изделия, что позволяет прогнозировать трудоемкость серийного производства ГТД.

**Формулирование проблемы.** Состояние проблемы прогнозирования трудоемкости изготовления ГТД и его деталей в авиационной промышленности России находится на уровне 80-х гг., что объясняется рядом причин.

Во-первых, существующие сегодня нормативы и методики расчета трудоемкости были разработаны 20 – 30 лет назад и уже не отвечают уровню современных технологий. В отрасли отсутствуют высокоточные методики (ошибка прогноза менее 10%) прогнозирования трудоемкости деталей на этапе проектирования, т.е. учитывающие конструктивно-технологические особенности современных деталей.

Во-вторых, нарушена преемственность передачи знаний по типовым технологическим процессам и особенностям их применения (трудоемкость, материалоёмкость и т.д.).

Таким образом, при проектировании и производстве ГТД существует проблема создания, накопления и обновления нормативного хозяйства по прогнозированию трудоемкости деталей, узлов и ГТД в целом, решением которой является разрабатываемый нами КСНТ.

Существует отраслевой опыт решения обозначенной проблемы на Западе и в России [1]. На Западе (например, фирмой Snecma Moteurs) проблема решается на основе создания САПР проектирования технологических процессов ГТД, что требует детальной разработки режимов резания, оценки машинного и подготовительно-заключительного времени, т.е. автоматизированной разработки технологии изготовления детали в целом.

Нами предлагается ускоренный метод решения поставленной проблемы прогнозирования трудоемкости производства для российских предприятий авиадвигательной отрасли, имеющих типовые технологические процессы производства, – разработка Классификатора СНТ [2]. Он основан на информационной модели «черного ящика», на входе которого задаются значения геометрических размеров, условия и трудоемкость обработки типовых деталей, на выходе генерируется статистическая зависимость (модель) трудоемкости их изготовления от входных параметров. Подобный подход многократно экономит время на разработку нормативов, так как пред-

полагается, что технологические процессы являются отработанными и не требуют детальной разработки (режимов обработки, подготовительно-заключительного времени, оснастки и т.п.).

В данных расчетах принята предельная погрешность моделей трудоемкости – 5 – 7%.

На авиадвигательных предприятиях авиационной промышленности существуют отработанные типовых технологические процессы, которые могут быть обобщены по указанной схеме – на основе создания многофакторных статистических моделей трудоемкости изготовления деталей. Объединение типовых технологических процессов нескольких предприятий позволит создать отраслевой Классификатор нормативов трудоемкости изготовления деталей, используя имеющийся опыт предприятий, преобладающий по отдельным направлениям. При этом конкурентоспособность предприятий не пострадает, поскольку типовые технологические процессы, как правило, не являются «ноу-хау», но их множество, и отдельному предприятию сформировать весь перечень для ГТД весьма затруднительно. Поэтому мы предлагаем объединить усилия ряда авиадвигательных предприятий для решения данной проблемы – создания Классификатора нормативов трудоемкости изготовления деталей ГТД на основе типовых тех. процессов.

### Решение проблемы

Нами предложен Классификатор СНТ (см. рис. б) на основе многофакторных статистических моделей, позволяющих прогнозировать трудоемкость изготовления типовых деталей, узлов и ГТД в целом на этапе их проектирования на примере серийного производства ОАО «НПО «Сатурн»; а также уточненная модель изменения трудоемкости ГТД при освоении в серийном производстве.

**Прямая задача планирования трудоемкости изготовления ГТД.** Предложенное нами уточненное описание известной зависимости для кривой

освоения в серийном производстве ГТД, которая отражает связь трудоемкости с порядковым номером изделия и применяется при прогнозировании теоретической трудоемкости ГТД в серийном производстве, представлено в следующем виде:

$$T_i = T_1 \times i^{(-\lambda \times K_{\text{парт.}} \times K_{\text{оснац.}})}, \quad (1)$$

