

*На правах рукописи*

КУЗНЕЦОВА МАРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ  
ОЦЕНИВАНИЯ СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТА  
ФУНКЦИОНАЛЬНОМУ НАЗНАЧЕНИЮ  
(НА ПРИМЕРЕ КАЧЕСТВА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ)**

Специальность 05.13.10 – управление  
в социальных и экономических системах  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия” на кафедре “Техническое управление качеством”.

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ  
**Рыжаков Виктор Васильевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор,  
**Литвак Борис Григорьевич**  
доктор технических наук, профессор,  
**Юрков Николай Кондратьевич**

**Ведущая организация:** **Липецкий государственный  
технический университет**

Защита состоится «23» октября 2009 г., в «13<sup>00</sup>» часов, на заседании диссертационного совета Д 212.132.10 в ФГОУ ВПО “Государственный технологический университет “Московский институт стали и сплавов” по адресу: 105318, Москва, Измайловское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Исследовательского центра проблем качества подготовки специалистов ФГОУ ВПО “Государственный технологический университет “Московский институт стали и сплавов”.

Автореферат разослан «16» сентября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



И.Б. Моргунов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Внедрение информационных технологий в практику управления социально-экономическими системами порождает проблемы, решение которых требует специальных аналитических исследований и практических расчетов. Обострение конкуренции на национальном и международном уровнях, внедрение на предприятиях и в организациях систем качества, соответствующих международным стандартам, заставило вновь обратиться к статистическим методам. Использование статистических методов является одним из главных средств, повышающих соответствие продукции и услуг требованиям стандартов и одновременно предусматривающих сдерживание роста затрат по управлению организацией наряду с модернизацией и усовершенствованием технологий, повышением рентабельности производственных процессов, качества продукции и услуг. Таким образом, статистические методы признаются важным условием эффективного управления качеством.

Понятие качества – фундаментальная категория, выступающая в роли атрибута любого материального объекта, но обычно данное понятие рассматривают гораздо уже – как совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. В соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2000: “качество – степень выполнения требований совокупностью собственных характеристик (продукции, системы или процесса)”.

Последнее определение отличается от ранее использованных, в том числе и стандартизированных определений несколькими принципиальными положениями, существенно влияющими на подход к оцениванию качества. Федеральный закон “О техническом регулировании” определяет цели оценки соответствия как удостоверение соответствия техническим регламентам, стандартам. Под удостоверением соответствия техническим регламентам, стандартам, понимается определение выполнения требований к объекту в соответствии с его функциональным назначением. Функциональное назначение является важнейшей характеристикой объекта как элемента системы и определяет его место в системе. Функциональное назначение может быть сформулировано в виде основной функции для объекта – элемента системы или некоторого множества функций для объекта как подсистемы. Под степенью соответствия объекта функциональному назначению (ССОФН) понимается сводный (комплексный, обобщенный) показатель, синтезирующий (агрегирующий) отдельные показатели соответствия в единую сводную оценку, учитывающую как значения используемых показателей, так и их значимость для оценки объекта в целом.

В работе синтезированы алгоритмы определения ССОФН на основе анализа их эффективности и метрологических характеристик. Эффективность алгоритма определяется величинами дисперсий полученных оценок соответствия: меньше дисперсия (по сравнению с дисперсиями оценок, полученных на основе других алгоритмов) – выше эффективность данного алгоритма и наоборот. Метрологические характеристики алгоритма выражаются дисперсиями оценок показателей соответствия, вызванных дисперсиями (погрешностями) оценивания (измерения) параметров объекта или средними квадратическими отклонениями параметров объекта.

