

УДК 004.65

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОЕМКОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОТОГОНДОЛЫ АВИАЦИОННОГО ГРАЖДАНСКОГО ГТД в АСТПП

В. Л. ЮРЬЕВ¹, И. М. ИРКАБАЕВ², Н. А. СУХОВА³, Ж. М. КАДЫРОВА⁴

⁴ prep08@mail.ru

¹⁻⁴ ОАО «Институт технологии и организации производства» (НИИТ)
^{1,3,4} ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 10 октября 2014 г.

Аннотация. В рамках методики определения трудоемкости изготовления авиационных гражданских газотурбинных двигателей (ГТД) в условиях кооперации предлагается математическая модель определения трудоемкости изготовления деталей и сборочных единиц из полимерных композиционных материалов (ПКМ) мотогондолы ГТД.

Ключевые слова: конкурентоспособность; технологическое прогнозирование; АСТПП; математическое моделирование; трудоемкость; полимерные композиционные материалы.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной публикации обусловлена государственной программой «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 годы», которая преследует цель создания высококонкурентной авиационной промышленности и закрепление ее позиции на мировом рынке в качестве третьего производителя по объемам выпуска авиационной техники. Данная программа имеет ряд подпрограмм, в т.ч. подпрограмму 1 «Самолетостроение» и подпрограмму 3 «Авиационное двигателестроение», в конечном итоге предполагающие выпуск конкурентоспособной продукции.

Цели и задачи. На стадии проектирования нового изделия для обеспечения в дальнейшем необходимого уровня его конкурентоспособности возникает необходимость определения основных показателей технологичности конструкции, а в частности трудоемкости изготовления. Согласно ГОСТ 14.201 «Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования» рекомендуемыми показателями технологичности конструкции изделия являются трудоемкость изготовления изделия, удельная материалоемкость изделия, себестоимость [1]. Для разработки и управления конкурентоспособными проектами в условиях автоматизированных систем технологической подготовки производ-

ства (АСТПП) целесообразно использовать актуальные на данный момент методы математического моделирования на основе функционального моделирования [2].

Научная новизна определяется построенными регрессионными моделями трудоемкости мотогондолы авиационного гражданского ГТД.

Практическая полезность обуславливается тем, что разработанная модель прогнозирования трудоемкости мотогондолы авиационного гражданского ГТД апробирована в рамках методики комплексной оценки технологичности изготовления ДСЕ узлов мотогондолы из полимерных композиционных материалов.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Настоящая работа предполагает проблемно-ориентированность АСТПП на инновационную деятельность подсистемы научно-технологической подготовки производства (НТПП), которая является центральным звеном конструкторско-технологического обеспечения конкурентоспособности продукции и производства в системе инновационной подготовки производства [3]. Технологическое прогнозирование, лежащее в основе текущих исследований, является частью внезаводской НТПП. Подобное исследование выполнено специальной организацией инновационной инфраструктуры отрасли в рам-

ках работы управления инвестиционными и инновационными проектами и технологического прогнозирования. Функции НТПП в системе

инновационной подготовки производства в ОПК и авиационной промышленности представлены на блок-схеме на рис. 1 [4].

