

## СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

*А.Л. Галиновский*, зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук, д-р. пед. наук, профессор, [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

*К.С. Самсонов*, студ. МГТУ им. Н.Э. Баумана, [sams1@bk.ru](mailto:sams1@bk.ru)

*А.В. Севрюкова*, студ. МГТУ им. Н.Э. Баумана, [alexandra.sevryukova@gmail.com](mailto:alexandra.sevryukova@gmail.com)

*А.Р. Салахатдинова*, асп. МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В работе детально рассматривается сравнение инновационных методов диагностики и контроля качества конструкционной керамики. Сравнение осуществляется методом экспертного оценивания с подробным рассмотрением всех этапов проведения экспертизы. Разработаны условия получения результатов, найдено необходимое число экспертов в рабочей группе, определены весовые коэффициенты, рассчитаны меры надежности и интервалы доверительных оценок. Для обработки результатов используется ранжирование взвешенной суммы по всем методам для каждого эксперта, проверка достоверности основывается на расчете коэффициента конкордации Кендалла.*

**Ключевые слова:** метод, диагностика, экспертиза, конструкционная керамика, контроль качества, экспертное оценивание.

## COMPARISON OF DIFFERENT METHODS OF CONTROL AND DIAGNOSTICS OF THE QUALITY OF THE CERAMICS BY THE METHOD OF EXPERT ESTIMATION

*A.L. Galinovskiy*, Head of Department, Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. of Engineering, Ph.D. of Education, Professor, [galcomputer@mail.ru](mailto:galcomputer@mail.ru)

*K.S. Samsonov*, Student, Bauman Moscow State Technical University, [sams1@bk.ru](mailto:sams1@bk.ru)

*A.V. Sevryukova*, Student, Bauman Moscow State Technical University, [alexandra.sevryukova@gmail.com](mailto:alexandra.sevryukova@gmail.com)

*A.R. Salahetdinova*, Postgraduate, Bauman Moscow State Technical University

*The work considers in detail the comparison of innovative methods of diagnostics and quality control of structural ceramics. The comparison is performed by the method of expert assessment focusing on all stages of the examination. Developed terms of getting results, found the required number of experts in the working group, defined the weighting factors, calculated measures of reliability and intervals of confidence estimates. For processing the results, we use the ranking of the weighted sum of all methods for each of the expert, validation is based on the calculation of coefficient of concordance Kendall.*

**Keywords:** method, diagnosis, examination, structural ceramics, quality control, expert evaluation.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана выполнена инициативная научно-исследовательская работа по разработке новых методов контроля и диагностики качества конструкционной керамики (КК). На сегодняшний день известно несколько видов технологического воздействия как средства получения диагностической информации об объекте воздействия. Многовариантный характер видов воздействий обуславливает необходимость применения на начальном этапе исследований методов теории принятия решений, в частности метода экспертного оценивания.

В основе метода экспертного оценивания (ЭО) лежит процедура формирования взвешенного решения недостаточно четко формализованных задач [1], которые ставятся перед экспертами-специалистами в виде набора вопросов – анкет. Другими словами экспертные методы используют, главным образом, в тех случаях, когда квантификация (т.е. количественное выражение) какого-либо свойства невозможна другим способом или вызывает затруднение получения достоверных данных путем физических или статистических измерений искомой величины.

Методы ЭО получили широкое распространение в квалиметрии наряду с непосредственным измерением свойств объектов в натуральных единицах физических величин. Данный метод позволяют принимать решения и делать выводы по различным аспектам. Популярность данной методики обуславливается несколькими моментами. Первым является возможность получения количественных показателей при использовании на входе качественных данных. Вторым моментом – возможность получения оценок на основе анализа множественных факторов, которые очень сложно оценить математически. Третьим моментом является простота методики по сравнению с созданием экономико-математических моделей для принятия решения. Процедура проведения ЭО получила широкое развитие, хорошо обоснована и максимально формализована [1]. Кроме того, хорошо разработан математический аппарат оценки точности определения экспертных оценок, в том числе на базе современного представления о распределении мнений экспертов.

В целом, классическая методика проведения экспертизы состоит из следующих основных этапов:

I этап – разработка условий получения экспертных оценок, включающий создание рабочей группы, определение численности экспертов и требований к их квалификации;

II этап – основной этап, включающий:

- создание экспертной группы;
- ориентировку экспертов;
- определение критериев оценивания;
- определение коэффициентов весомости выбранных критериев.

