

УДК 005.6(047)(476)

П. С. Серенков,
В. М. Романчак,
Н. Н. Гиль,
О. И. Телебук

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА

В статье рассмотрена задача повышения достоверности методов экспертного оценивания. Проведен анализ существующих подходов к исследованию уровня доверия к экспертным оценкам. В результате применения системного подхода выделено пять основных источников потерь достоверности результатов экспертного оценивания в задачах оценки и анализа: контекст и структура процесса оценивания, входы, выходы, ресурсы. Приведены результаты анализа источников и пути минимизации их влияния. Для оценивания неопределенности экспертных оценок обоснована возможность применения методов статистического анализа, используемых для аналогичных целей в классической метрологии. Представлены результаты разведочного анализа неопределенности экспертных оценок.

This article analyses the task to increase expert assessment methods authenticity. It provides the analysis of existing approaches to examination of the level of confidence for expert assessment. As the result of application of system approach there were determined five main sources of loss of authenticity as regards results of expert assessment in evaluation and analysis tasks: context and structure of assessment process, inputs, outputs, resources. It provides the results of the source analysis and the ways to minimize their affect. To assess uncertainty of expert evaluations authors provide the basis for the possibility to apply the statistic analysis methods used for similar purposes in classic metrology. This article provides the results of exploratory analysis for expert assessments uncertainty.

Проблема достоверности экспертных оценок

В основе принимаемых решений в отношении процессов и продукции в СМК* лежат потоки различной по источникам и уровню достоверности

информации. Относительно недавно качество ассоциировалось исключительно с производственными процессами, для которых типичной формой являются количественные, измеряемые с помощью технических средств, данные о продукции

*СМК – система менеджмента качества

и процессах. Вовлечение в систему управления непроизводственных процессов приводит к необходимости корректировки структуры системы сбора и анализа данных. Для непроизводственных процессов СМК типичной формой данных являются так называемые экспертные оценки, не поддающиеся «точному измерению», поскольку они являются субъективными.

Примечание. Понятие «измерение» в стандартах ISO серии 9000 не рассматривается только с позиций метрологии. Например, требование того, что цели в области качества должны быть измеримыми предполагает наличие экспертных оценок.

Следует отметить, что доля экспертной информации, используемой при принятии решения в рамках СМК, доминирует над долей измерительной информации. Учитывая тот факт, что достоверность экспертной информации объективно ниже измерительной, очевидна проблема недостаточной эффективности принимаемых управленческих решений, связанная с невысокой в целом достоверностью сводной информации.

Службой качества одной финансовой организации, как организации непроизводственной сферы деятельности, был проведен анализ применения экспертных оценок. Наибольший интерес, на наш взгляд, представляют следующие факты:

1. Приблизительно в половине случаев решения руководителями всех уровней иерархии организации принимаются интуитивно, не основываясь на документированной методике оценивания.
2. В 70 % случаев экспертные методы используются для целей оценки и анализа и только в 30 % случаев – для целей разработки (генерирования новых решений).
3. В 80 % случаев и более решение принимает отдельный эксперт без обсуждения в группе.

Результаты исследования интересны тем, что позволяют расставить приоритеты в развитии методов экспертных оценок. Это, прежде всего, повышение достоверности экспертных методов для задач оценивания и анализа в условиях ограничений, связанных с индивидуальным, а не коллективным принятием решений, и стремлением к

аргументации (методическому обеспечению) принятых решений.

Анализ способов исследования уровня доверия к экспертным оценкам

Количественным измерением качества продукции традиционно занимается квалиметрия. Методы экспертного оценивания, известные у нас как методы квалиметрии, достаточно хорошо известны [1]. Однако классические методы квалиметрии в силу присущих им ограничений не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к методам экспертного оценивания в современных условиях функционирования СМК [2].

Системный подход предполагает, что формальное качество продукции можно управлять через качество процесса. По аналогии с данным тезисом определены направления повышения достоверности процесса экспертного оценивания (рис. 1).