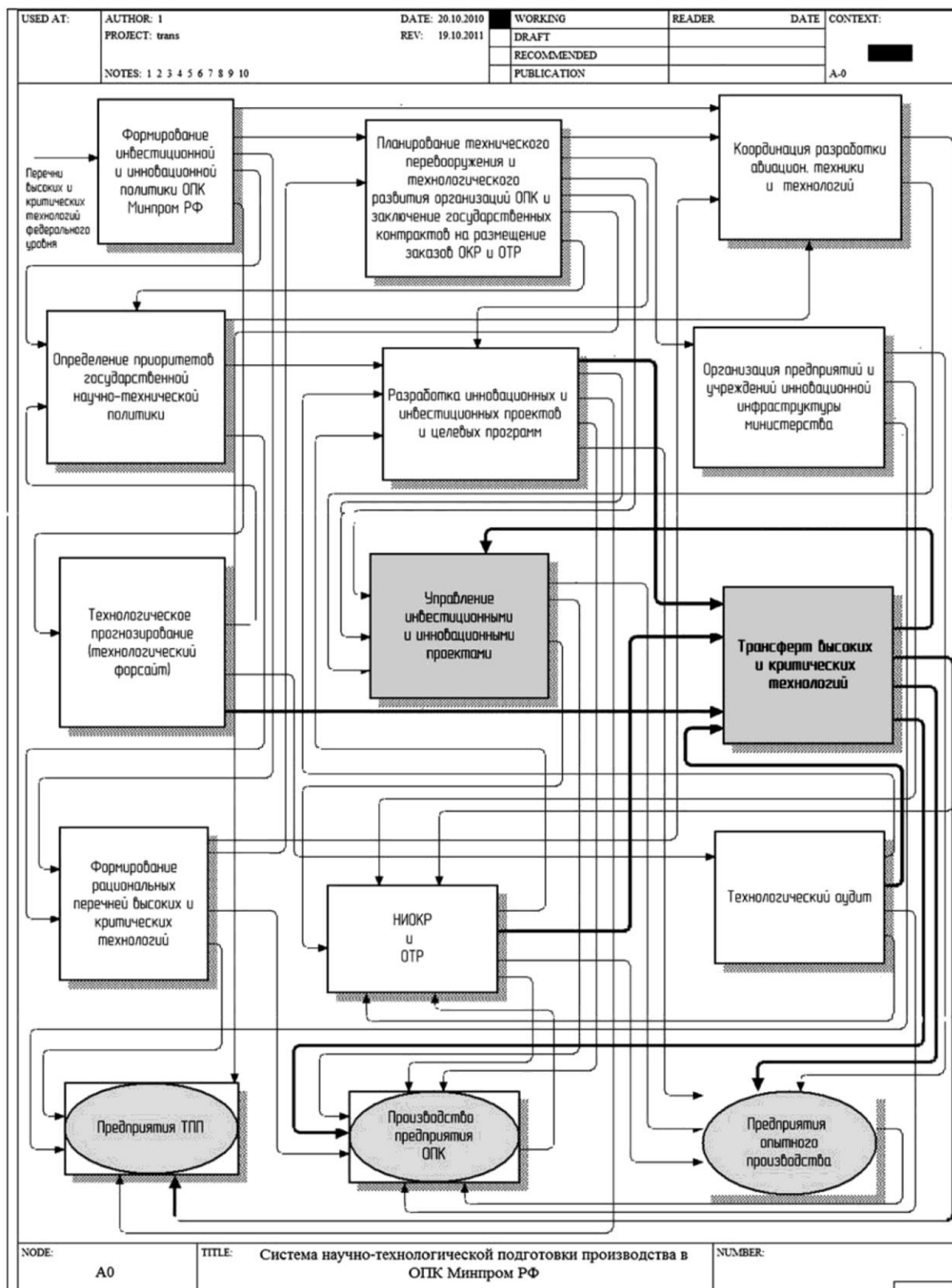


Рис. 1. Блок-схема функции НТПП в системе инновационной подготовки производства в ОПК и авиационной промышленности

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТРУДОЕМКОСТИ УЗЛОВ МОТОГОНДОЛЫ

Алгоритм построения модели прогнозирования трудоемкости изготовления заготовок ДСЕ мотогондолы авиационных гражданских ГТД из полимерных композиционных материалов (ПКМ) (рис. 2).