Предполагается, что на этом этапе эксперты знакомятся с задачами экспертизы, организаторы экспертизы совместно с экспертами выделяют критерии, по которым будет проводиться оценка сформулированной проблемы. Затем определяются весовые коэффициенты выбранных критериев, и в заключении проводится сравнительная оценка альтернативных проектов по выбранным критериям. Для каждого подэтапа разрабатываются анкеты, которые распространяются среди экспертов;

III этап – получение результатов экспертизы; этот этап состоит из обработки индивидуальных суждений экспертов и получения групповой оценки;

IV этап – использование полученных экспертных оценок для формирования взвешенного решения.

На первом этапе формируют рабочую группу экспертов, которая способна корректно решать поставленные перед ней задачи. При проведении экспертиз основной проблемой является определение количества привлеченных экспертов. В данном случае возникает два рода ошибок: первая – недостаточное количество экспертов для принятия обоснованного решения по итогам ЭО; вторая – привлекается слишком большое количество экспертов, что приводит к удорожанию самой процедуры и увеличению времени на ее проведение, а это для решений в области интенсивно развивающейся оборонной промышленности неприемлемо. Поэтому перед нами стоит вопрос о минимальном количестве экспертов, при котором принятое решение будет надежным. Необходимо четко понимать, как определить то число, от которого будет зависеть процедура и время, потраченное на принятие решения.

Для начала определим минимальное количество экспертов. Данный вопрос нельзя сводить к выводу: чем больше экспертов, тем точнее определение будущего результата, такое

мнение является ошибочным. Это связано, прежде всего, с высокой наукоемкостью данной области научных исследований и на этапе анализа анкет коэффициент согласованности экспертной группы будет очень низок. Лучше определять минимальное число экспертов, при котором результаты экспертиз можно признать надежными [2].

Отталкиваться будем от того, что для анализа оценок будет использован подход к экспертным оценкам с целью определения ранга. Методика заключается в том, что мы ранжируем объекты изучаемой совокупности, приписывая каждому из них порядковый номер, соответствующий итогам сравнения по данному признаку с остальными объектами по методу взвешенной суммы [3]. Переменных всегда несколько, иначе привлечение экспертов не имеет смысла, т.к. одиночные параметры легко ранжируются. Ранжирование  $n$ -объектов производится по экспертным оценкам  $m$ , определяющим последовательность рангов. Существует методика проверки согласованности,  $m$ -экспертных оценок друг с другом. С этой целью определяется коэффициент согласованности ( $W$  – коэффициент конкордации Кендалла) [4], вычисляемый по формуле:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество оцениваемых объектов,  $m$  – число экспертов, участвующих в проведении экспертного опроса,  $D$  – дисперсия отклонений от среднего.

Для решения поставленной задачи необходимо преобразовать формулу (1) и определить количество экспертов. Получим:

$$m = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{W (n^3 - n)}}. \quad (2)$$

Для использования данной формулы необходимо знать дисперсию предполагаемой выборки и заложить ту минимальную величину коэффициента согласованности ( $W$ ), при которой можно принять сделанные экспертами выводы достоверными. Для упрощения вычислений введем показатель зависимости от количества оцениваемых экспертами объектов к сумме квадратов отклонения от среднего ( $S$ ):

$$S = \frac{12 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n^3 - n}. \quad (3)$$

По результатам исследований было выявлено, что данное выражение и определяет количество экспертов, и имеет квадратичную зависимость с их числом, что связано с основной особенностью, заложенной в формулу коэффициента согласованности. При этом данный показатель имеет максимальное значение при полной согласованности и минимальное – при наибольшем несогласии мнений экспертов. В связи с этим определяющим фактором минимального значения количества экспертов для надежного принятия решения будет размер коэффициента конкордации Кендалла. Тогда формулу (2) можно преобразовать следующим образом:

$$m = \sqrt{\frac{S}{W}}. \quad (4)$$

Для примера были рассчитаны значения минимального количества экспертов при заданном числе коэффициента конкордации при условии, что оптимальное число возможных привлеченных экспертов равно 9, т.е. когда девять экспертов могут дать полностью согласованное решение ( $W = 1$ ).

Получается, что чем ниже ожидаемый коэффициент согласованности, тем больше экспертов нам необходимо привлекать для принятия обоснованного решения. И наоборот: чем более единогласны эксперты, тем меньше их нужно. Из расчетов следует, что при высоком значении коэффициента конкордации, чтобы доказать полное расхождение мнений, нужно 3 человека, а полное единодушие – 9, что ставит под сомнение практичность данного метода для определения минимального количества экспертов, т.к. всегда можно будет снизить их количество, просто поставив условие, что нам нужно найти максимальный плюрализм мнений.

Если сделать графическую интерпретацию полученных результатов (рис. 1), то можно увидеть на рисунке простую квадратичную зависимость между дисперсией и количеством привлекаемых экспертов [1]. Используя такую зависимость, можно предложить более простую модель определения количества экспертов.