В контексте решаемой комплексной задачи эти направления сформулированы как группы источников потерь качества (достоверности):

- Контекст процесса экспертного оценивания.
- Входы процесса – оцениваемые объекты.
- Структура процесса экспертного оценивания.
- Ресурсы (подходы, методы и средства, шкалы, персонал), используемые в процессе оценивания.
- Выход процесса – результат процесса как экспертная оценка (требования к неопределенности оценки).

Рассмотрим каждую группу источников процесса с точки зрения влияния на неопределенности экспертной оценки.

Контекст процесса оценивания.

Классификация параметров объектов

На наш взгляд, основным недостатком существующих подходов к экспертным методам является тот факт, что они индифферентны в отношении объектов различных категорий и целей оценивания, т.е. контекста. На наш взгляд, например, некорректно оценивать мелодичность музыкального произведения (нравится – не нравится) и расстояние между объектами (большое – малое или сколько?), используя одинаковые подхо-

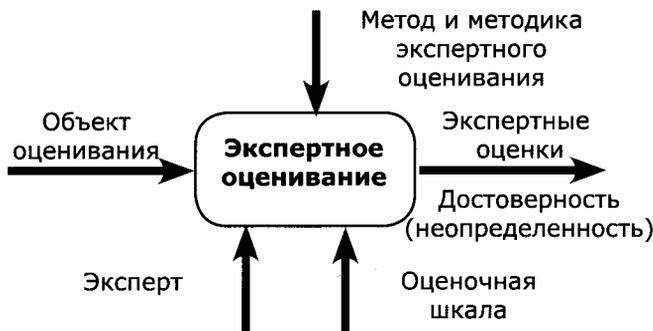


Рис. 1. Экспертное оценивание как процесс преобразования «входа» в «выход»

ды и техники. Эти объекты отличаются, прежде всего, по степени определенности «истинного» значения. С учетом этого нами предложена соответствующая классификация свойств объектов экспертного оценивания (рис. 2).

В основу классификации положен критерий, подразумевающий существование объективно существующего (истинного) значения оцениваемого параметра, характеризуемого математическим ожиданием.

Объекты первой группы в силу очевидной объективности имеют явно выраженное математическое ожидание и, как правило, небольшую, соизмеримую с ним дисперсию (например, оцениваемые экспертно физические величины типа, размер, масса, температура объекта и т.п.).

Объекты третьей группы, напротив, в принципе не имеют математического ожидания, но имеют, как правило, большую дисперсию в силу субъективности восприятия объекта (например, изысканность кулинарного блюда, предпочтение того или иного стиля музыки, цвета, стиля одежды и т.д.).

Особый интерес представляют **объекты второй группы**, которые сочетают в себе как объективную составляющую (математическое ожидание), так и субъективную составляющую (дисперсию). Если с дисперсией все понятно (оценки объектов всех трех групп всегда имеют случайную вариацию), то в отношении математического ожидания оценок объектов второй группы можно сказать, что оно скорее есть, чем его нет. На рисунке 2 мы изобразили данный факт в виде пятна. Примерами объектов второй категории являются объекты (продукция, процессы, системы управления) в профессиональной среде. Например, оценка качества того или иного процесса специалистами в данной области очевидно характеризуется как случайной вариацией мнений экспертов, так и наличием некоего консенсуса в отношении понимания этого качества – математического ожидания мнений. Оценки объектов этой группы характеризуются как случайные величины, имеющие значимые математическое ожидание и дисперсию

(например, удовлетворенность потребителя, результативность процесса, системы и т.п.).

Очевидно, что требования к достоверности оценок объектов различных групп, адекватному выбору методов и средств оценивания, организации самого процесса опроса экспертов существенно различаются.

Мы позиционируем себя в области экспертного оценивания объектов второй и третьей групп (рис. 2). Можно предположить, что ограничение контекста процесса экспертного оценивания объектами второй и третьей групп будет способствовать повышению достоверности получаемых результатов, по крайней мере, за счет снижения «методической» составляющей неопределенности экспертных оценок (дефинитной неопределенности).