где  $T_i$  – теоретическая трудоемкость  $i$ -го ГТД, н/ч;  $i$  – порядковый номер изделия в производстве;  $T_1$  – трудоемкость первого ГТД при передаче его в серийное производство, н/ч;  $\lambda$  – показатель степени, связанный с уровнем механизации производства – назначается (или линейно интерполируется по табл. 1) согласно «Удельному соотношению видов работ в общей трудоемкости изделия в ОАО «НПО «Сатурн» (см. табл. 2) из расчета  $K_{\text{мех.}}$  – доли механических работ в суммарной трудоемкости изделия;  $K_{\text{мех.}}$  – уровень механизации и автоматизации работ – фактор, влияющий на технический уровень производства (определяется как отношение основных и вспомогательных рабочих, наблюдающих за автоматами и работающих при помощи машин, к общей численности основных и вспомогательных рабочих, табл. 1);  $K_{\text{парт.}}$  – показатель размера партии изготовления изделий, учитывающий снижение трудоемкости с ростом размера партии ( $K_{\text{парт.}} = 1$  при 1 ÷ 4 изделий в партии (установочная партия в серийном производстве;  $K_{\text{парт.}} = 0,8$  при 5 и более изделий в партии, табл. 2);  $K_{\text{оснац.}}$  – показатель оснащённости производства, определяется исходя из планируемого уровня выпуска изделий,  $0 \leq K_{\text{оснац.}} \leq 1$  (табл. 3). Таким образом, искомое  $T_i$  рассчитывается при известных  $T_1$ ,  $i$  и коэффициентах  $K_{\text{мех.}}$ ,  $\lambda$ ,  $K_{\text{парт.}}$ ,  $K_{\text{оснац.}}$ . Величина  $T_1$  – трудоемкость изготовления первого ГТД – задается конструкторскими службами, приведенные коэффициенты – службой главного инженера и отделом нормирования труда.

Задача имеет единственное решение. В зависимости от полученной по ф.(1) теоретической трудоемкости определяется плановая трудоемкость, передаваемая в производство.

Таблица 1

Значения показателя степени  $\lambda$  в зависимости от уровня механизации производства

$K_{\text{мех.}}, \%$	$\lambda$	$K_{\text{мех.}}, \%$	$\lambda$	$K_{\text{мех.}}, \%$	$\lambda$	$K_{\text{мех.}}, \%$	$\lambda$	$K_{\text{мех.}}, \%$	$\lambda$
80,0	0,1800	69,5	0,2203	59,0	0,2605	48,5	0,3029	38,0	0,3580
79,5	0,1819	69,0	0,2222	58,5	0,2624	48,0	0,3055	37,5	0,3606
79,0	0,1838	68,5	0,2241	58,0	0,2643	47,5	0,3081	37,0	0,3633
78,5	0,1858	68,0	0,2260	57,5	0,2663	47,0	0,3108	36,5	0,3659
78,0	0,1877	67,5	0,2279	57,0	0,2682	46,5	0,3134	36,0	0,3685
77,5	0,1896	67,0	0,2298	56,5	0,2701	46,0	0,3160	35,5	0,3711
77,0	0,1915	66,5	0,2318	56,0	0,2720	45,5	0,3186	35,0	0,3738
76,5	0,1934	66,0	0,2337	55,5	0,2739	45,0	0,3213	34,5	0,3764
76,0	0,1953	65,5	0,2356	55,0	0,2758	44,5	0,3239	34,0	0,3790
75,5	0,1973	65,0	0,2375	54,5	0,2778	44,0	0,3265	33,5	0,3816
75,0	0,1992	64,5	0,2394	54,0	0,2797	43,5	0,3291	33,0	0,3843
74,5	0,2011	64,0	0,2413	53,5	0,2816	43,0	0,3318	32,5	0,3869
74,0	0,2030	63,5	0,2433	53,0	0,2835	42,5	0,3344	32,0	0,3895
73,5	0,2049	63,0	0,2452	52,5	0,2854	42,0	0,3370	31,5	0,3921
73,0	0,2068	62,5	0,2471	52,0	0,2873	41,5	0,3396	31,0	0,3948
72,5	0,2088	62,0	0,2490	51,5	0,2893	41,0	0,3423	30,5	0,3974
72,0	0,2107	61,5	0,2509	51,0	0,2912	40,5	0,3449	30,0	0,4000
71,5	0,2126	61,0	0,2528	50,5	0,2931	40,0	0,3475		
71,0	0,2145	60,5	0,2548	50,0	0,2950	39,5	0,3501		
70,5	0,2164	60,0	0,2567	49,5	0,2976	39,0	0,3528		
70,0	0,2183	59,5	0,2586	49,0	0,3003	38,5	0,3554		

