

## ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ ЛОПАТОК НА ОСНОВЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

© 2017 Ковалькова Е.А.<sup>1,2</sup>, Мешков А.А.<sup>1</sup>, Хаймович И. Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. ак. С.П. Королева  
г.Самара, Россия

<sup>2</sup>ЧОУ ВО Международный институт рынка, г.Самара, Россия

В современном мире конкурентоспособность является одной из главных характеристик системы оценки качества продукции, и любое предприятие стремится повысить этот показатель эффективности работы. Для оценки конкурентоспособности лопаток, изготовленных с использованием нового инновационного процесса инъекционного литья из полимерных композиционных материалов, воспользуемся функцией спроса. На основе экспериментальных данных вычисляются технологическая и конструкторская составляющие системы оценки качества, с помощью которых впоследствии будет найдена оценка конкурентоспособности продукции.

Ключевые слова: инъекционное литье, оценка качества, спрос, система оценки качества.

При разработке моделей системы оценки качества (СОК) лопаток ГТД центральное место занимает формирование номенклатуры показателей качества (ПК). Обоснование проводится на основе следующих показателей: назначение и условия использования продукции; анализ требований потребителей; задачи управления качеством продукции; основные требования к ПК. При этом одной из важнейших задач в процессе формирования номенклатуры ПК является выбор базовых показателей, т.е. выбор функционального эталонного образца, базовое значение которого принято за основу при сравнительной оценке. От того, какой эталон выбран за базу, зависит эффективность оценки и направление повышения качества. Методика формирования номенклатуры ПК продукции обязательно должна связать понятия спроса и качества [1-3].

Основными несоответствиями номенклатуры ПК следует считать: недостаточную полноту, противоречивость отдельных показателей качества, содержание ошибочных ПК, отсутствие актуализации.

Для выявления более важных для потребителя свойств с целью повышения конкурентоспособности продукта предложена матрица предпочтений, основывающаяся на синтезе интегральной модели товара и квалиметрическом подходе

к описанию номенклатуры свойств. Выявление и кластеризация основных свойств продукта и услуги подробно рассмотрена в статьях [4-7].

Для выбора оптимальной технологии для формирования свойств новой продукции предложена математическая модель, основанная на квалиметрической оценке качества, прогнозе конкурентоспособности и методов линейного программирования. Критерием оптимальности выбора сочетания ПК является максимальный спрос на лопатки ГТД. Спрос – это количественная оценка конкурентоспособности, которая зависит от доли рынка:

$$Q = (K, Q_0, P),$$

где  $P$  – доля рынка,  $Q_0$  – спрос по базовому образцу,  $K$  – конкурентоспособность продукции.

Оценка качества может описываться следующей зависимостью:

$$K = f(U, U_c, C, Z_s), \quad (1)$$

где  $U$  – комплексная оценка качества продукции,  $U_c$  – комплексная оценка качества сервисных услуг,  $C$  – цена продукции,  $Z_s$  – затраты на эксплуатацию.

При расчете конкурентоспособности применим метод среднearифметической взвешенной свертки, предложенный Р.А.

Файхутдиновым. Он основан на следующей связи:

$$K = 4U + 3C + 2U_c + Z_э,$$

Показатель качества продукции состоит из показателя конструкции и показателя технологии

$$U = \xi_1 \cdot q_k + \xi_2 \cdot q_m, \quad (2)$$

где  $\xi_i$  – коэффициент весомости  $i$  – того показателя (экспертная оценка);

$q_m$  – технологический показатель,  $q_k$  – конструкторский показатель.

Оценка конструкции по инновациям  $q_k$  рассчитывается как свертка в соответствии с дихотомическим деревом (рис.1):  $q_k = \|a_{ij}\|$ .