Анализ нормативных документов, результатов научных исследований, работ отечественных ученых Ю.П. Адлера, Г.Г. Азгальдова, В.Г. Белика, Г.Н. Бобровникова, А.В. Гличева, Б.Г. Литвака, А.И. Орлова, В.В. Рыжакова, Н.В. Селезневой, Г.Н. Солода, А.И. Субетто, А.Г. Суслова, М.В. Федорова, Ю.В. Федотова, В.Н. Фомина, Н.В. Хованова, И.Ф. Шишкина и др. свидетельствует о том, что данная область знаний активно развивается. При этом информация о существующих методах оценивания ССОФН требует доказательств системности, научной обоснованности и эффективности применяемых методов определения степени соответствия.

Таким образом, актуальность темы работы предопределена востребованностью теоретико-методологических обоснований выбора и методов, позволяющих аргументировано осуществить этот выбор из многообразия имеющихся алгоритмов оценивания степени соответствия по определенным базовым характеристикам; отсутствием обоснованных рекомендаций по снижению конфликтности алгоритмов, порождаемой корпоративными интересами различных структур. Отсюда возникает **противоречие**. Суть его такова. Известен ряд алгоритмов (критериев) оценивания качества – степени соответствия, но обоснованно выбрать из их числа лучший затруднительно, так как нет инструментария, позволяющего исследовать свойства этих алгоритмов и сравнивать их между собой.

С учетом этого противоречия был сделан выбор темы исследования, **проблема** которого сформулирована следующим образом: как повысить конкурентоспособность отечественной продукции и услуг, в частности, путем совершенствования методов оценивания их качества (ССОФН) и использования при принятии решений в реальных задачах управления.

**Объектом исследования** являются алгоритмы оценивания ССОФН, а его **предметом** – анализ и синтез комплексных и обобщенных алгоритмов оценивания ССОФН, направленных на формирование ценностных суждений об объекте оценки.

**Целью** работы является исследование и разработка методов повышения эффективности и качества процессов управления образовательной и производственно-экономической деятельностью путем совершенствования алгоритмов оценивания ССОФН.

В соответствии с проблемой, объектом, предметом и целью исследования были поставлены следующие **задачи**:

1. Обоснование необходимости исследования алгоритмов оценивания ССОФН.
2. Разработка аналитического метода исследования алгоритмов оценивания ССОФН на чувствительность к изменениям параметров и выбора лучших из них по характеристикам несмещенности и эффективности для использования в системах оценивания качества.
3. Подтверждение экспериментальным путем эффективности синтезированных алгоритмов оценивания ССОФН (на примере оценивания качества высшего образования).
4. Подготовка рекомендаций по использованию разработанных алгорит-

мов оценивания ССОФН в системах поддержки принятия решений.

**Методы исследования.** В соответствии с целью исследования решение поставленных задач обеспечивалось совокупностью методов: системного анализа, имитационного моделирования, статистических методов оценивания и идентификации, теории нечетких множеств, экспертных методов анализа и синтеза, экспериментальных методов.

**Опытно-экспериментальная база** исследования – государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенская государственная технологическая академия», в котором проводилось оценивание качества подготовки специалистов. Исследованием были охвачены преподаватели, студенты, работники вуза (всего более 150 чел.).

**Научная новизна** работы заключается:

- в разработке методического подхода к исследованию алгоритмов оценивания ССОФН, позволяющего провести сравнительный анализ алгоритмов на смещенность и эффективность и выработать обоснованные рекомендации по выбору лучших из них для использования в системах оценивания качества;
- в разработке математических моделей определения тенденций изменения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия, позволяющих определить значения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия для ранжированного ряда любого числа показателей;
- в разработке обобщенных алгоритмов оценивания ССОФН, позволяющих нивелировать мажорантность различных выборочных средних (и тем самым снизить смещенность оценок степени соответствия), способствующих повышению эффективности решения задач управления и принятия решений с учетом требований всех участников системы “изготовитель (поставщик)-потребитель”.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что разработанные методы, модели и алгоритмы позволяют обеспечить эффективное статистическое оценивание ССОФН.