Входы процесса – оцениваемые объекты. Влияние входных данных на достоверность процесса

Очевидно, что сложность входной информации (входа процесса), связанной с оцениваемым объектом, наряду с условиями, методами и средствами, также обуславливает достоверность результатов экспертного оценивания.

Сложность входной информации определяется двумя аспектами:

- структурой и объемом оцениваемой информации одного объекта,
- количеством оцениваемых объектов и порядком их представления эксперту.

С позиций структуры оцениваемой информации объекты могут быть однопараметрическими (иметь только один оцениваемый параметр) или многопараметрическими (иметь два и более одновременно оцениваемых параметров).

Примерами оценок однопараметрических объектов являются, например, рост, масса человека. Процедура их оценивания не требует сложной математической обработки, однако такие объекты редко встречаются на практике. В большинстве случаев эксперты имеют дело с многопараметрическими объектами (например, надежность, ре-



Рис. 2. Категории параметров объектов, оцениваемых экспертным методом

зультативность СМК и т.п.), комплексная оценка которых складывается из множества оценок по каждому из n параметров, каждый из которых вносит свою неопределенность в общую оценку на выходе. Кроме того, оказывает влияние на общую достоверность метода экспертного оценивания также модель комплексирования частных оценок.

Существенное влияние на достоверность результатов экспертного оценивания также оказывает количество и порядок предъявления объектов за один этап оценивания, например, для целей ранжирования или выбора лучшего, особенно если данные объекты не имеют явного различия в свойствах. В данной ситуации на полученный результат могут влиять и психологические факторы, связанные с усталостью, рассеянием внимания и кратковременностью памяти.

Можно сделать вывод о том, что при прочих равных условиях входные данные (количество одновременно оцениваемых характеристик объектов и порядок их предъявления экспертам) существенно влияют на достоверность результатов процесса оценивания.

Структура процесса оценивания и ресурсы

Методы организации процесса экспертного оценивания и применяемые ресурсы (подходы, техники, средства, шкалы) представляют отдельное, очень широкое и интенсивно развивающееся направление исследований.

Эта группа источников потерь достоверности экспертных оценок нами не рассматривается в данной статье. Тем не менее следует отметить, что сегодня накоплен достаточно большой опыт использования различных подходов для решения самых разнообразных задач, причем в таких слабо поддающихся прогнозам сферах деятельности, как финансы, банковское дело, страхование и т.п., которые рассматривают экспертные методы как ключевой инструмент своей результативности. Для того, чтобы не «изобретать повторно велосипед», необходимо рационально исследовать возможности этого потенциала и сконцентрировать усилия на выборе приемлемых существующих информационных технологий экспертного оценивания или разработке на их основе перспективных методов, обеспечивающих высокую достоверность оценок в рамках решения задач менеджмента качества и принятия на их основе корректных управленческих решений.

Выход процесса оценивания — экспертная оценка. Требования к неопределенности результата оценивания

Анализ существующих на практике подходов (рис. 3) показывает, что, как ни странно, полноценные, вызывающие доверие методы и критерии определения достоверности экспертных оценок отсутствуют [1–4].

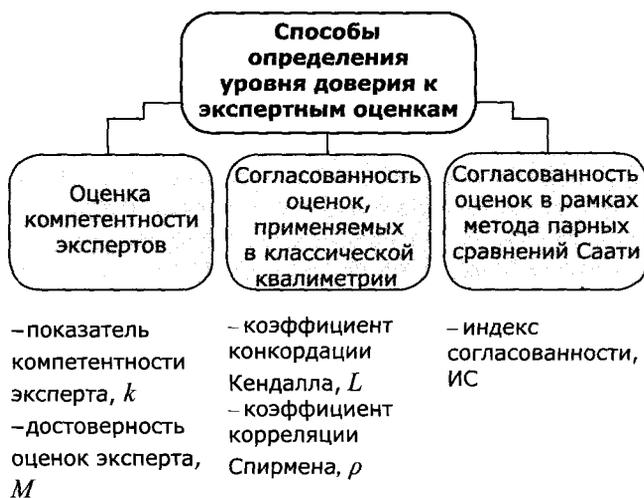


Рис. 3. Классификация способов определения уровня доверия к экспертным оценкам

Представленные подходы и критерии, по сути, являются косвенными, то есть в результате оцениваются не характеристики вариации экспертной оценки как параметра, а компетентность эксперта или согласованность оценок экспертов из группы. Очевидно, что существующие критерии не являются объективными и не могут полноценно характеризовать неопределенность результата оценивания [5].