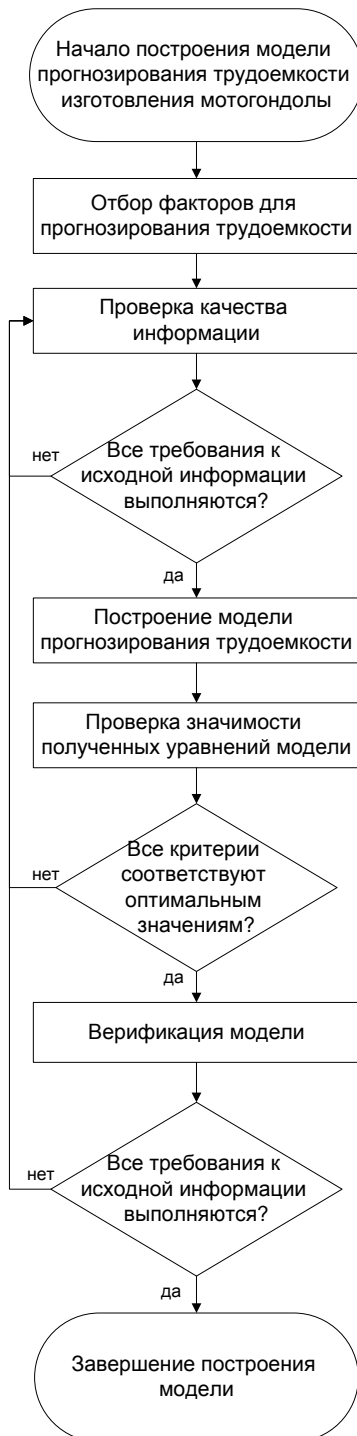


Рис. 2. Алгоритм построения модели прогнозирования трудоемкости изготовления узлов мотогондолы авиационных гражданских ГТД

Особенностью ПКМ (наполненных и армированных полимерных материалов) является то, что материал во многих случаях производится непосредственно в процессе изготовления изделия. Свойства полученного ПКМ зависят от выбора исходных компонентов и их соотношения, взаимодействия между ними, вида и расположения волокон в армирующем наполнителе, наличия сотовых элементов, метода и технологических условий изготовления изделий (давления, температуры, времени). Таким образом, изделия из ПКМ конструктивно индивидуальны, единственно их можно классифицировать в соответствии с типовыми технологическими процессами производства и применяемыми материалами. На этапе отбора факторов для большей достоверности при расчетах в основу представленного метода определения трудоемкости положена следующая классификация структуры конструкций ПКМ:

- без усиливающих и сотовых элементов (класс 1);
- с усиливающими и сотовыми элементами (класс 2).

Трудоемкость изготовления деталей из ПКМ для обоих классов может быть определена следующим образом:

$$T_{\text{и.пкм}} = T_{\text{з.пкм}} + T_{\text{м.о.пкм}},$$

где $T_{\text{з.пкм}}$ – трудоемкость процесса изготовления заготовок из ПКМ; $T_{\text{м.о.пкм}}$ – трудоемкость механической обработки заготовок из ПКМ.

К каждому классу относится большое количество деталей, поэтому характерные признаки рассматриваемой конструкции учтены системой коэффициентов, таким образом, трудоемкость процесса изготовления заготовок ПКМ может быть определена как

$$T_{\text{з.пкм}} = T_{\text{база}i} K_{\text{ксл}} K_{\text{сл}} K_a,$$

где $T_{\text{база}i}$ – базовая трудоемкость изготовления заготовок из ПКМ в зависимости от класса конструкции заготовки из ПКМ 1 ($i=1$ или 2) представленных предприятием-изготовителем; $K_{\text{ксл}}$ – коэффициент, учитывающий уровень конструктивной сложности детали из ПКМ; $K_{\text{сл}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение сложности собственно конструкции ПКМ; K_a – коэффициент, учитывающий повышение уровня автоматизации технологических процессов изготовления деталей из ПКМ.

Значение $K_{\text{ксл}}$ определялось экспертно в зависимости от группы конструктивной сложности детали из ПКМ (табл. 1, нумерация групп прямо пропорциональна сложности деталей, от наипростейших в группе под номером 1 и самых сложных в группе под номером 6).

Таблица 1
Характеристика групп конструктивной сложности деталей из ПКМ

№ гр.	Характеристика группы
1.	Плоские монолитные детали из ПКМ с небольшим морем, выступами, с небольшой кривизной
2.	Монолитные незамкнутые кольцевые (секторные) оболочки с поверхностями второго порядка
3.	Монолитные детали сложной формы, представляющие набор оболочек второго порядка
4.	Кольцевые сэндвич-панели, корпуса с поверхностями второго порядка, имеющие элементы повышения жесткости
5.	Незамкнутые кольцевые сэндвич-панели, имеющие поверхности второго порядка
6.	Незамкнутые кольцевые, секторные панели, детали сложной формы, представляющие набор оболочек второго порядка

Коэффициент сложности собственной конструкции ($K_{\text{сл}}$) ПКМ определяется по формуле

$$K_{\text{сл}} = K_{\text{ус}} \cdot K_{\text{сот.эл.}} \cdot K_{\text{накл.эл.}}$$

где $K_{\text{ус}}$ – коэффициент усиления собственно конструкции ПКМ; $K_{\text{сот.эл.}}$ – коэффициент наличия сотовых пакетов в ПКМ; $K_{\text{накл.эл.}}$ – коэффициент, учитывающий наличие накладных элементов в ПКМ.