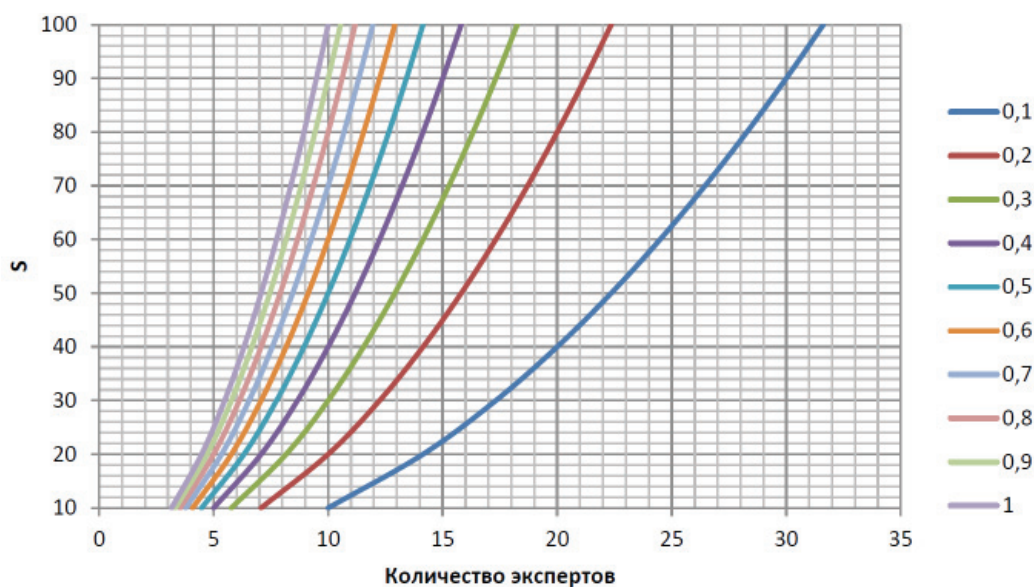


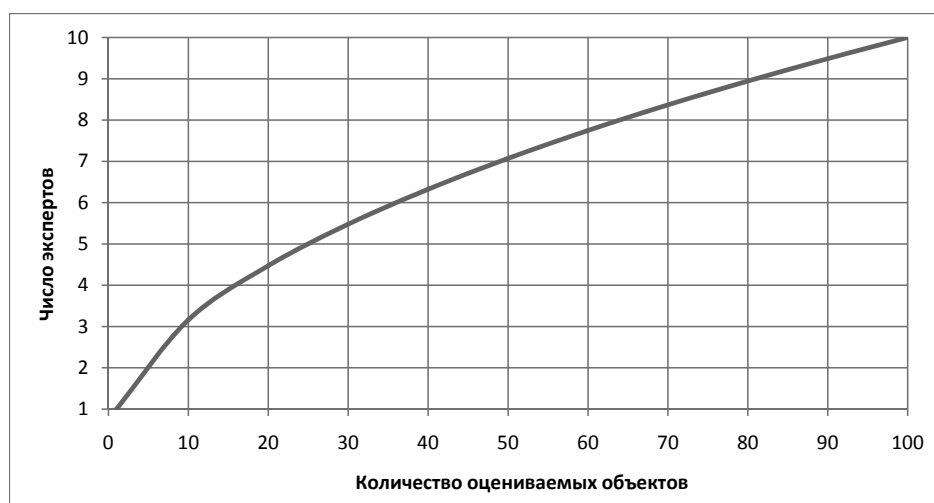
Рис. 1. Зависимость между дисперсией и количеством привлекаемых экспертов

В статистике принят упрощенный способ определения количества классов для построения гистограммы [5]. Он заключается в извлечении корня от числа измерений. Тогда для определения количества экспертов можно предложить зависимость между наличием оцениваемых объектов или элементов по упрощенной формуле:

$$m = \sqrt{n} . \tag{5}$$

Для обоснования этой зависимости построим график взаимосвязи значения количества экспертов от оцениваемых объектов от 2 до 100. Как видно из графика на рис. 2, зависимость позволяет быстро определить минимальное количество экспертов от числа выносимых на экспертизу оцениваемых элементов или объектов. Плюсом такой методики является полная независимость от способа выставления оценок: ранжированные оценки или простой балльный метод – минимальное число экспертов будет одним и тем же. Но данный метод может привес-

ти к необоснованному увеличению числа экспертов, а в некоторых случаях поставить под сомнение возможность проведения экспертных оценок. Следует подчеркнуть, что данная зависимость работает только в том случае, когда эксперты имеют высочайшую квалификацию по данному вопросу.