Таблица 2

Удельное соотношение видов работ в общей трудоёмкости двигателя ОАО «НПО «Сатурн»

№ п/п	Виды работ	Изд. 1	Изд. 2	Изд. 3	Изд. 4	Изд. 5	Изд. 6
1	Кузнечно-штамповочные и литейные работы, резка на гильотинных и вибрационных ножницах	4,414	4,439	1,16	5,378	5,986	4,51
2	Заготовительно-штамповочные (штамповка, формовка на прессах, гибка, вытяжка, обтяжка, калибровка и т.п.), термические работы	2,808	1,248	4,19	3,822	3,736	4,6
3	Гальванические, лакокрасочные, малярные работы, сварка на стационарных машинах	0,604	0,392	4,23	0,747	0,502	1,36
4	Механическая обработка на универсальных станках	30,251	18,559	38,46	38,386	40,825	39,77
5	Механическая обработка на станках с ЧПУ, зуборезных, резьбофрезерных, зубо- и резьбошлифовальных, ЭХО и ЭРО	9,154	6,311	12,84	14,528	14,307	20,83
6	Слесарные, слесарно-сварочные и гравировальные работы, ручная сварка, изготовление и подготовка к монтажу электрожгутов	1,509	1,3	0,59	0,59	1,154	1
7	Слесарно-доводочные и слесарно-сборочные работы, сборка агрегатов	0,661	0,681	1,07	1,07	1,052	0,5
8	Окончательная сборка изделий	1,88	0,9	7,97	7,97	2,38	2,12
9	Прочие операции	48,7	66,17	29,49	29,49	30,06	25,31
10	Уровень механизированных работ, $K_{\text{мех.}} \times 100\%$	47,231	30,949	60,88	60,88	65,356	71,07

Таблица 3

Сведения об оснащённости изделий ( $K_{\text{оснац.}}$ )

Год	Изд. 1	Изд. 2	Изд. 4	Изд. 5	Изд. 6	Изд. 7	Изд. 8	Изд. 9	Изд. 10
1999						65%			
2000						70%			
2001			89%			71%	79%		
2002	50%	60%	91%	70%	50%	72%	80%	55%	
2003	68%	62%	92%	71%	50%	73%	81%	55%	40%
2004	73%	73%	92%	75%	51%	80%	82%	55%	40%
2005	85%	84%	93%	76%	52%	92%	90%	55%	42%
2006	95%	100%	100%	90%	92%	100%	100%	58%	49%

Для ее расчета на графике теоретической трудоемкости вводятся осреднения – «ступеньки», – отличающиеся от теоретической трудоемкости не более чем на 5 - 7% (рис. 1, 2).