**Достоверность научных результатов исследования** обеспечена методологической обоснованностью исходных позиций исследования, сходимостью теоретических и экспериментальных данных, выбором моделей и методов, адекватных исследуемым объектам, практической реализацией разработанных алгоритмов на примере оценивания качества высшего образования.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- методический подход для исследования алгоритмов оценивания ССОФН на эффективность и несмещенность;
- математические модели экспертных оценок значимости единичных показателей соответствия (качества);
- метод исследования алгоритмов оценивания ССОФН на чувствительность к изменению параметров и выбора лучших из них для использования в системах оценивания качества;
- комплексные и обобщенные алгоритмы оценивания ССОФН (на основе различных выборочных средних и на основе представлений нечетких множеств – функций принадлежности комплексных показателей соответствия).

**Апробация и реализация результатов исследования.** Результаты работы докладывались и обсуждались на 5-х Международных и 2-х Всероссийских научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в 15 печатных трудах, подтверждены свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты диссертационной работы внедрены в системах менеджмента качества Пензенской государственной технологической академии, Пензенского государственного университета, Самарского государственного университета. Универсальность применения разработанных алгоритмов подтверждена актами использования результатов работы в НИИ физических измерений, г. Пенза; ФГУП “Пензенское производственное объединение электронной вычислительной техники”, г. Пенза.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, три работы.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка использованных источников из 126 наименований, 4 приложений, содержит 193 страницы основного текста, 53 рисунка и 12 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы проблема, объект, предмет, цель исследования, поставлены задачи и определены методы исследования, обоснована новизна, практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Аналитический обзор методов и алгоритмов оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению»** на основе анализа существующих методов и алгоритмов обоснована совокупность положений, составляющих теоретико-методологическую основу исследования, сформулированы основные противоречия в вопросе современного оценивания степени соответствия.

В соответствии с положениями МС ИСО 9000, 9001 определены основные понятия и термины, относящиеся к оцениванию степени соответствия объекта функциональному назначению.

На основе анализа существующих методов, алгоритмов и критериев показано, что способы оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению строятся на основе алгоритмов – аналитических выражений – функций оценивания соответствия, единого диапазона изменений количественных оценок единичных и комплексных показателей соответствия, четкой системы формализации исходных единичных показателей соответствия, первоначально заданных в произвольных единицах, и с учетом их значимости – весовых коэффициентов.

При рассмотрении основных противоречий в вопросе оценивания степени соответствия показано, что существующие способы задания номинальных величин весовых коэффициентов преимущественно основаны на экспертном ме-

тоде и не обеспечивают в должной мере определенности их числовых значений при значительных затратах времени и средств на проведение вычислительных и технологических процедур. На основании этого обоснована необходимость применения нетрадиционных подходов для решения подобной задачи: поиск статистических обобщающих закономерностей изменения составляющих функций оценивания и применение таких закономерностей для разработки методик выбора номинальных величин весовых коэффициентов. Для выработки рекомендаций по выбору лучших алгоритмов оценивания предложен дисперсионный подход.

В исследовании объект оценивания степени соответствия его функциональному назначению – качество подготовки специалистов с высшим образованием. Исходя из стандартного определения качества, качество высшего образования – это сбалансированное соответствие всех аспектов высшего образования некоторым целям, потребностям, требованиям, нормам и стандартам. Актуальность выбора объекта оценивания определяется большой практической значимостью такой категории как качество высшего образования, так как эффективное функционирование социальной сферы и, в частности, высшего образования, является одним из факторов успешного развития общества.

**Во второй главе «Разработка общих положений методики оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению»** определены концептуальные положения методологии оценивания ССОФН и пути их решения.

Как показал анализ предметной области, решение проблемы синтеза, выбора и обоснования расчетной модели комплексного и обобщенного показателей оценивания ССОФН является задачей актуальной – нет работ, в которых обоснована необходимая сочетаемость свойств средних для однозначного выбора оценки соответствия.

Приняты принципы формирования виртуального эталона, сформулированы требования к нему.