В рамках реализации проекта по созданию экспертной системы оценки и управления риском процесса стандартизации нами было установлено, что в оценках, получаемых различными способами, у отдельных экспертов наблюдаются принципиальные противоречия экспертных мнений [6]. При этом компетентность экспертов не вызвала сомнений. Это свидетельствует о низкой результативности использования критериев компетентности экспертов как параметров, отражающих достоверность экспертных оценок.

Можно сделать вывод о том, что существующие в классической квалиметрии подходы и критерии, основанные только на оценках компетентности экспертов, некорректно использовать для определения степени доверия к результатам процесса экспертного оценивания. Однако они могут быть полезны для экспресс-анализа экспертных оценок, для подбора группы экспертов и т.п.

Задача экспертного оценивания как измерительная задача с позиции метрологии

Естественный интерес к оцениванию достоверности результатов экспертного оценивания представляют методы, используемые в метрологии. Попытки количественно оценивать, анализировать и управлять точностью результатов экспертных оценок, применяя подходы, используемые в метрологии, предпринимаются на регулярной основе.

Например, в работе [7] точность предложенных методов обработки групповой экспертной информации (методов парных сравнений) предлага-

ется оценивать через вариацию оценок экспертов в группе с учетом значимости этого расхождения. Приведенный подход, по сути, является развитием методики оценки согласованности мнений экспертов в рамках метода Саати (рис. 2). Результаты работы позволили повысить достоверность результатов и эффективность процесса проведения групповых экспертиз, направленных на решение задач многокритериального выбора.

В работе [8] предложены методы повышения качества предпроектной стадии жизненного цикла продукции путем разработки виртуальных эталонов и вербально-числовой шкалы качества продукции. Результаты исследований позволили увеличить уровень продаж предприятиям, специализирующимся на выпуске модемов, а также сделать процесс комплексного оценивания качества выпускаемой продукции более достоверным, путем нормирования определенных показателей качества и разработки регламентирующих документов.

Венцом такого рода попыток можно считать результаты изысканий, изложенные в работе [9]. Авторы замахнулись на создание системы метрологического обеспечения экспертных измерений (МОЭИ) как полного аналога СОЕИ. Ключевой момент системы – применение аппарата теории вероятности и математической статистики, применяемого в классической метрологии для оценки, анализа и сравнения методов экспертного оценивания.

Приведенные выше попытки, несомненно, дают веские основания искать решение проблем достоверности методов экспертного оценивания в подходах метрологии. Применение аппарата теории вероятности и математической статистики в классической метрологии очень эффективно и абсолютно оправдано. Действительно, его подходы, методы и средства для СОЕИ адаптированы и соответствуют всем аспектам процесса измерений «с помощью технических средств», проверены практикой и временем.

Однако безусловное, «слепое» применение используемого в классической метрологии аппарата теории вероятности и математической статистики для оценивания достоверности экспертных оценок может привести к нарушению классических принципов и правил анализа и обработки данных, а, следовательно, к непредсказуемому снижению достоверности результатов экспертного оценивания. Например, в отношении системы МОЭИ очевидными источниками ее несостоятельности являются (рис. 1):

- игнорирование определения контекста экспертных измерений (рис. 2),
- несоответствие применяемых операций обработки данных шкалам, в которых эти данные представлены.