**Рис. 2. Зависимость между количеством оцениваемых объектов и количеством привлекаемых экспертов**

Из-за сложности поиска экспертов высочайшей квалификации по вопросу контроля и диагностики качества конструкционной керамики были привлечены специалисты из оборонных отраслей промышленности. Учитывая этот факт, увеличиваем количество экспертов в три раза.

Для качественной оценки степени согласованности мнений экспертов будем использовать вербально-числовую шкалу (шкалу отношений), предложенную Харрингтоном [2], которая приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Вербально-числовая шкала Харрингтона**

№ п/п	Числовое значение коэффициента конкордации	Оценка степени согласованности мнений экспертов
1	$0 \leq W \leq 0,2$	Согласованность очень низкая
2	$0,2 \leq W \leq 0,37$	Согласованность низкая
3	$0,37 \leq W \leq 0,64$	Согласованность средняя
4	$0,64 \leq W \leq 0,8$	Согласованность высокая
5	$0,8 \leq W \leq 1,0$	Согласованность очень высокая

Второй этап. Экспертам предлагалось оценить значимость критериев, путем проставления значений весовых коэффициентов по десятибалльной шкале, где: 1 – пренебрежительно малое; 2 – очень низкое; 3 – низкое; 4 – удовлетворительное; 5 – среднее; 6 – выше среднего; 7 – значительное; 8 – высокое; 9 – очень высокое; 10 – определяющее. На втором этапе – по данным критериям сравнить представленные методы, с целью оценки перспектив контроля и диагностики качества КК.

Критерии, характеризующие целесообразность использования приведенных методов, с целью получения диагностической информации об объекте воздействия, были предложены: информативность, изученность, управляемость, перспективность, техническая реализуемость, затраты, инвестиционная перспективность и соответствие вида воздействия реальному. Было предложено пять основных методов диагностики, из которых каждый может быть как разрушающим, так и неразрушающим.

Первый метод – статический, который подразумевает статическое нагружение образца силой ( $F$ ) и/или моментом ( $M$ ) в условиях постоянной или переменной нагрузки. При условии что:  $F \ll F_{кр}$ ,  $M \ll M_{кр}$  и информативные параметры контролируются методом акустической эмиссии (АЭ), либо  $F = F_{кр}$ ,  $M = M_{кр}$ .

Второй метод – динамический ударный. Прикладывается динамическое воздействие на образец из КК ударом шарика, установленного на некоторой высоте ( $h$ ) от поверхности образца (масса,  $h$  и материал шарика – варьируемые величины), либо динамическое воздействие на образец оказывается при помощи высокоскоростного ударника.

Третий метод – динамический с использованием потоков высоких энергий [6]. Сущность этого метода заключается в том, что на поверхность образцов оказывается локальное (точечное) или по различным траекториям воздействие потоком. Под потоком высоких энергий подразумевается ультраструя [7–8] или лазер. Контроль информативных параметров ведется методом АЭ, при этом время воздействия ( $t_{возд}$ ) стремится к нулю, либо воздействие продолжается до разрушения образца.

Четвертый метод – статико-динамический. Образец нагружается комбинацией термической и статической (постоянной или переменной) нагрузки при условиях:  $F \ll F_{кр}$ ,  $M \ll M_{кр}$  информативные параметры контролируются методом АЭ. Так же возможно аналогичное воздействие, но образец нагружается совокупностью термической и статической нагрузки при условии:  $F \leq F_{кр}$ .

Пятый метод – физический. Неразрушающим методом предлагает определение плотности ( $\rho$ ) КК, проходящей через нее скорость звука ( $c$ ) и отношение  $\rho/c$ . Разрушающий метод контроля – оценка остаточной длины ударника после его взаимодействия с преградой из КК. Учитывается  $h_0$  – начальная длина,  $h_1$ ,  $h_2$  – длина после взаимодействия с КК,  $h_1$  соответствует времени задержки  $t_{31}$ ,  $h_2$  соответствует  $t_{32}$ . Пример заполненной анкеты показан на рис. 3.

Третий этап. Для проведения процедуры анализа/обработки данных, полученных при проведении анкетирования экспертной группы была использована «Программа статистической обработки данных экспертных оценок», которая была разработана на кафедре Технологии ракетно-космического машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Программа позволяет произвести оценку объектов по заданным критериям методом взвешенной суммы, произвести оценку достаточности экспертной группы, определить согласованность мнения экспертов и т.д. Для начала работы программы необходима анкетная система с критерием, объектом и хотя бы одна экспертная анкета. Исходные данные могут быть созданы как средствами самой программы, так и загружены из файла типа \*.xls и \*.xlsx, с которыми работает MS Excel. По окончании ввода исходных данных (все ячейки в таблицах заполнены) полная обработка данных происходит автоматически. На выходе мы получаем обработанные данные, сведенные в таблицу, которые в последующем можно сохранить как файл типа \*.xls или \*.xlsx. Полученные результаты можно также представить и в графическом виде, если выделить необходимый диапазон в таблице, что существенно ускоряет процедуру анализа.