Рассмотрены методы синтеза комплексных показателей соответствия. Показано, что применение любого одного вида выборочной средней для формирования функции оценивания не дает объективной количественной оценки ССОФН в связи с известным правилом мажорантности (смещенности) средних и значительной погрешности отдельного вида средней. Исследование свойств (смещенности, эффективности) выборочных средних позволило обоснованно оценить среднюю, обеспечивающую существенное повышение доверия к результату оценивания и его объективности.

Разработана методика оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению, основанная на использовании метода формирования эталона объекта, метода формализации исходной информации об объекте, метода формирования алгоритма оценивания, метода косвенного оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению.

**В третьей главе «Разработка алгоритмов оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению»** на основе методов определения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия, разра-

ботанного методического подхода для исследования алгоритмов на чувствительность (к изменениям единичных показателей соответствия) и выбора лучших из них по характеристикам несмещенности и эффективности синтезированы обобщенные алгоритмы оценивания. При этом использованы модели определения статистических обобщающих закономерностей изменения составляющих функций оценивания и применение таких закономерностей для разработки методик выбора номинальных величин веса (весовых коэффициентов) единичных показателей соответствия. Характер изменения представлен графически рядом кривых (рис. 1). Отметим, что данные кривые выражают только тенденции изменения, а поэтому могут начинаться и кончаться в точках с различными ординатами.

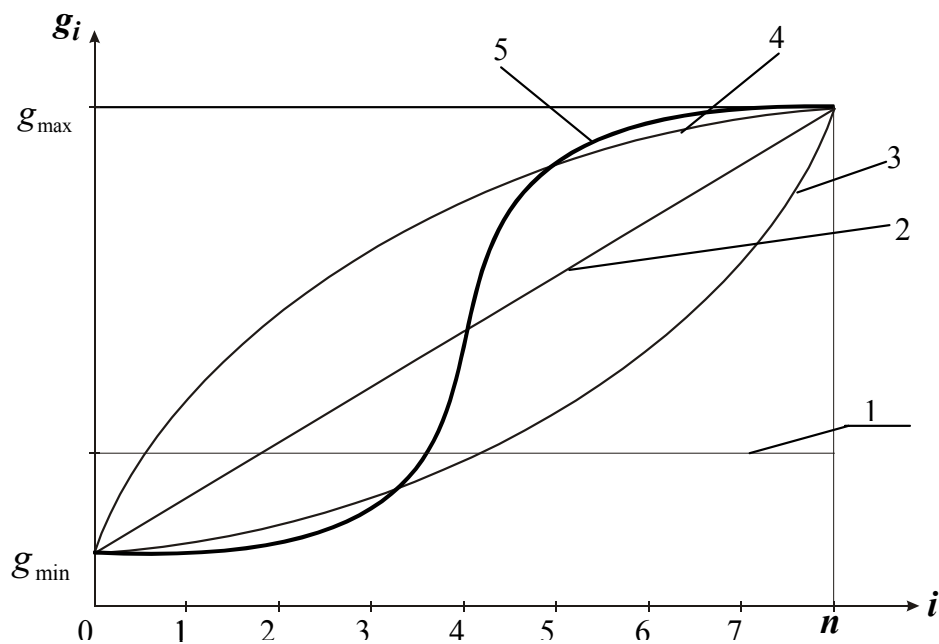


Рис. 1. Графики аналитических зависимостей весовых коэффициентов единичных показателей соответствия

График 1 соответствует постоянным значениям всех коэффициентов

$$g_i = \frac{1}{1+n}, \quad (1)$$

где  $i$  – порядковый номер коэффициента,  $i \in \{0, 1, \dots, n\}$ ;

$m = 1 + n$  – количество единичных показателей соответствия.

График 2 соответствует линейному росту весовых коэффициентов

$$g_i = g_0 + \Delta g \cdot i, \quad (2)$$

где  $\Delta g$  – шаг прироста коэффициента;

$g_0$  – начальное (нулевое) значение коэффициентов.