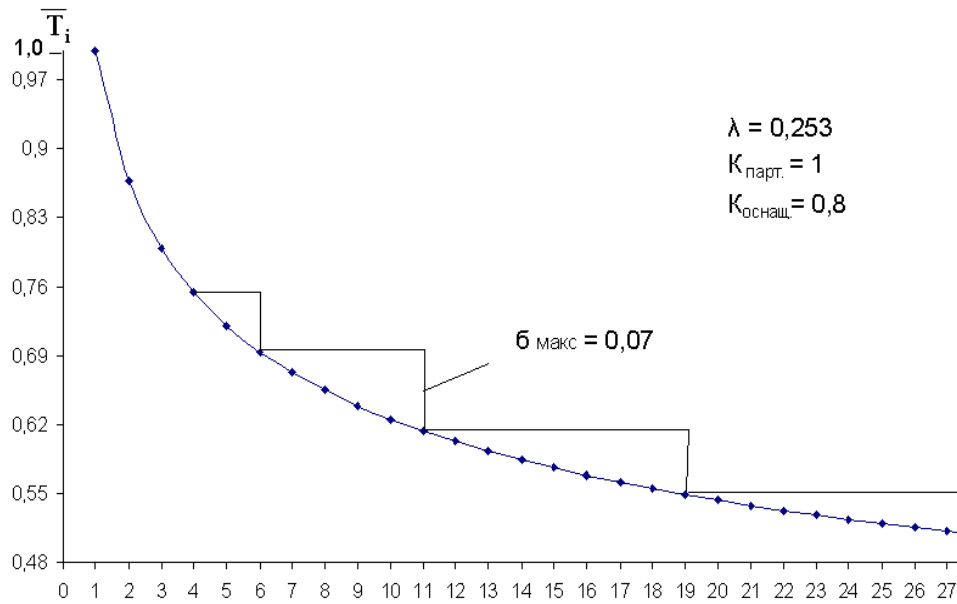


Рис. 1. Введение осреднений теоретической трудоемкости изготовления ГТД

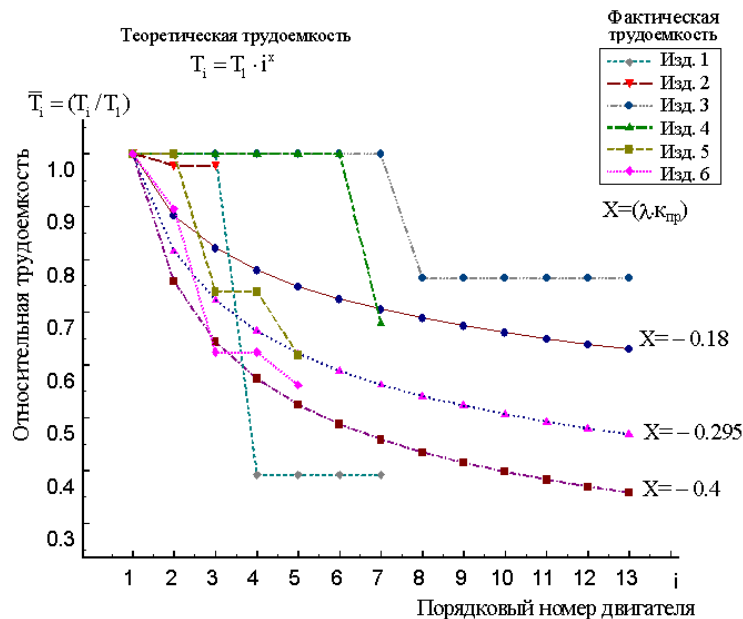


Рис. 2. Сравнение фактической и теоретической трудоемкости ГТД ОАО «НПО «Сатурн»

**Обратная задача планирования трудоемкости изготовления ГТД.** В ходе расчета эффективности инвестиций предприятия в производство изделия (оценки инвестиционного проекта) по ф. (2) определяется предельно допустимая величина себестоимости изделия (лимитная себестоимость), при которой проект является безубыточным:

$$c/c = \frac{C}{1+r}, \quad (2)$$

где  $c/c$  – себестоимость ГТД, тыс. руб.;  $C$  – цена изделия, тыс. руб.;  $r$  – рентабельность производства ГТД.

Лимитная себестоимость изделия распределяется по элементам, на основе прогноза структуры себестоимости изготовления изделия. Прогноз формиру-

ется по фактическим данным о себестоимости за предшествующие периоды времени. По известной структуре себестоимости двигателя и стоимости н/ч рассчитывается общая лимитная трудоемкость изготовления ГТД  $T_i$  в условиях серийного производства по порядковым номерам с момента запуска.

По ф. (1) при известных  $i$  и  $T_i$  изготовления ГТД определяются коэффициенты  $K_{мех.}$ ,  $\lambda$ ,  $K_{парт.}$ ,  $K_{осн.}$ , которые характеризуют технологический процесс производства  $i$ -го ГТД, и  $T_i$ , в виде лимита задаваемая конструкторским службам. Задача имеет множество решений (рис. 3), каждое из которых соответствует технически реализуемому технологическому процессу изготовления ГТД на «ступеньке»  $i$ -го изделия, и обеспечивает возможность выбора из предложенных технологий подходящей по условиям для предприятия.