Помимо основных, интересующих нас расчетов перечисленных на первом этапе, программа также проводит расчет и отображает результаты в виде таблиц: меры надежности экспертизы, доверительный интервал оценок, для каждого эксперта таблицу взвешенной суммы, обобщенной ранжировки объекта и обобщенной ранжировки эксперта.

### Анкета

#### Сравнение различных методов контроля и диагностики качества керамики

Уважаемый эксперт! В МГТУ им. Н.Э. Баумана выполняется инициативная НИР по разработке новых методов контроля и диагностики качества конструкционной керамики (КК). На сегодняшний день известно несколько видов технологического воздействия как средства получения диагностической информации об объекте воздействия.

На первом этапе Вам предлагается оценить значимость критериев, путём проставления значений весовых коэффициентов по десятибалльной шкале (Таблица 1), на втором этапе - по данным критериям сравнить представленные ниже методы, с целью оценки перспектив контроля и диагностики качества КК.

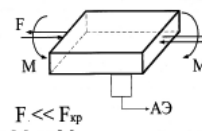
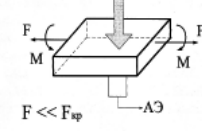
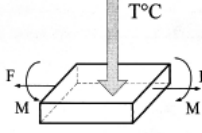
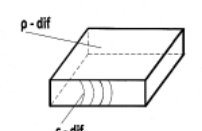
Оценку просьба производить по десятибалльной шкале:  
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

где: 1 – пренебрежительно малое; 2 – очень низкое; 3 – низкое; 4 – удовлетворительное; 5 – среднее; 6 – выше среднего; 7 – значительное; 8 – высокое; 9 – очень высокое; 10 – определяющее.

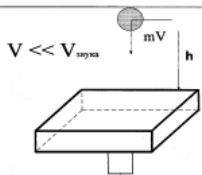
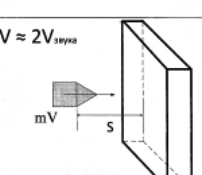

Таблица №1 – Значимость критериев, характеризующих целесообразность использования приведенных методов с целью получения диагностической информации об объекте воздействия

Критерий	Весовой коэффициент	Критерий	Весовой коэффициент
Информативность (ИНФ)	7	Изученность (ИЗ)	5
Управляемость (УПР)	5	Перспективность (ПЕР)	7
Техническая реализуемость (ТР)	5	Затраты (ЗТР)	5
Соответствие вида воздействия реальному (СВР)	10	Инвестиционная перспективность (ИП)	5


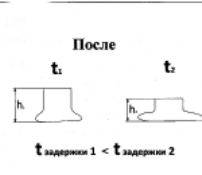
\*Обозначения в Таблице №2.  
 КК – конструкционная керамика  
 НК – неразрушающий контроль  
 РК – разрушающий контроль  
 АЭ – акустическая эмиссия  
 Var (Varies) – варьируется  
 Кр. - критическое значение  
 V – скорость движения ударника массой m  
 Таблица №2 – Методы контроля и диагностики качества керамики

№ п/п	Наименование метода и его краткое описание	Конструктивное исполнение	Критерии
1	<b>Статический</b> Образец нагружается статической силой (F) и/или моментом (M) в условиях постоянной или переменной нагрузки. При условиях: $F \ll F_{кр}$ $M \ll M_{кр}$ Контролируются информативные параметры АЭ	 $F \ll F_{кр}$ $M \ll M_{кр}$	ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 10
			СВР 10
			ИЗ 10
			ПЕР 10
			ЗТР 5
ИП 5			
4	<b>Статико-динамический</b> Образец нагружается комбинацией термической и статической (постоянной или переменной) нагрузки. При условиях: $F \ll F_{кр}$ $M \ll M_{кр}$ Контролируются информативные параметры АЭ	 $F \ll F_{кр}$	ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 8
			СВР 8
			ИЗ 7
			ПЕР 8
			ЗТР 8
ИП 8			
4	<b>Статико-динамический</b> Образец нагружается совокупностью термической и статической (постоянной или переменной) нагрузки. При условии: $F \leq F_{кр}$	 $F \leq F_{кр}$	ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 8
			СВР 8
			ИЗ 7
			ПЕР 8
			ЗТР 8
ИП 8			
5	<b>Физический</b> Определяется плотность $\rho$ КК и скорость звука $c$ в ней, затем отношение $\rho/c$		ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 8
			СВР 10
			ИЗ 5
			ПЕР 5
			ЗТР 7
ИП 7			