Коэффициент, отражающий усиление конструкции ($K_{\text{ус}}$), определяется по формуле

$$K_{\text{ус}} = \frac{S_{\text{осн.сл.}}^{\text{выкл.}} N_{\text{осн.сл.}} + S_{\text{доп.сл.}}^{\text{выкл.}} N_{\text{доп.сл.}}}{S_{\text{осн.сл.}}^{\text{выкл.}} N_{\text{осн.сл.}}}$$

где $S_{\text{осн.сл.}}^{\text{выкл.}}$ – площадь выкладки основных слоев; $N_{\text{осн.сл.}}$ – количество основных слоев; $S_{\text{доп.сл.}}^{\text{выкл.}}$ – площадь выкладки дополнительных слоев; $N_{\text{доп.сл.}}$ – количество дополнительных слоев. Все значения взяты из конструкторской документации ДСЕ узлов мотогондолы.

Коэффициент наличия сотовых пакетов определяется по формуле

$$K_{\text{сот.эл.}} = \frac{S_{\text{дет.}} + S_{\text{сотопак}} N_{\text{сот.}}}{S_{\text{дет.}}}$$

где $S_{\text{сотопак}}$ – площадь сотовых пакетов; $N_{\text{сот.}}$ – количество рядов сотовых пакетов; $S_{\text{дет.}}$ – площадь детали. Все значения взяты из конструкторской документации ДСЕ узлов мотогондолы.

Коэффициент, учитывающий наличие накладных элементов, определяется по формуле

$$K_{\text{накл.эл.}} = \frac{S_{\text{дет.}} + S_{\text{накл.}} N_{\text{накл.}}}{S_{\text{дет.}}}$$

где $S_{\text{накл.}}$ – площадь накладных элементов; $N_{\text{накл.}}$ – количество накладных элементов. Все значения взяты из конструкторской документации ДСЕ узлов мотогондолы.

Коэффициент, учитывающий повышение уровня автоматизации технологических процессов изготовления изделий из ПКМ $K_{\text{а}}$, принят за единицу.

Моделированию предшествовала проверка качества информации. К исходным данным предъявлялись следующие требования: сопоставимость, однородность, устойчивость (табл. 2).

Таблица 2
Проверка качества информации

Требования к информации	Обеспечение требований
Сопоставимость	Все показатели, использованные в моделях, принадлежат к однородным объектам, при расчетах использовался единый инструментарий (редактор электронных таблиц Microsoft Excel).
Однородность (на отсутствие аномальных значений)	Все значения рядов прошли проверку на принадлежность к интервалу ($\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma$), где \bar{x} – среднее, σ – стандартное отклонение
Устойчивость	Предварительно визуальный анализ графиков показал преобладание закономерности над случайностью в изменениях наблюдений, т.е. наличие связи прогнозируемого показателя с независимыми факторами.

Все условия для проверки качества информации соблюдены. Это свидетельствует о том, что выбранные показатели в дальнейшем могут быть использованы для построения экономико-математической модели.

Основными факторами, влияющими на трудоемкость изготовления конструкций и материалов деталей из ПКМ, являются площадь выкладываемой поверхности с учетом количества основных слоев ($S_{\text{осн.слоев}}^{\text{выкл.}}$) и площадь наружной поверхности детали ($S_{\text{дет.}}$).

Базовая трудоемкость 1 мм² площади выкладываемой поверхности с учетом количества основных слоев является отражением затрат труда на саму структуру конструкций ПКМ и определяется как

$$X_{\text{база } i} = \frac{T_{\text{база } i}}{S_{\text{осн.слоев}}^{\text{выкл.}}}$$

Функциональная зависимость базовой трудоемкости 1 мм² площади выкладываемой поверхности с учетом количества основных слоев

($X_{\text{база}i}$) от площади наружной поверхности детали представленных классов конструкций заготовки ($S_{\text{дет}}$) также определяет критерий новизны настоящей публикации:

$$X_{\text{база}i} = f(S_{\text{дет}}).$$

В рамках построения регрессии был проведен графический анализ (рис. 3, 4) $X_{\text{база}i}$ и площади наружной поверхности ДСЕ узлов мотогондолы, выбранных для построения модели в зависимости от класса конструкции заготовки.