В конечном счете системный анализ достоверности результатов экспертного оценивания позволил выявить комплексный, многоаспектный характер проблемы. На предварительной стадии ее иссле-

дования нами была задействована техника разведочного анализа данных (RAD). Стратегия разведочного анализа данных – корректное применение методов статистического анализа, используемых в классической метрологии. Предметом исследования был определен показатель «неопределенность результата экспертного оценивания».

Наилучшей для данной задачи, по мнению авторов, является модель по выражению неопределенности результатов измерения, установленная техническим отчетом EUROLAB №1/2007 [10]:

$$U = \sqrt{\sigma^2 + \Delta^2}, \quad (1)$$

где σ – оценка прецизионности результата экспертного оценивания; принимается как среднеквадратичное отклонение (СКО) и характеризует случайную составляющую,

Δ – оценка правильности результата экспертного оценивания; принимается как смещение экспертной оценки u от «истинного» значения y_0 и характеризует систематическую составляющую.

Примечание. Для исследования прецизионности и правильности использовались подходы и методики, определенные в стандартах серии СТБ ИСО 5725.

Учитывая, что в реальных условиях экспертного оценивания показателей качества продукции, процессов и систем систематическая составляющая Δ , как правило, не может быть оценена (отсутствует эталон), разведочный анализ данных не преследовал цель строгого всестороннего исследования абсолютных значений Δ . Для решения проблемы корректного оценивания неопределенности экспертных оценок U была поставлена задача по определению, по крайней мере, соотношения Δ и σ :

$$\Delta = k \cdot \sigma. \quad (2)$$

Очевидно, что значения коэффициента k могут достаточно сильно варьироваться в зависимости от условий процесса экспертного оценивания. Однако информация даже о предельных значениях k позволяет в реальных условиях значительно снизить риск принятия некорректных управляющих решений, основываясь на полноценной оценке U неопределенности результата экспертного оценивания в соответствии с (1). Последняя формируется на основе оценки случайной составляющей σ , полученной по результатам обработки мнений экспертов, и априорной информации о диапазоне возможных значений коэффициента k .

Разведочный анализ результатов эксперимента экспертного оценивания

На первом этапе разведочного анализа данных исследовалось влияние на оценку U факторов, определяющих сложность входной информации:

- структуры и объема оцениваемой информации одного объекта,
- количества оцениваемых объектов и порядка их представления эксперту.

Объектами оценивания выбраны геометрические фигуры: круги, неподобные прямоугольники и параллелепипеды. Оцениваемыми параметрами являются «величины фигур» – площади и объем фигур.

Аргументами в пользу выбора такого рода объектов являются:

1. Истинные значения оцениваемых экспертами «величин фигур» модератору эксперимента априори известны, а значит, есть возможность рассчитать смещения Δ оценок экспертов относительно истинного значения;

2. Выбранный ряд геометрических объектов «круг – прямоугольник – параллелепипед» ассоциативно моделирует ряд реальных объектов (например, видов продукции), качество которых оценивается соответственно по одному, двум и трем параметрам одновременно. Таким образом, появляется возможность варьировать структуру и объем оцениваемой информации одного объекта (таблица 1).

Условия эксперимента по исследованию влияния факторов, определяющих сложность входной информации, на оценку неопределенности результата экспертного оценивания U кратко приведены в таблице 2.

Выбор метода парных сравнений для разведочного анализа неопределенности экспертных оценок был обусловлен рядом соображений. Во-первых, общепризнано, что это более продвинутый метод сбора экспертной информации по сравнению с методом непосредственной оценки типа «какова величина объекта?». Во-вторых, метод парных сравнений предполагает применение данных в шкале интервалов, что позволяет корректно применять к ним статистические методы анализа (кроме вычисления отношений). Это очень важный момент, обозначенный нами выше.

На рисунках 6, 7 показаны некоторые результаты эксперимента в рамках разведочного анализа неопределенности экспертных оценок. На рисунках 6 и 7 представлены соответственно диаграммы смещения Δ и среднеквадратического отклонения σ экспертных оценок по трем видам фигур (круг, прямоугольник, прямоугольный параллеле-

пипед) и четырем размерам серий объектов (7, 9, 11, 15 фигур в серии). Очевидно существование значимых зависимостей параметров точности экспертного оценивания Δ и σ от количества и вида оцениваемых фигур в серии при прочих равных и неизменных условиях эксперимента.