2	<b>Динамический ударный</b> Оказывается динамическое воздействие на образец из КК ударом шарика массой m, установленного на некоторой высоте h от поверхности образца. m, h, материал шарика → var Контролируются информативные параметры АЭ		ИНФ 5
			УПР 3
			ТР 5
			СВР 3
			ИЗ 3
2	<b>Динамический ударный</b> Оказывается динамическое воздействие на образец из КК при помощи высокоскоростного ударника. m, s, тип пули → var		ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 10
			СВР 10
			ИЗ 10
3	<b>Динамический метод с использованием потоков высоких энергий</b> На поверхность образцов оказывается локальное (точечное) или по различным траекториям воздействие. Контролируются информативные параметры АЭ		ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 7
			СВР 7
			ИЗ 5
			ПЕР 7
			ЗТР 8
			ИП 8

4	<b>Разрушающий контроль</b> На поверхность образцов оказывается локальное (точечное) или по различным траекториям воздействие. До разрушения материала.		ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 7
			СВР 7
			ИЗ 5
			ПЕР 7
			ЗТР 8
ИП 8			
4	<b>Разрушающий контроль</b> Оценка остаточной длины ударника после его взаимодействия с протрадой из КК h <sub>1</sub> , h <sub>2</sub> – длина после взаимодействия с КК h <sub>1</sub> соответствует t <sub>задержки1</sub> h <sub>2</sub> соответствует t <sub>задержки2</sub>		ИНФ 10
			УПР 10
			ТР 10
			СВР 10
			ИЗ 7
			ПЕР 8
			ЗТР 7
ИП 5			

Ваши комментарии и предложения (при необходимости):  
*Можно ли определять значение СВР с помощью приборов в таб. 2 с учетом влияния от конкретных условий? Предметы исследования объекта. При этом метод 1 и 2 наиболее актуальны, метод 3-5 наиболее актуален, метод 4 наиболее актуален на конкретном объекте.*

Ф.И.О.: Эриша Тамара Андреевна  
 Место работы, должность: вед. инженер ОАО, РКК Энерго

Уч. степень, звание (если имеется) \_\_\_\_\_

Дата: 20.02.16  
 Подпись: [Signature]

Рис. 3. Пример анкеты, заполненной экспертом

Таблица взвешенных оценок представляет собой начальную таблицу, в которой значения при каждом критерии для каждого объекта умножено на его весовой коэффициент. Аналогично подсчитана взвешенная сумма по всем критериям для каждого из методов с учетом весового коэффициента и без него. В таблице обобщенной ранжировки эксперта представлена предыдущая в ранговой форме, ячейка с максимальным значением баллов получает 1-е место, далее идет 2-е и т.д. В случае равных баллов получают дробные ранги (среднее по значению).

Таблицы мер надежности экспертизы ( $\beta$ ) рассчитываются по формуле [9]:

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}}{x_{cp}}, \tag{6}$$

где  $x_i$  – оценка  $i$ -го эксперта,  $x_{cp}$  – средняя оценка по всем экспертам данного критерия для данного метода.

Эта таблица позволяет определить достаточность экспертной группы, а также вычислить экспертов, чьи анкеты значительно отличаются от других. Если в ячейке число меньше или равно 0,2 и ячейка светится зеленым, то все хорошо, если число больше 0,2 и меньше 0,3 это приемлемо и ячейка светится желтым. Значение  $\geq 0,3$  показывает рассогласованность экспертов по данному вопросу (данный критерий применительно к данному объекту) и предупреждает, что экспертиза может быть не надежна. Расчет можно произвести с учетом или без учета весовых коэффициентов. Результаты расчета мер надежности экспертизы показаны на рис. 4. Исходя из того, что преобладает хорошая согласованность в результатах, экспертизу можно считать надежной и в последующем использовать полученных экспертные данные для формирования взвешенного решения.