На рис. 3, 4 явно прослеживается гиперболическая связь, возможно функция полинома первой, второй степени, логарифмической и показательной функций. Для проверки значимости данной комбинации функций от переменной $S_{\text{дет}}$, эта комбинация была изначально добавлена как факторы в регрессии двух классов узлов ДСЕ мотогондолы (табл. 3). Все факторы про-

шли проверку по t -критерий Стьюдента с 5-процентной вероятностью.

Процедура отбора факторов в уравнение представляла собой шаговую регрессию. Сущность метода шаговой регрессии заключается в последовательном исключении факторов из уравнения регрессии, если факторы при проверке их значимости оказывались незначимыми. Первыми из регрессии удаляются те переменные, абсолютные критическое значение t -Стьюдента которых намного меньше критического, и так по очереди все остальные. В результате применения метода пошаговой регрессии остались переменные, которые оказались значимыми. Таким образом, в табл. 4 представлены регрессионные модели, которые реализованы с помощью табличного процессора Microsoft Excel, имеющего в своем распоряжении необходимые функции и механизмы.

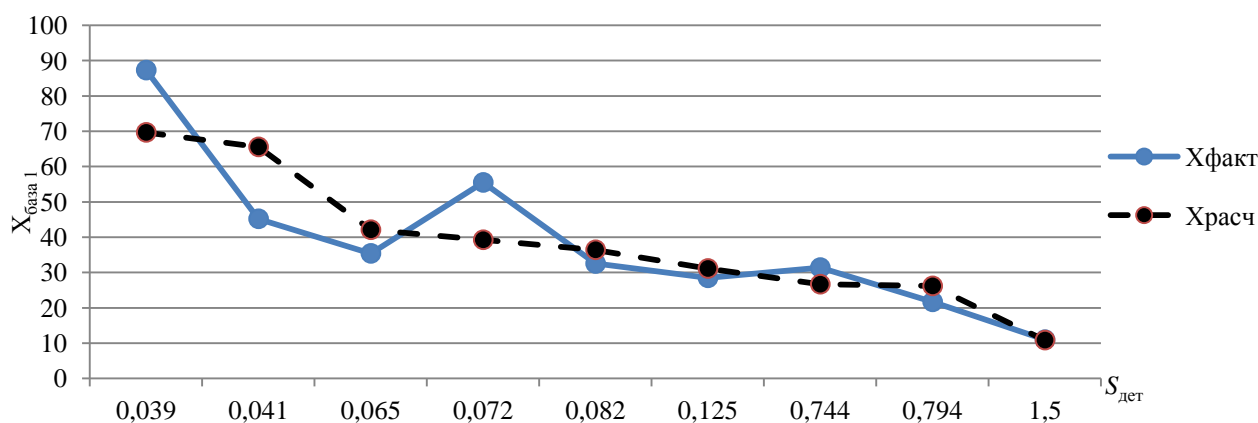


Рис. 3. График базовой трудоемкости 1 мм площади выкладываемой поверхности с учетом количества основных слоев от площади наружной поверхности детали ДСЕ 1 класса