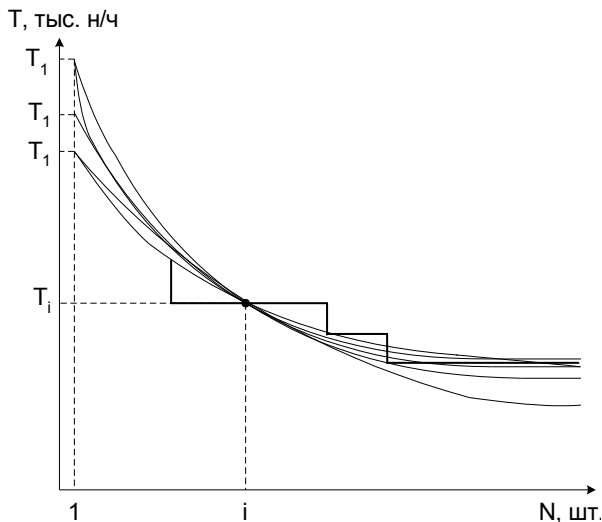


Рис. 3. Решения обратной задачи планирования трудоемкости изготовления ГТД

Таким образом, решение обратной задачи планирования трудоемкости изготовления ГТД позволяет многовариантно сбалансировать группу показателей технологического процесса и реализовать последний на предприятии.

**Прогнозирование трудоемкости изготовления ГТД с помощью Классификатора СНТ.** Распределение лимитной трудоемкости изготовления ГТД по узлам (рис. 4), найденной по ф. (1) ( $T_i$ ), осуществляется на основе статистических данных по долям

трудоемкости соответствующих узлов в общей трудоемкости аналогичных ГТД.

Лимитная трудоемкость узлов ГТД доводится до соответствующих конструкторских подразделений.

При этом создается 20%-й резерв трудоемкости главного конструктора, который может использоваться в критических ситуациях по его решению.

Классификатор рекомендуется использовать, в первую очередь, конструкторам на этапе проектирования типовых деталей и узлов ГТД, изготавливаемых в серийном производстве по типовым технологиям. Построенные статистические модели дают возможность спрогнозировать трудоемкость изготовления вновь проектируемых деталей в серийном производстве. Конструктор определяет метод изготовления детали и рассчитывает трудоемкость изготовления в условиях серийного производства согласно технологическому маршруту, подставляя в соответствующую модель трудоемкости значения задействованных параметров детали.

Полученное значение конструктор передает непосредственному руководителю для дальнейшего получения трудоемкости узла в целом и сравнения с лимитной трудоемкостью, выделенной на узел (рис. 4). Руководитель, ответственный за разработку узла, суммирует полученные от конструкторов значения трудоемкости деталей, на долю которых приходится 80% и более ( $K_{осн.}$ ) трудоемкости узла, и находит прогнозируемую трудоемкость по ф. (3):

$$T_{узда j} = \sum_{i=1}^{n_j} T_i / K_{осн.}, \quad (3)$$

где  $T_i$  – трудоемкость  $i$ -й детали, н/ч;  $i = [1; n_j]$  – общее число деталей, шт.;  $n$  – число наименований деталей в составе  $j$ -го узла, на долю которых приходится 80% и более трудоемкости узла в целом (по статистическим данным производимых узлов), шт.

**Сравнение прогнозируемой и лимитной трудоемкости изготовления ГТД.** Если прогнозируемая на основе КСНТ трудоемкость узла (плюс трудоемкость его сборки, КСИ, упаковки) не превышает лимитную, то узел считается соответствующим требованиям ТЗ, а полученные по моделям Класси-