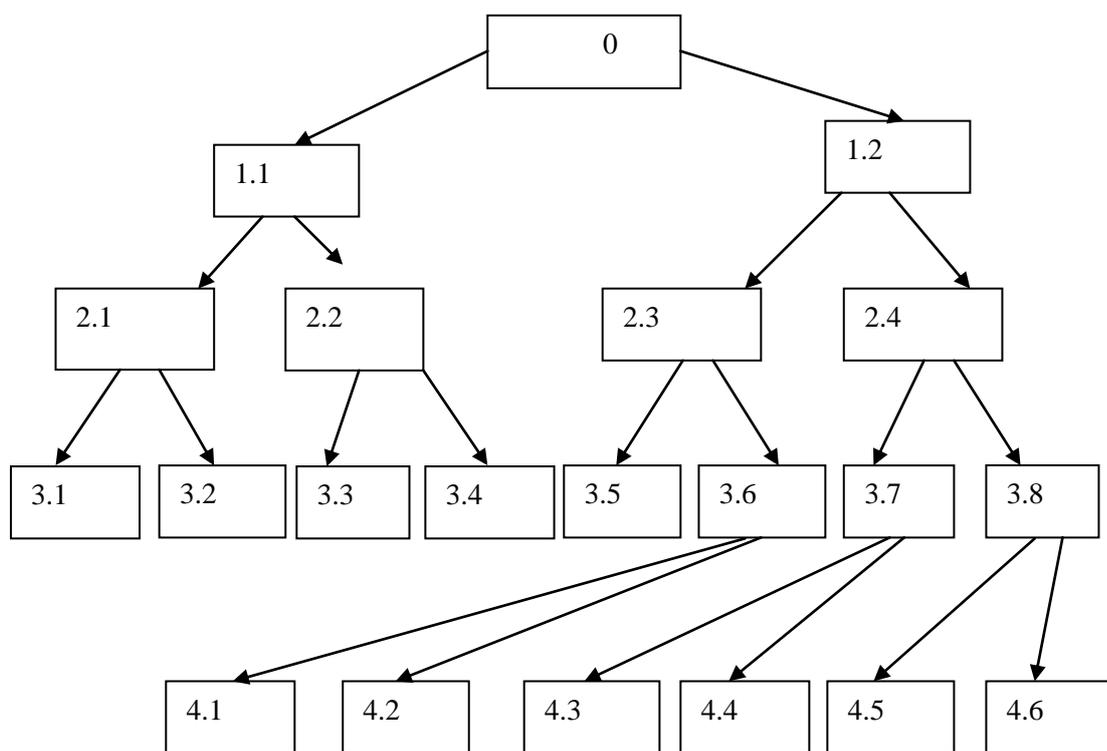


Рисунок 1- Дихотомическое дерево оценки качества

Оценка критериев производится по 5-балльной шкале. В матрице свертки

(рис.2) элементы имеют вид:  $a_{ij} = \frac{\text{уровень}}{\text{степень}}$

$a_{4j}$			$a_{ij}$
		$a_{33}$	
	$a_{22}$		
$a_{11}$			$a_T$

Рисунок 2 – Общий вид матрицы свертки

В качестве математической модели инноваций можно использовать следующую качественную оценку конструкции на основе модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} K^{\text{int}}(\bar{\varphi}) = K^{\text{int}}_1 \cdot \varphi_1 + K^{\text{int}}_2 \cdot \varphi_2 + \dots + K^{\text{int}}_N \cdot \varphi_N \rightarrow \max \\ \varphi_n \in \{0,1\}, n \subseteq [1\dots N], \\ K^{\text{int}}_N = f(K^{\text{int}}_{1,1}, K^{\text{int}}_{1,2}, K^{\text{int}}_{n,q}, \dots, K^{\text{int}}_{4,6}), n \subseteq [1\dots N] \\ K^{\text{int}}_{3g} \geq f_3^{-1}(K^{\text{int}}_{\text{fix}}), n \subseteq [1\dots N] \\ K^{\text{int}}_{4g} \geq f_4^{-1}(K^{\text{int}}_{\text{fix}}), n \subseteq [1\dots N] \\ T_n \leq T_{\text{fix}}, n \subseteq [1\dots N] \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $K^{\text{int}}$  – агрегированная оценка по интегральному критерию «уровень конструкции по инновациям»,  $\varphi_n$  – весовой коэффициент, который принимает два значения 0 и 1 (0 – инновации есть, 1 – инноваций нет);  $K^{\text{int}}_{n,q}$  – частный критерий (n – уровень критерия в дихотомическом дереве, q – порядковый номер критерия),  $K^{\text{int}}_N$  – агрегированная оценка по интегральному критерию «уровень конструкции по инновациям»,

соответствующего n-ой технологии;  $K^{\text{int}}_{\text{fix}}$  – заданная величина агрегированного показателя, как правило, его минимальный допустимый уровень;  $T_n$  – срок реализации n-ого вида конструкции, который должен быть не больше заданного фиксированного срока  $T_{\text{fix}}$ .

Оценка развития организационно-технологической деятельности с учетом базовых факторов в конструкторской службе показана в таблице 2.