Из рисунка 6, например, следует, что характер зависимости смещения оценок Δ от величины оцениваемой фигуры имеет в общем случае нелинейный характер, который определяется размером серии объектов, представляемых на оценивание. Разнородная нелинейная зависимость (степенная для малых серий – менее 7 объектов, логарифмическая для больших серий – более 12 объектов, близкая к линейной для средних серий – 9 – 11 объектов) вызывает различие в значениях Δ , особенно для фигур большой величины.

Из рисунка 7, например, следует, что СКО экспертных оценок уменьшается по мере увеличения числа оцениваемых фигур в серии, причем такая тенденция сохраняется независимо от вида оцениваемой фигуры. С другой стороны, СКО экспертных оценок имеет степенную зависимость от величины оцениваемого объекта, но при этом практически не зависит от вида оцениваемой фигуры.

На основании результатов разведочного анализа неопределенности экспертных оценок можно сделать следующие заключения:

– Эксперты представляют собой «специфическое средство измерений с нелинейной шкалой», т.е. они склонны в зависимости объема серии завышать или занижать оценки последних в очереди оцениваемых объектов. Данный факт согласуется с законами Фехтнера и Стивенса, полученными ими по результатам психофизиологических исследований [11]. Интерпретация данного эффекта может рассматриваться так: методическая составляющая неопределенности экспертных оценок увеличивается в степенной зависимости от величины оцениваемого объекта.

– Относительные значения σ / y случайной составляющей σ неопределенности экспертных оценок U лежат в диапазоне 10...80 %. Если абсолютные значения σ увеличиваются по мере увеличения

Таблица 1

Структура экспертного оценивания объектов эксперимента

Объект оценивания	Оцениваемое свойство (показатель качества)	Параметры, ассоциативно характеризующие свойство	Количество одновременно оцениваемых параметров одного объекта
круги	величина = площадь	диаметр	1
неподобные прямоугольники	величина = площадь	стороны: длина, высота	2
неподобные параллелепипеды	величина = объем	стороны: длина, ширина, высота	3

Таблица 2

Основные условия проведения эксперимента экспертного оценивания

Условия эксперимента	Содержание условия
Шкала оценивания	любая цифровая шкала от 0 до $+\infty$ по усмотрению эксперта
Метод оценивания	метод парных сравнений: объекты предъявляются парами, и эксперт отвечает на вопрос «Насколько величина одного объекта больше другого?»
Методика оценивания	<ul style="list-style-type: none"> – каждый вид фигур предъявляется отдельно, – фигуры предъявляются в случайном порядке, – оценивание по каждой фигуре без предварительного ознакомления с размерами фигур в серии, – 4 серии по каждому виду фигур: <ul style="list-style-type: none"> а) 7 фигур в серии б) 9 фигур в серии в) 11 фигур в серии г) 15 фигур в серии, – количество экспертов по каждой серии фигур – 10

числа оцениваемых объектов в серии, то относительные значения σ / u уменьшаются и при этом не зависят от количества одновременно оцениваемых параметров объекта ($n = 1...3$).

- Систематическая составляющая Δ может существенно корректировать неопределенность экспертных оценок U . Отношение Δ/σ (коэффициент k) варьируется в диапазоне 0,5...5,0, причем Δ в большинстве случаев доминирует над случайной составляющей σ . Это необходимо учитывать при принятии решений на основании экспертных оценок. При увеличении количества объектов в серии, предъявляемых на оценивание, отношение Δ/σ стремится к 1, т.е. случайные и систематические эффекты проявляются в равной степени.

Выводы

По результатам анализа применения методов экспертной оценки в рамках организаций различных видов деятельности обоснована необходимость развития и повышения достоверности методов оценивания для задач оценки и анализа с целью снижения рисков принимаемых решений.