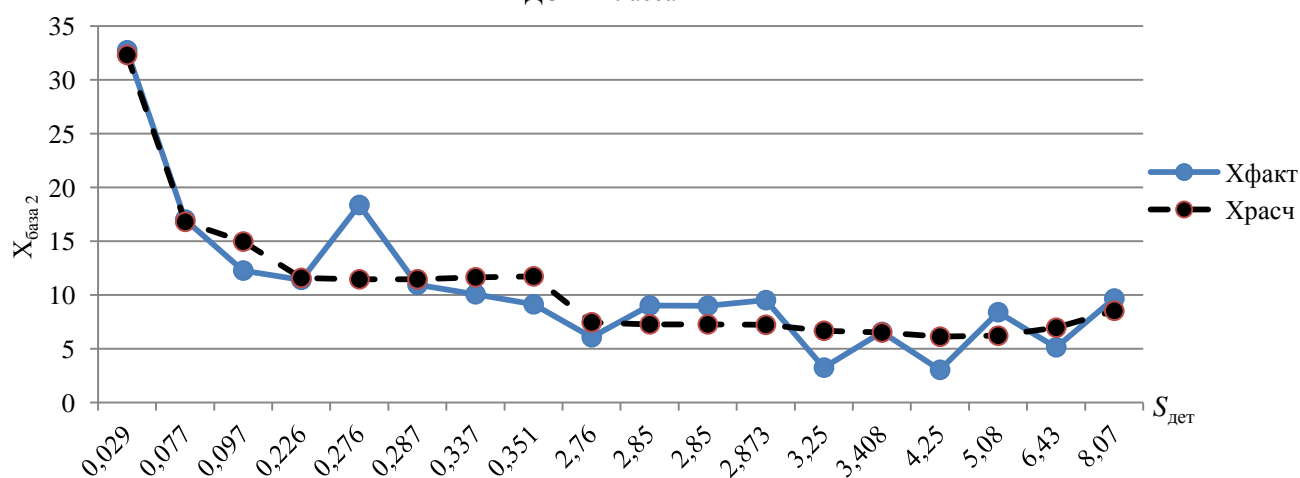


Рис. 4. График базовой трудоемкости 1 мм площади выкладываемой поверхности с учетом количества основных слоев от площади наружной поверхности детали ДСЕ 2 класса

Таблица 3
Проверка значимости переменных регрессии

Показатели значимости	Переменные регрессий	Комбинация функций до применения метода пошаговой регрессии		Комбинация функций, после применения метода пошаговой регрессии	
		1 класс	2 класс	1 класс	2 класс
t-Стюдента при переменных регрессии	$\frac{1}{S_{дет}}$	0,52	0,73	—	6,48
	$\frac{1}{S_{дет}^2}$	0,67	0,22	2,27	—
	$S_{дет}$	0,95	0,74	2,23	—
	$S_{дет}^2$	-0,16	0,66	-2,21	2,102
	$e^{-S_{дет}}$	0,51	0,51	2,29	2,101
	$\frac{1}{ \ln S_{дет} }$	-0,91	1,43	—	4,54
t критическое		2,26	2,10	2,26	2,10

Значимость связи была проверена на основе показателей качества подбора уравнения (в случае сравнения нормативно-расчетной с трудоемкостью, рассчитанной по экономико-математической модели) и на основе показателей тесноты связи (в случае сравнения экспертно-технологической с трудоемкостью, рассчитанной по экономико-математической модели) в сравнении с критическими значениями (табл. 5).

Для оценки качества (точности) зависимостей рассмотрен коэффициент детерминации R^2 . Достаточно тесная связь наблюдается при условии, что коэффициент детерминации больше 0,8 [5, 6]. Фактическое значение F -критерия Фишера сравнивается с критическим табличным значением $F_{крит.}(\alpha, k_1, k_2)$ при заданном уровне значимости α и степенях свободы $k_1=m$ и $k_2=n-m-1$

(n – число наблюдений, m – число параметров при переменных регрессии). Фактическое значение F -критерия больше табличного $F_{факт} > F_{крит.}$. Таким образом, признается статистическая значимость зависимости в целом [5, 6]. Все значения показателей качества связи больше критических, что свидетельствует о статистической значимости полученных зависимостей.

Качество зависимости нормативно-расчетной трудоемкости ($T_{норм-расч.}$) и трудоемкости рассчитанной по модели ($T_{з.пкм}$), оценивалось с помощью средней ошибки абсолютной аппроксимации (A):

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|T_{з.пкм} - T_{норм-расч.}|}{T_{з.пкм}} \times 100\%.$$

Качество зависимости экспертно-технологической трудоемкости ($T_{эсп.-технол.}$) и трудоемкости, рассчитанной по экономико-математической модели ($T_{з.пкм}$), оценивалось с помощью среднего абсолютного отклонения (Δ):

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|T_{з.пкм} - T_{эсп.-технол.}|}{T_{з.пкм}} \times 100\%.$$

Объективность, погрешность расчетов, получаемых методами укрупненного определения трудоемкости, должны быть в допустимых пределах (см. табл. 6) [7]. Погрешности A и Δ не превышают 20%, таким образом, можно сделать вывод о достоверности применяемого метода расчета.