Оценка критерия	ИНФ	УПР	ТР	СВР	ИЗ	ПЕР	ЗТР	ИП
Объект								
Ст(НР)	0,1375	0,1237	0,1118	0,1347	0,1432	0,1699	0,2333	0,1581
СТ(Р)	0,196	0,1048	0,1265	0,1432	0,0972	0,1626	0,2	0,1925
Дн(НР)	0,1627	0,2049	0,1968	0,1926	0,194	0,1286	0,1547	0,1427
Дн(Р)	0,096	0,1044	0,1044	0,1571	0,1469	0,1411	0,1878	0,1506
Дн с потоком (НР)	0,0741	0,1131	0,1021	0,0934	0,2175	0,1091	0,0544	0,1386
Дн с потоком (Р)	0,096	0,1346	0,1114	0,1088	0,2048	0,098	0,08	0,0956
Ст-Дн(НР)	0,1088	0,1265	0,101	0,1269	0,2234	0,1394	0,1225	0,1457
Ст-Дн(Р)	0,0769	0,1386	0,138	0,1559	0,1414	0,087	0,0909	0,1179
Физ(НР)	0,1352	0,1845	0,2022	0,2828	0,1654	0,2184	0,2142	0,1972
Физ(Р)	0,1332	0,1469	0,1225	0,1591	0,101	0,126	0,1506	0,1286

**Рис. 4. Расчет мер надежности экспертизы**

ИНФ – информативность, УПР – управляемость, ТР – техническая реализуемость, СВР – соответствие вида воздействия реальному, ИЗ – изученность, ПЕР – перспективность, ЗТР – затраты, ИП – инвестиционная привлекательность, (Р) – означает что метод разрушающий, (НР) – метод неразрушающий, Ст – статический, Дн – динамический, Дн с потоком – динамический с потоком высоких энергий, Ст-Дн – статико-динамический, Физ – физический



Доверительный интервал оценок ( $\Delta_x$ ) рассчитывается:

$$\Delta_x = t_p t_{k-1} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n}}, \quad (7)$$

где  $t_p t_{k-1}$  – коэффициенты Стьюдента [10].

Проведем ранжирование взвешенной суммы по всем методам для каждого эксперта и сведем результаты в табл. 2. В таблице приняты сокращения:  $\Theta_n$  –  $n$ -ый эксперт,  $\Sigma R$  – сумма рангов по каждому методу диагностики КК.

Таблица 2

Результаты ранжирования взвешенной суммы

Эксперты Объект	$\Theta_1$	$\Theta_2$	$\Theta_3$	$\Theta_4$	$\Theta_5$	$\Theta_6$	$\Theta_7$	$\Theta_8$	$\Theta_9$	$\Sigma R$
Ст (НР)	8	7	8	6,5	5	10	4	8	3	59,5
СТ (Р)	9	4	7	5	9	8	8	10	5	65
Дн (НР)	4	8	6	8	10	9	6	4	4	59
Дн (Р)	1	3	5	4	3	4	9,5	3	1	33,5
Дн с потоком (НР)	5	1	3	2	6	6	5	1	6	35
Дн с потоком (Р)	3	5	2	3	2	1	2	2	9	29
Ст-Дн (НР)	6	9	1	9	1	2	7	6	7	48
Ст-Дн (Р)	7	6	4	6,5	7	3	3	5	8	49,5
Физ (НР)	10	10	10	10	8	7	9,5	9	10	83,5
Физ (Р)	2	2	9	1	4	5	1	7	2	33

Четвертый этап. Из табл. 2 видно, что высочайшую сумму рангов получил инновационный метод диагностики и контроля качества КК в основе которого лежит динамическое локальное воздействие на образец потоками высоких энергий. Помимо результатов по ранжированию взвешенной суммы, данный метод также получил высочайшие результаты по ранжированию критериев: информативность, управляемость, перспективность и инвестиционная привлекательность. Столь высокие оценки обусловлены высокой интенсивностью развития и широким спектром применения, как лазерных, так и ультраструйных технологий.

Коэффициент согласованности экспертов  $W = 0,4117$ . Исходя из вербально-числовой шкалы Харрингтона (табл. 1) видно, что полученные результаты соответствует средней степени согласованности мнений экспертов, что является удовлетворительным. Многие эксперты отметили, что методы 1 и 2 позволяют оценить качество исходного образца, а методы 3–5 позволяют оценить стойкость образца на конкретное воздействие.

**По итогам проведенных исследований:**

1. Предложен комплексный подход для организации и проведения экспертного анализа.
2. Анализ индивидуальных суждений экспертов и групповая оценка позволили выявить фаворита из представленных для сравнения методов контроля и диагностики КК.

**Список литературы**

1. Рупосов В.Л. Методы определения количества экспертов // Вестник ИрГТУ. Социально-экономические и общественные науки. 2015. № 3(98). С. 286–292.