График 3 соответствует росту коэффициентов с темпом роста более 100%

$$g_i = g_0 \cdot T^i, \quad (3)$$

где  $T$  – темп роста коэффициентов,  $T > 1$ .



График 4 соответствует случаю с постепенным замедлением (уменьшением) темпа роста весовых коэффициентов

$$g_i = g_m - \Delta g_p \cdot T^i, \quad (4)$$

где  $\Delta g_p = g_m - g_0$  – размах значений весовых коэффициентов;

$g_m$  – предельное значение весовых коэффициентов, представляет собой асимптоту;

$T$  – параметр, характеризующий темп уменьшения весовых коэффициентов,  $T < 1$ .

График 5 соответствует случаю, когда на первом этапе темп роста коэффициентов больше 100%, а на втором этапе (кроме точки перегиба графика) темп роста менее 100%

$$g_i = g_m \cdot g_0^{b^i}, \quad (5)$$

где  $b$  – параметр графика, определяющий темпы роста весовых коэффициентов;

$g_m$  – асимптота при предельном значении коэффициентов;

$g_0$  – параметр, пропорциональный или равный наименьшему значению коэффициента веса (при  $g_m = 1$ ).

Из выражений (1), (2), (3), (4) и (5) видно, что:

- графики 1 и 2 – графики прямых с угловым коэффициентом, равным нулю и отличным от нуля (линейная зависимость);
- график 3 соответствует экспоненциальной зависимости;
- график 4 соответствует модифицированной экспоненте;
- график 5 соответствует кривой Гомперца или логистической кривой.

Предложенные методы определения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия использованы для вычисления абсолютных погрешностей алгоритмов оценивания, сформированных на основе выборочных взвешенных средних, а также для решения задач синтеза и анализа алгоритмов оценивания. При этом способы оценивания ССОФН классифицируются по виду алгоритмов (функций) оценивания, положенных в основу процесса оценивания.

Алгоритм 1 имеет вид:

$$\hat{Q}_k^{(1)} = \left( \sum_{i=1}^m S_i^k / m \right)^{1/k}, k = -1, 1, 2,$$

$$\hat{Q}_k^{(1)} = \left( \prod_{i=1}^m S_i \right)^{1/m}, k = 0 \quad (6)$$

где  $k = -1, 0, 1, 2$  соответственно для гармонической, геометрической, арифметической и квадратической выборочных средних;

(1) – номер алгоритма.

В указанном алгоритме использован набор единичных показателей соот-

ветствия  $S_i$  с весовыми коэффициентами  $g_i = 1/m = const$ .

Использование этого алгоритма удобно при предварительном определении степени соответствия. Однако на практике имеют место ситуации, когда отдельные единичные показатели соответствия оказываются весьма важными с учетом их функциональной значимости. Этот факт в работе предложено учитывать путем введения указанных выше тенденций изменения значимости единичных показателей.

Для оценивания эффективности алгоритмов комплексных выборочных средних (при различных тенденциях изменения весовых коэффициентов  $g_i$ ) выражение (6) преобразовано к следующему виду.

Алгоритм 2:

$$\begin{aligned}\hat{Q}_k^{(2)} &= \left( \sum_i g_i S_i^k \right)^{\frac{1}{k}}, \quad k = -1, 1, 2. \\ \hat{Q}_k^{(2)} &= \prod_i S_i^{g_i}, \quad k = 0.\end{aligned}\tag{7}$$

Инструментом анализа алгоритмов выбран дисперсионный подход как наиболее удобный в реализации и позволяющий однозначно интерпретировать результат.