Таблица 4
Значения трудоемкости изготовления детали из ПКМ соответствующего класса

Название класса	Трудоемкость изготовления изделия, $T_{база}$, н.-ч.
конструкции без усиливающих и сотовых элементов ($i=1$)	$T_{база1} = X_{база1} \cdot S_{осн.слов}^{выкл} = \left(\frac{0,066}{S_{дет}^2} + 34,63 \cdot S_{дет} - 20,853 \cdot S_{дет}^2 + \frac{25,93}{e^{S_{дет}}} \right) \cdot S_{осн.слов}^{выкл}$
конструкции с усиливающими и сотовыми элементами ($i=2$)	$T_{база2} = X_{база2} \cdot S_{осн.слов}^{выкл} = \left(\frac{0,743}{S_{дет}} + 0,083 \cdot S_{дет}^2 + \frac{5,061}{e^{S_{дет}}} + \frac{6,328}{ \ln(S_{дет}) } \right) \cdot S_{осн.слов}^{выкл}$

Таблица 5

Показатели качества выбора формы связи

Показатели трудоемкости	Коэффициент детерминации, R^2		Критерий Фишера, F		Средняя ошибка аппроксимации A, %		Среднее абсолютное отклонение Δ , %	
	Расчетное	Критическое	Расчетное	Критическое	Расчетное	Критическое	Расчетное	Критическое
ДСЕ без усиливающих и сотовых элементов								
$\Sigma T_{норм.-расч.}$	0,97	0,8	18,6	7,71	15,0	20,0	-	-
$\Sigma T_{эсп.-технол.}$	0,99		534	5,59	-	-	17,2	20,0
ДСЕ с усиливающими и сотовыми элементами								
$\Sigma T_{норм.-расч.}$	0,96	0,8	87,5	3,18	17,5	20,0	-	-
$\Sigma T_{эсп.-технол.}$	0,97		479	3,01	-	-	19,5	20,0

Таблица 6
Допускаемая погрешность укрупненного расчета
трудоемкости в зависимости от типа
производства

Предполагаемое производство	Допускаемая погрешность, (\pm)%
Массовое	10,0
Крупносерийное	15,0
Среднесерийное	20,0