В результате применения системного и процессного подходов к анализу процесса экспертного оценивания выделено пять основных источников потерь качества (достоверности) результата: контекст, входы, выходы, структура процесса оценивания, ресурсы.

Проведенный анализ существующих подходов к исследованию уровня доверия к экспертным

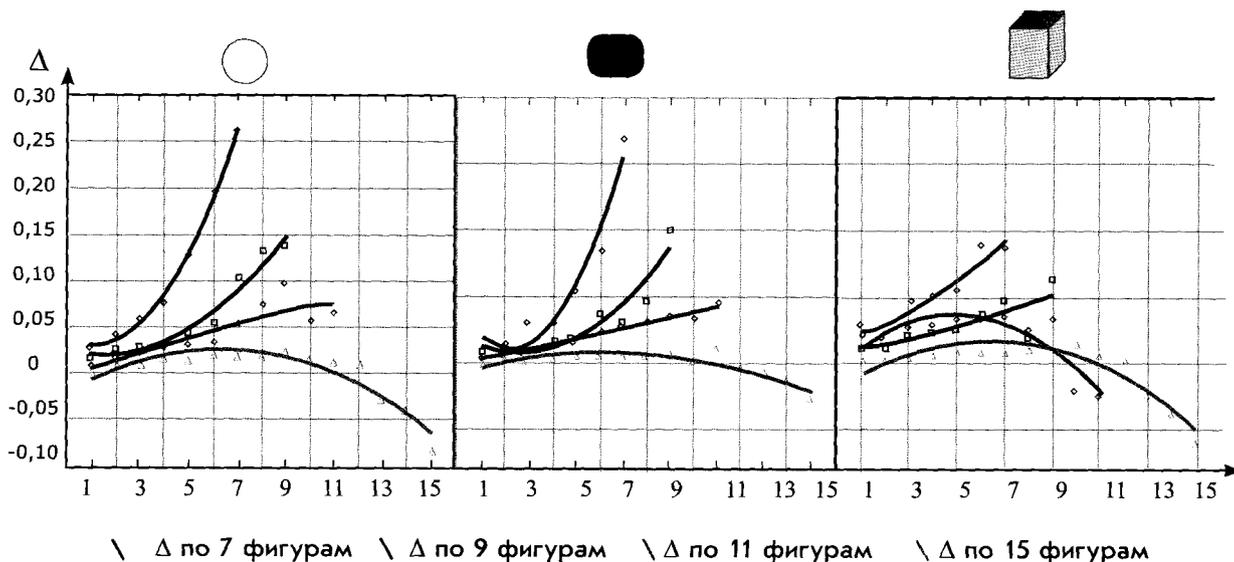


Рис. 6. Зависимости, характеризующие смещения экспертных оценок Δ в зависимости от размеров фигур, представленных по мере возрастания номера