2. Постников В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений // Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012. № 5. С. 333–346.
3. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов. Перевод с немецкого и предисловие В.М. Ивановой, М.: Финансы и статистика, 1983. С. 175–178.
4. Kendall, M. Rank correlation methods / M. Kendall. London: Griffin, 1970. 170 p.
5. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Подход к расчету весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов при выборе варианта развития информационной системы // Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2013. № 08. С. 395–412.
6. Галиновский А.Л., Муляр С.Г., Хафизов М.В. Применение гибридной диагностики для оценки эксплуатационных свойств композиционной керамики // Известия вузов. Машиностроение. 2012. № 9. С. 65–69.
7. Абашин М.И. Возможности экспресс-оценки информационно-диагностических параметров изделий ультразвуковым методом // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 4–3(288). С. 128–133.
8. Абашин М.И., Бочкарев С.В., Цаплин А.И., Коберник Н.В. Ультразвуковая диагностика качества сварных швов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 12(669). С. 52–61.
9. Зорин В.А., Павлов А.П., Пегачков А.А. Контроль качества продукции и услуг: Учебное пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2007. 82с.
10. Шевченко А.П., Бегунов М.А. Экспериментальное исследование работы двухстрочного килевидного сошника для посева семян льна // Программные продукты и системы. Тверь.: ЗАО НИИ Центрпрограммсистем, 2014. № 1 (127), С. 152–155.

## References

1. Ruposov V.L. (2015) *Metody opredeleniya kolichestva ekspertov* [Methods of determining the number of experts] *Vestnik IrGTU. Sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennyye nauki* [Vestnik National Research Irkutsk State Technical University. Socio-economic and social Sciences], no. 3(98), pp. 286–292.
2. Postnikov V.M. (2012) *Analiz podkhodov k formirovaniyu sostava ekspertnoy gruppy, orientirovannoy na podgotovku i prinyatie resheniy* [The analysis of approaches to formation of the composition of the expert group focused on the preparation and decision-making] *Nauka i obrazovanie. Izd-vo MGTU im. Baumana* [Nauka i obrazovanie. (Science and education), BMSTU]. Moscow, no. 5, pp. 333–346.
3. Förster E., Renz B. (1983) *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza. Rukovodstvo dlya ekonomistov. Perevod s nemetskogo i predislovie V.M. Ivanovoy* [Methods of correlation and regression analysis. A guide for economists. Translated from German and Foreword by V.M. Ivanova] *Finansy i statistika* [Finansi i statistika (Finance and statistics), pp. 175–178.
4. Kendall, M. (1970). Rank correlation methods. M. Kendall. London: Griffin, 170 p.
5. Postnikov V.M., Spiridonov S.B. (2013) *Podkhod k raschetu vesovykh koeffitsientov rangovykh otsenok ekspertov pri vybore varianta razvitiya informatsionnoy sistemy* [The approach to the calculation of the weighting factors of the ranking experts the option of developing the information system] *Nauka i obrazovanie. Izd-vo MGTU im. Baumana* [Nauka i obrazovanie (Science and education), BMSTU], Moscow, no. 8, pp. 395–412.
6. Galinowskiy A.L., Mulyar S.G., Khafizov, M.V. (2012) *Primenenie gibridnoy diagnostiki dlya otsenki ekspluatatsionnykh svoystv kompozitsionnoy keramiki* [Application of hybrid diagnosis for the assessment of operational properties of composite ceramics] *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie* [Izvestiya vuzov. Engineering], no. 9, pp. 65–69.
7. Abashin M.I. (2011) *Vozmozhnosti ekspress-otsenki informatsionno-diaagnosticheskikh parametrov izdeliy ul'trastruyunym metodom* [The possibility of rapid assessment information and diagnostic parameters of products ultra-jet method] *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of technics and technology], no. 4–3 (288), pp. 128–133.
8. Abashin M.I., Bochkarev S.V., Tsaплин A.I., Kobernik N.V. (2015) *Ul'trastruyunaya diagnostika kachestva svarnykh shvov* [Ultra-jet diagnostics of quality of welded seams] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy*.

*Mashinostroenie* [Izvestiya visshih uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie (News of higher educational institutions. Engineering)], no. 12(669), pp. 52–61.

9. Zorin V.A., Pavlov A.P., Pagachkov A.A. (2007) *Kontrol' kachestva produktsii i uslug. Uchebnoe posobie* [Quality control of products and services. Tutorial] *MADI (GTU)* [STU MADI], Moscow, pp. 82.

10. Shevchenko A.P., Begunov M.A. (2014) *Eksperimental'noe issledovanie raboty dvukhstrochnogo kilevidnogo soshnika dlya poseva semyan l'na* [Experimental study of two-line keeled opener for sowing seeds of flax] *Programmnye produkty i sistemy. ZAO NII Tsentrogrammsistem* [Software products and systems. NII Tsentrogrammsistem], Tver, no. 1(127), pp. 152–155.