Построенная модель адекватна; таким образом, можно утверждать, что при сохранении сложившихся закономерностей функционирования изучаемой системы прогнозируемая величина (трудоемкость, рассчитанная по экономико-математической модели) достаточно точно описывает значения трудоемкостей, рассчитанных по модели для ДСЕ из ПКМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Грамотное системное применение средств автоматизации инженерно-технических работ, обеспечивающее оптимальное взаимодействие людей, машинных программ и технических средств автоматизации при выполнении функций технологической подготовки производства (АСТПП), обеспечит непрерывное совершенствование технических характеристик изделий. Применение математического обеспечения, в частности математических методов и моделей, делает возможным поэтапно решать поставленные задачи в АСТПП. А применение ПКМ позволяет уменьшить массу конструкций изделия, повысить коррозионную стойкость и стойкость к воздействию неблагоприятных климатических факторов, продлить межремонтные сроки, выполнять ремонт и усиление конструкций с минимальными затратами ресурсов и времени. Все это в совокупности приводит к увеличению эффективности управления и, как следствие, благоприятно отразится на конкурентоспособности изделия и позволит провести максимальную интеграцию отечественной авиационной промышленности в мировой рынок в области продаж и производственной кооперации, обеспечит движение необходимых масштабов производства, формирование недостающих компетенций, гибкость и устойчивость к рискам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 14.201.** Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования. URL: <http://www.opengost.ru> (дата обращения 22.04.2014). [[*Providing technological effectiveness of design products. General requirements*, (in Russian), Federal standard]].
2. **ГОСТ Р 50-54-86-88.** Автоматизированная система технологической подготовки производства. Состав и порядок разработки. М., 1988. URL: <http://www.opengost.ru> (дата обращения 22.04.2014). [[*The automated system of technological preparation of production. Composition and development*, Federal standard, (in Russian). Moscow, 1988.]]
3. **Селиванов С. Г., Гузаиров М. Б.** Системотехника инновационной подготовки производства в машиностроении. М.: Машиностроение, 2012. 132 с. [[S. G. Selivanov, M. B. Guzairov, *Systems engineering innovative pre-production in mechanical engineering*, (in Russian). Moscow: Mashinostroeniye, 2012.]]
4. **Кузнецова К. С., Селиванов С. Г.** Экспертно-логический метод оптимизации предварительных проектов технологической документации // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, №1(46). С.81–87. [[К. S.Kuznetsova, S. G. Selivanov, "Expert-logical method optimization preliminary drafts of technical documentation," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 1 (46), pp. 81-87, 2012.]]
5. **Елисеева И. И., Курышева С. В., Костеева Т. В., Бабаева И. В., Михайлов Б. А.** Эконометрика. М.: Проспект, 2010. [[I. I. Yeliseyeva, S. V. Kuryшева, T. V. Kosteyeva, I. V. Babayeva, B. A. Mikhaylov, *Econometrics*, (in Russian). Moscow: Prospekt, 2010.]]
6. **Елисеева И. И., Курышева С. В., Гордиенко Н. М., Костеева Т. В., Бабаева И. В., Михайлов Б. А.** Практикум по эконометрике: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 187 с. [[I. I. Yeliseyeva, S. V. Kuryшева, N. M. Gordiyenko, T. V. Kosteyeva, I. V. Babayeva, B. A. Mikhaylov, *Workshop on Econometrics*, (in Russian). Moscow: Finansy i statistika, 2003.]]
7. **Амиров Ю. Д., Алферова Т. К.** Технологичность конструкции изделия. М.: Машиностроение, 1990. 132 с. [[Y. U. D. Amirov, T. K. Alferova, *Technological effectiveness of product design*, (in Russian). Moscow: Mashinostroeniye, 1990.]]

ОБ АВТОРАХ

ЮРЬЕВ Виктор Леонидович, проф. каф. Технологии машиностроения. Дипл. инж. (УГАТУ, 1973). Д-р техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. комплексной технологии сложнофазонных деталей ГТД.

ИРКАБАЕВ Ирик Мигранович, вед. инж.-технол. Дипл. инж. (УГАТУ, 1976).

СУХОВА Надежда Александровна, доц. каф. экономики предпринимательства. Дипл. экон.-менедж. (УГАТУ, 2009). Канд. техн. наук. (УГАТУ, 2005). Иссл. в обл. технологии ионно-плазменного насаждения и термической обработки многослойных покрытий.

КАДЫРОВА Жанна Минифануровна, асп. каф. технологии машиностроения. Дипл. экон.-мат. (БашГУ, 2009). Готовит дис. о моделях трудоемкости изготовления авиационных гражданских ГТД в условиях кооперации.

METADATA

Title: Forecasting model the complexity of manufacturing nacelles civil Aviation gas turbine engine in CAM.

Authors: ¹ V. L. Yuriev, ² I. M. Irkabaev, ³ N. A. Sukhova, ⁴ Zh. M. Kadyrova.

Affiliation:

¹⁻⁴ Institute of Technology and the organization of production (NIIT), Russia.

^{1,3,4} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ⁴ prep08@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 19, no. 1 (67), pp. 37-44, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: As part of the development of a methodology of determining the complexity of producing Aviation gas turbine engine in cooperation mathematical model determining the complexity of manufacturing parts and assembly units of polymeric composite materials Aviation gas turbine engine nacelle.

Key words: competitiveness; technological forecasting; CAM; mathematical modeling; labor input; Polymer composite materials.

About authors:

YURIEV, Viktor Leonidovich, Prof., Dept. of Mechanical Engineering. Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2000).

IRKABAEV, Irik Migranovich, leading engineer-tehnol. (UGATU, 1976).

SUKHOVA, Nadezhda Aleksandrovna, assis Prof., Dept. of Business Economics, candidate of Tech. Sci. (UGATU, 2005).

KADYROVA, Zhanna Minifanurovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. of Mechanical Engineering. Master of Mathematical Methods & Economics (BashGU, 2009).