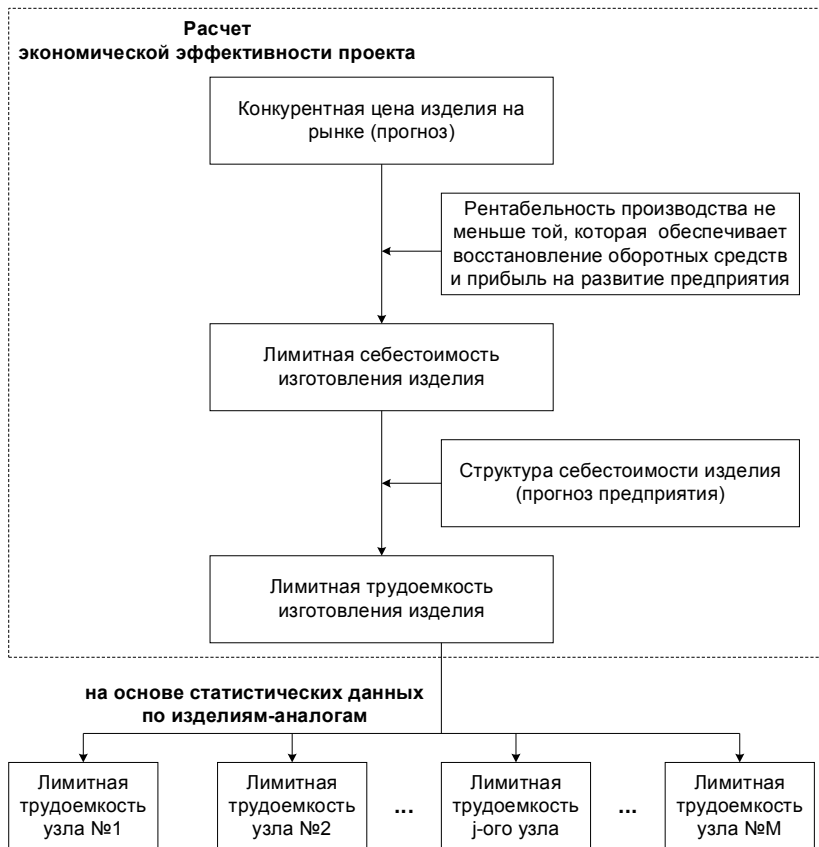


Рис. 4. Определение лимитной трудоемкости узлов ГТД

фикатора значения трудоемкости деталей, входящих в состав узла, назначаются нормативными и включаются в действующую нормативную базу для использования в производстве (цехах) предприятия с заменой старых нормативов. Высвобождающаяся при этом разница лимитной и прогнозируемой по КСНТ трудоемкости (если таковая имеется) образует дополнительный резерв и передается в распоряжение главному конструктору.

В случае, если полученная по моделям КСНТ трудоемкость превышает лимитную, существует несколько альтернатив для дальнейших действий:

1) рабочей группой, в состав которой входят эксперты различных служб, проводится функционально-стоимостной анализ узла для достижения лимитной трудоемкости, в т.ч. наиболее трудоемких деталей в комплекте, в ходе которого пересматривается конструктивно-технологический облик проектируемой группы деталей, или выбирается другой технологический процесс. Если экспертной группой принимается решение о внесении изменений в кон-

структорскую или технологическую документацию, работы проводятся повторно, начиная с определения трудоемкости по моделям Классификатора;

2) если невозможно спроектировать узел на лимитную трудоемкость (и, соответственно, лимитную себестоимость), то нужно оценить возможность производственной кооперации или разработать новый (не типовой) технологический процесс изготовления комплекта данных деталей;

3) если при повторной проработке достигнуть лимитной трудоемкости не удастся, тогда рассматривается

возможность перераспределения трудоемкости между основными узлами ГТД;

4) в критической ситуации, когда все возможные способы и методы снижения трудозатрат исчерпаны, необходимо получить дополнительные лимиты из резерва главного конструктора;

5) если последнее невозможно, то следует признать выбранную конструкцию узла не реализуемой при заданных ограничениях и отказаться нее.

При достижении лимитной трудоемкости узла осуществляется выпуск окончательных чертежей данного узла и входящих в его состав деталей.