Таблица 2 – Критерии оценки конструкции

N критерия	Описание
0	Уровень инноваций в конструкции
1.1	Степень соответствия конструкции потребностям рынка по параметру «надежность»
1.2	Уровень развития научно-технической деятельности
2.1	Уровень развития конструкции
2.2	Степень новизны конструкции
2.3	Уровень организационно-технической поддержки научно-технической деятельности
2.4	Уровень организации процесса создания конструкции
3.1	Уровень изменения параметров геометрии в старой конструкции
3.2	Степень изменения формы геометрии в старой конструкции
3.3	Уровень использования нового материала в конструкции
3.4	Степень использования новых элементов в конструкции
3.5	Уровень информированности о компетенции источника конструкции
3.6	Уровень развития организационно-консалтинговой деятельности
3.7	Компетенция разработчиков
3.8	Уровень развития технической базы
4.1	Уровень развития информационно-консалтинговых услуг
4.2	Качество менеджмента
4.3	Опыт работы в области создания конструкции
4.4	Квалификация
4.5	Степень соответствия ТБ потребностям конструкторов
4.6	Новизна систем и программ

Технологический показатель можно определить как функцию качества технологических процессов. На сегодняшний день инновационным процессом получения компрессорных лопаток ГТД является процесс инжекционного литья из полимерных композиционных материалов. Для его оценки может использоваться следующая функция с параметрами из таблицы 3:

$$q_t^i = f(p_1, p_2, v_{vp}, t_{pp}, t_{sp}, t_{ci}, V_{om}, \sigma_{sp}, \sigma_{otkl}), \quad (4)$$

где  $i$  – номер режима обработки, остальные параметры описаны в табл.3.

Из всех показателей в формуле (2) для выбора оптимального режима обработки может использоваться средняя прочность

изделия  $\sigma_{sp}$  и стандартное отклонение полученного изделия от идеального образца

$\sigma_{otkl}$ .

В итоге для каждого технологического режима показатель качества технологии может быть рассчитан по формуле:

$$q_t^i = \xi_1 \frac{\sigma_{sp}^i}{\sigma_{max}^{sp}} + \xi_2 \frac{\sigma_{otkl}^i}{\sigma_{min}^{otkl}}. \quad (5)$$

Итоговое значение показателя технологии

для формулы (2) будет:  $q_t = opt\{q_t^i\} = 1$ .

Рассмотрим определение параметра качества технологии экспериментально по 12 режимам.

На первом этапе экспериментально выбирался оптимальный режим инжекционного литья. Под оптимальным понимается такой режим, который обеспечивает наибольшее значение механических характеристик при минимуме их случайного разброса. Общее количество исследуемых режимов – 12. Режимы отличаются скоростью впрыска, давлением и температурой на шнеке, давлением подпрессовки и относительным объемом впрыска. Каждому режиму литья ставится в соответствие номер пластины. Из каждой пластины вырезается 5 образцов. Затем 4 из 5 образцов испытываются стандартно на растяжение с монотонным нагружением вплоть до разрушения, оставшийся – на повреждаемость согласно программе обработки. В таблице 3 представлено краткое описание режимов литья, а также приведены статистические данные по прочности образцов, получаемых для каждого из 12 режимов. В таблице 4 показан расчет показателя качества технологии по каждому режиму.

Таблица 3 – Рассматриваемые режимы инжекционного литья

№ режима	Давление на шнеке, атм.	Давление подпрессовки, атм.	Скорость впрыска	Время подпрессовки, с.	Температура на шнеке, С	Время цикла, с.	Относительный объем впрыска	Средняя прочность, МПа	Ст. откл. МПа
1	1500	1500	50	30	370	120	60	200.95	50.43
2	1500	1500	30	30	360	120	60	204.29	40.18
3	1500	1500	20	30	360	120	60	218.84	28.63
4	1500	1500	10	30	340	120	60	226.12	21.56
5	1500	1500	7	30	340	120	60	228.69	16.22
6	1500	1500	15	30	340	120	60	213.29	28.71
7	1500	1500	15	30	345	120	60	207.34	31.19
8	1000	1000	15	30	345	120	60	204.64	34.86
9	1000	1000	15	30	350	120	80	174.90	36.93
10	1000	1000	15	30	350	120	80	190.50	29.31
11	1000	1500	15	30	350	120	70	195.89	36.19
12	1000	1500	15	30	350	120	70	208.43	31.04