При этом в работе предложено определять непосредственно дисперсию алгоритма – функции оценивания –  $D(\hat{Q}_k)$  и соответствующую среднюю квадратическую погрешность  $\sigma(\hat{Q}_k)$ . Для подтверждения правомерности этого подхода использован численный эксперимент на основе задания:

набора значений формализованных единичных показателей соответствия (возрастающий и убывающий вариационные ряды формализованных единичных показателей соответствия, ранжированные экспертами по степени значимости показателей соответствия: например,

$S_i \in \{0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.85, 0.9, 0.95\} : S_i(\uparrow); S_i \in \{0.95, 0.9, 0.85, 0.7, 0.65, 0.6, 0.55\} : S_i(\downarrow);$

соответствующих им значений среднеквадратических отклонений (СКО)  $\sigma_i$ ,  $\sigma_i = \langle 0.05S_i; 0.1S_i; 0.15S_i \rangle$ ;

значений СКО весовых коэффициентов  $\sigma_{g_i}$ ,  $\sigma_{g_i} = \langle 0.05g_i; 0.1g_i; 0.15g_i \rangle$ .

Из условия независимости случайных величин  $S_i$  получены выражения дисперсии комплексных показателей  $D(\hat{Q}_k)$ :

$$D(\hat{Q}_k^{(1)}) = \sum_{i=1}^m (\hat{Q}_{kS_i}^{(1)'})^2 D(S_i),\tag{8}$$

где  $\hat{Q}_{kS_i}^{(1)'}$  – чувствительности алгоритма  $\hat{Q}_k^{(1)}$  к  $S_i$  при  $k = -1, 0, 1, 2$ , производные алгоритма 1 по  $S_i$ .

В зависимости от  $k$  чувствительности  $\hat{Q}_{kS_i}^{(1)'}$  варьируют и принимают вид: при  $k = -1$

$$\hat{Q}_{-1S_i}^{(1)'} = \frac{m}{S_i^2 \left( \sum_{i=1}^m 1/S_i \right)^2}; \quad (9)$$

при  $k = 0$

$$\hat{Q}_{0S_i}^{(1)'} = \frac{\left( \prod_{i=1}^m S_i \right)^{1/m}}{mS_i}; \quad (10)$$

при  $k = 1$

$$\hat{Q}_{1S_i}^{(1)'} = 1/m; \quad (11)$$

при  $k = 2$

$$\hat{Q}_{2S_i}^{(1)'} = \frac{S_i}{\sqrt{m \sum_{i=1}^m S_i^2}}. \quad (12)$$

Аналогичный подход использован при исследовании алгоритма 2, который, как показано в работе, является функционально более содержательным при учете различных сочетаний единичных показателей соответствия и их весовой значимости.

При этом получены выражения чувствительности  $\hat{Q}_k^{(2)}$  к  $S_i$ ,  $g_i$ , т.е.  $\hat{Q}_{kS_i}'$ ,  $\hat{Q}_{kg_i}'$ , и дисперсии, вызванные дисперсиями  $S_i$  и  $g_i$ .

$$\hat{Q}_{kS_i}^{(2)'} = \frac{1}{k} \left( \sum_i g_i S_i^k \right)^{\frac{1}{k}-1} (g_i k S_i^{k-1}) = g_i S_i^{k-1} \left( \sum_i g_i S_i^k \right)^{\frac{1}{k}-1}; \quad (13)$$

$$\hat{Q}_{kg_i}^{(2)'} = \frac{1}{k} \left( \sum_i g_i S_i^k \right)^{\frac{1}{k}-1} S_i^k, \quad (14)$$

где  $k \in \{-1, 0, 1, 2\}$

Для  $k = -1$ , (13) и (14) конкретизированы и получены выражения дисперсии  $\hat{Q}_{-l}^2$ :

$$\hat{Q}_{-1S_i}^{(2)'} = g_i S_i^{-2} \left( \sum_i g_i S_i^{-1} \right)^{-2};$$

$$\hat{Q}_{-1g_i}^{(2)'} = -S_i^{-1} \left( \sum_i g_i S_i^{-1} \right)^{-2};$$

$$\hat{D}(\hat{Q}_{-l}^{(2)}) = (\hat{Q}_{-1S_i}^{(2)'})^2 D(S_i) + (\hat{Q}_{-1g_i}^{(2)'})^2 D(g_i);$$

$$\hat{D}(\hat{Q}_{-l}^{(2)}) = \sum_i \left\{ \left[ g_i S_i^{-2} \left( \sum_i g_i S_i^{-1} \right)^{-2} \right]^2 D(S_i) + \left[ -S_i^{-1} \left( \sum_i g_i S_i^{-1} \right)^{-2} \right]^2 D(g_i) \right\}. \quad (15)$$