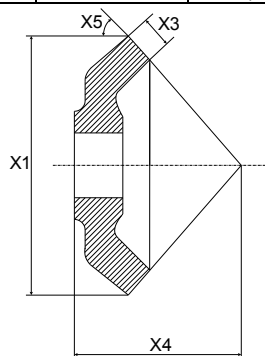
Так, с допустимой точностью (ошибка не более 10%) прогнозируется трудоемкость проектируемого ГТД и, при необходимости, в ходе ФСА доводится до заданного лимита, предупреждая возникновение убыточных решений на стадии проектирования.

## Заключение

Определены и решены прямая и обратная задачи планирования трудоемкости изготовления ГТД.

## Конические шестерни

№ п/п	№ чертежа	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y <sub>факт</sub>	Y <sub>модель</sub>	ΔY
		мм	шт.	мм	мм	град.	кг	шт.	н/ч	н/ч	
1	E60600028	192,010	47	25	89,0	55,327	12,100	1	12,6947	12,9372	1,9%
2	E60600011	153,880	40	25	60,5	54,540	6,800	2	10,4838	10,4093	-0,7%
3	H40600002	120,488	39	20	77,5	48,689	4,600	1	9,0480	8,4603	-6,9%
4	H40600001	114,676	37	20	66,5	45,674	3,060	1	8,0525	8,0400	-0,2%
5	H40600046	89,234	26	15	45,5	53,204	1,191	–	–	–	–
6	820606532	156,000	38	30	87,0	52,656	10,000	1	–	–	–



## Суммарная трудоемкость изготовления шестерни конической

$$Y = Y_2 + Y_4 + Y_{32}$$

$$Y_2 = 0,04054004 + 0,0334194 \times (X_5 \times X_7 \times X_6) / X_4,$$

$$Y_4 = 0,8188499 + 0,001225178 \times (X_4 \times X_2 \times X_6) / X_5,$$

$$Y_{32} = 4,619061 + 0,0000269782 \times X_1 \times X_3 \times X_2,$$

где Y<sub>2</sub> – трудоемкость в корпусе 2, н/ч,

Y<sub>4</sub> – трудоемкость в цехе 4, н/ч,

Y<sub>32</sub> – трудоемкость в корпусе 32, н/ч

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА		Факторы модели взаимосвязаны и не могут задаваться произвольно
<b>ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОМЕТРИИ:</b> X1 - Наружный диаметр шестерни: 89,234 - 192,01 мм X2 - Число зубьев: 26 - 47 шт. X3 - Длина зуба: 15 - 30 мм X4 - Толщина детали до вершины конуса: 45,5 - 89 мм X5 - Угол: 52,656 - 55,327 град. X6 - Масса заготовки (к.2): 1,191 - 12,100 кг X7 - Число переходов при ковке (к.2): 1 - 2		<b>ПОКАЗАТЕЛИ ТОЧНОСТИ КОНИЧЕСКИХ ШЕСТЕРН</b> Степень точности: 7-6-6 В до 6-5-5

Рис. 5. Пример листа классификатора СНТ – Шестерни конические

Разработана методика прогнозирования трудоемкости серийного изготовления деталей и узлов ГТД, в основе которой используется впервые создаваемый КСНТ.

Сейчас в ОАО «НПО «Сатурн» продолжаются работы по расширению Классификатора и внедрению его в конструкторские отделы предприятия. Помимо этого, наша работа перспективна для объединенной авиастроительной корпорации РФ, совместно с организаторами которой предполагается подготовка единого межотраслевого КСНТ авиастроения.

## Литература

1. Ицкович И.И., Михайлова Н.А., Пономарев В.А. Сопоставление методов управления себе

стоимостью изготовления деталей ГТД в ОАО «НПО «Сатурн» (Россия) и Snecma Moteurs (Франция) // Сборник тезисов докладов Всероссийской НТК молодых ученых и специалистов. – М.: ЦИАМ им. П.И. Баранова, 2005. – С. 40-41.

2. Ицкович И.И., Михайлова Н.А., Пономарев В.А. Создание статистических нормативов трудоемкости изготовления деталей газотурбинных двигателей в ОАО «НПО «Сатурн» // Авиационно-космическая техника и технология: Научно-технический журнал. – 2005. – № 4 (20). – С. 83-87.

Поступила в редакцию 5.06.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. научн. сотр. В.В. Червонюк, ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск.