Таблица 4 – Рассматриваемые режимы инъекционного литья с использованием показателя качества технологии

Средняя прочность, МПа	Ст. отклонение, Мпа	Показатель качества технологии
200,95	50,43	1,993912
204,29	40,18	1,685247
218,84	28,63	1,361017
226,12	21,56	1,158993
228,69	16,22	1
213,29	28,71	1,351348
207,34	31,19	1,414788
204,64	34,86	1,522017
174,9	36,93	1,520805
190,5	29,31	1,320017
195,89	36,19	1,543885
208,43	31,04	1,412548

Исходя из полученных данных, определим лучший режим обработки для компрессорной лопатки – 5 режим, который имеет показатель качества 1.

В результате проведенных исследований было выявлено, что наибольшей прочностью и жесткостью обладают образцы, вырезанные из пятой пластины, а наименьшей – из девятой.

Испытаниями на повреждаемость было также установлено, что в целом, независимо от режима (за исключением 12-го) материал демонстрирует стойкость и сопротивляемость к накоплению и развитию в нем повреждений. Падение секущего модуля упругости при уровне нагрузки 90 % от номинального предела прочности не превышало 0.81 %. Появление остаточных деформаций наблюдалось, как правило, при

уровне нагрузки не менее 70 % от номинального предела прочности.

В итоге для оценки конкурентоспособности лопаток, изготовленных из ПКМ, можно использовать модель, включающую оценки качества технологии и качества конструкции с учетом инновационных технологических процессов, например инъекционного литья из ПКМ. Варьирование параметров средней прочности и среднего отклонения позволяет определить комплексный показатель качества инновационных технологических процессов. Для определения этих параметров можно использовать информационные системы и методы математического моделирования, как в работах [8,9].

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хаймович И.Н. Применение методологии SADT при моделировании бизнес-процессов технологической подготовки производства машиностроительного предприятия//Известия Самарского научного центра Российской академии наук.2008.Т.10.№ 3.С.933-939.
2. Чумак В.Г., Хаймович И.Н., Хаймович А.И. Разработка системы оценки уровня автоматизации документооборота на промышленных предприятиях//Вестник Самарского муниципального института управления. 2016. № 3. С.46-53.
3. Ковалькова Е.А., Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования документоориентированных процессов конструкторско-технологической подготовки производства//Вестник Международного института рынка. 2016 №1. С.199-205.

4. Хаймович И.Н. Дровянников В.И., Чумак В.Г. Математический аппарат для выбора стратегии вуза в конкурентной среде. - Научное обозрение, №4, 2012 – С.388-392.
5. Дровянников В.И., Хаймович И.Н. Моделирование конкурентного взаимодействия на рынке образовательных услуг//Вестник Самарского государственного экономического университета.2010. №1(63). С.23-27.
6. Китаев Д.Ф., Макаров А.А., Макарова Л.В., Смольников С.Д. Информационная система для разработки имитационной модели оценки коллектива//Вестник Международного института рынка. 2016 №1. С.190-198.
7. Китаев Д.Ф., Макаров А.А., Смольников С.Д. Идентификация параметров модели группового обучения//Вестник международного института рынка. 2016 Т.1.№2.С.148-151
8. Ковалькова Е.А. Анализ информационных стандартов деятельности предприятия//Вестник Международного института рынка. 2016 Т.1.№2.152-157.
9. Дровянников В.И., Хаймович И.Н. Особенности интеграции экономико-математического инструментария в информационную систему вуза//Вестник Самарского государственного экономического университета. 2010. №12 (74), С.17-20.

## **COMPETITIVENESS ASSESSMENT OF COMPRESSOR BLADES BASED ON QUALITY FUNCTION**

© Irina N. Khaimovich <sup>1,2</sup>, Ekaterina A. Kovalkova<sup>1,2</sup>, <sup>1</sup> Artem A Meshkov <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Samara National Research University, Samara, Russia

<sup>2</sup>International Market Institute, Samara, Russia

In the modern world, competitiveness is one of the main characteristics of a system for assessing the product quality, and any enterprise seeks to increase this indicator of performance. To assess the competitiveness of the blades manufactured using a new innovative injection molding process from polymer composite materials the authors used the demand function. Based on the experimental data, the authors calculated the technological and design components of the quality assessment system, with the help of which an evaluation of the product competitiveness will be subsequently determined.

Keywords: injection molding, quality assessment, demand, quality assessment system.