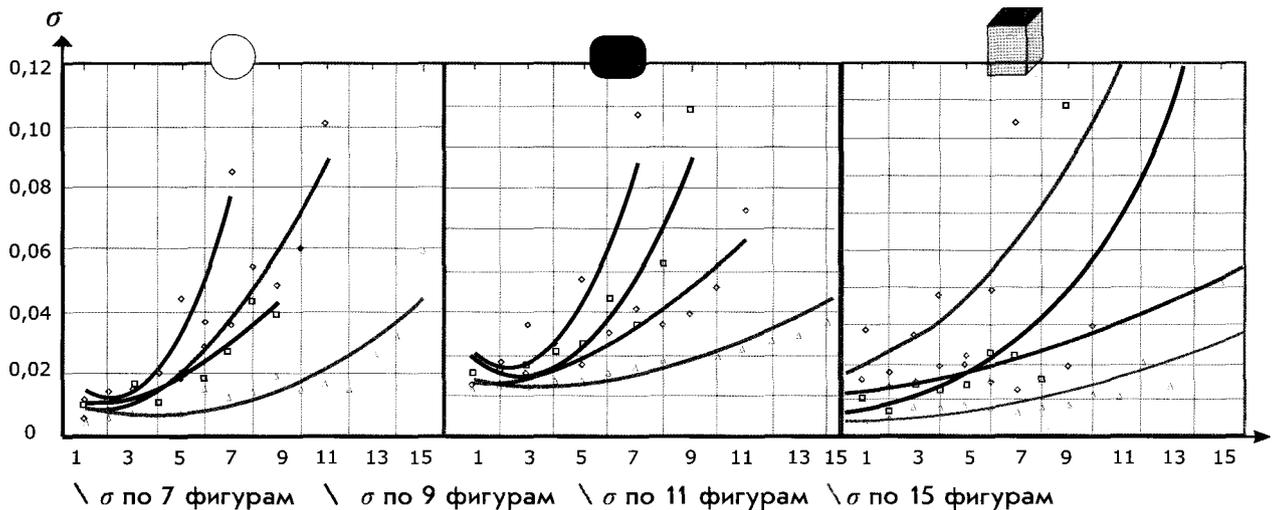


Рис. 7. Зависимости, характеризующие СКО экспертных оценок σ в зависимости от размера фигур, представленных по мере возрастания номера

оценкам позволил выявить ряд недостатков, связанных, главным образом, с некорректным выбором подходов к анализу достоверности (неопределенности) результатов.

Результаты проведенного разведочного анализа неопределенности экспертных оценок подтвердили, что их достоверность – комплексная, многоаспектная задача. Результаты экспертного оценивания подвержены серьезным вариациям, имеющим как случайный, так и систематический характер. При определенных условиях организации процесса экспертного оценивания для оценки неопределенности (достоверности) результатов можно успешно применять методы статистического анализа, используемые для аналогичных целей в классической метрологии.

Список использованной литературы

1. Тихонов А. Н., Цветков В. Я. Методы и системы поддержки принятия решений. — М.: МАКС Пресс, 2001. — 312 с.
2. Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для студентов высш. учеб. заведений/ А.Б. Петровский. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 400 с. — (Университетский учебник. Сер. Прикладная математика и информатика).
3. Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. О квалиметрии. — М.: Издательство стандартов, 1972, С.1-172.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий./ Т. Саати. — М.: Издательство «Радио и связь», 1993. Перевод с английского Р.Г. Вачнадзе. — 278 с.
5. А.И. Орлов. Организационно-экономическое моделирование: учебник в 3-х ч./ А.И. Орлов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2009.
6. Серенков П. С., Гуревич В. Л., Романчук В.М., Янушкевич А.В. Методы менеджмента качества.

Методология управления риском стандартизации/ П. С. Серенков, В. Л. Гуревич, В.М. Романчук, А.В. Янушкевич. — Минск, 2012. — 243 с.

7. Хамханова Д.Н. Теоретические основы обеспечения единства экспертных измерений. — Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. — 170 с.
8. Бурков Е.А., Евграфов В.Г., Падерно П.И. Критерий согласованности парных сравнений// информационно-управляющие системы. 2011. № 3. С. 57-60.
9. Портнова И. М. Совершенствование системы оценивания качества продукции : Дис. ... канд. техн. наук : 05.02.23 Пенза.— 2005.—206 с. РГБ ОД, 61:05-5/3015.
10. Measurement uncertainty revisited: Alternative approaches to uncertainty evaluation. EUROLAB Technical Report No. 1/2007 — 62 p.
11. А.Н. Гусев, Ч.А. Измайлов, М.Б. Михалевская. Измерение в психологии: общий психологический практикум. Серия «Практикум»: 2-й выпуск/ А.Н. Гусев, Ч.А. Измайлов, М.Б. Михалевская. — М.: Изд-во «Смысл». — 1987.

Павел Степанович Серенков, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ;

Василий Михайлович Романчук, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Инженерная математика» БНТУ;

Наталья Николаевна Гиль, магистр технических наук, преподаватель кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ;

Олег Иванович Телебук, магистр технических наук, инженер по метрологии ЗАО «Унифлекс»

Дата поступления 23.07.2015 г.