Для  $k = 0$  аналогично:

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{0S_i}^{(2)'} &= \left(\prod_{j \neq i} S_j^{g_j}\right) S_i^{g_i-1} g_i ; \\ \hat{Q}_{0g_i}^{(2)'} &= \left(\prod_i S_i^{g_i}\right) \ln S_i ; \\ \hat{D}(\hat{Q}_{0i}^{(2)}) &= \left(\left(\prod_{j \neq i} S_j^{g_j}\right) S_i^{g_i-1} g_i\right)^2 D(S_i) + \left(\left(\prod_i S_i^{g_i}\right) \ln S_i\right)^2 D(g_i) ; \\ \hat{D}(\hat{Q}_0^{(2)}) &= \sum_i \hat{D}(\hat{Q}_{0i}^{(2)}) .\end{aligned}\tag{16}$$

Для  $k = 1$ :

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{1S_i}^{(2)'} &= g_i ; \\ \hat{Q}_{1g_i}^{(2)'} &= S_i ; \\ \hat{D}(\hat{Q}_{1i}^{(2)}) &= g_i^2 D(S_i) + S_i^2 D(g_i) ; \\ \hat{D}(\hat{Q}_1^{(2)}) &= \sum_i g_i^2 D(S_i) + \sum_i S_i^2 D(g_i) .\end{aligned}\tag{17}$$

Для  $k = 2$ :

$$\begin{aligned}\hat{Q}_{2S_i}^{(2)'} &= g_i S_i \left(\sum_i g_i S_i^2\right)^{-\frac{1}{2}} ; \\ \hat{Q}_{2g_i}^{(2)'} &= \frac{1}{2} S_i^2 \left(\sum_i g_i S_i^2\right)^{-\frac{1}{2}} ; \\ \hat{D}(\hat{Q}_2^{(2)}) &= \sum_i \left\{ \left[ g_i S_i \left(\sum_i g_i S_i^2\right)^{-\frac{1}{2}} \right]^2 D(S_i) + \left[ \frac{1}{2} S_i^2 \left(\sum_i g_i S_i^2\right)^{-\frac{1}{2}} \right]^2 D(g_i) \right\} .\end{aligned}\tag{18}$$

Далее в работе с целью исключения влияния мажорантности комплексных показателей предложены два подхода для синтеза обобщенных алгоритмов: на основе различных выборочных средних и на основе представлений нечетких множеств – функций принадлежности комплексных показателей алгоритмов.

Исследован обобщенный алгоритм на основе выборочных средних вида (19), в котором единичные показатели заменяются комплексными, но при определенной тенденции  $(t)$   $g_i$ :

$$\mathcal{Q}_{o(k)t}^{(l)} = \left( \sum_{k=1}^N \mathcal{Q}_{(k)}^k / N \right)_t^{\frac{l}{k}} ,\tag{19}$$

$N$  – число учитываемых выборочных средних  $\mathcal{Q}_{(k)}$ . При  $k \in \{-1; 0; 1; 2\}$   $N = 4$ ;

$k$  – нижний индекс  $(Q_{(k)})$  – номер комплексной оценки выборочной средней;

$t$  – символ тенденции изменения весовых коэффициентов:  $t=1$  – тривиальный случай (все весовые коэффициенты единичных показателей  $S_i$  – const и равны  $\frac{1}{m}$ , т.е. тенденция изменения весовых коэффициентов отсутствует);  $t=2$  – тенденция линейная;  $t=3$  – тенденция экспоненциальная;  $t=4$  – тенденция модифицированная экспонента;  $t=5$  – тенденция логистическая кривая;

(1) – условный символ подхода (например, первого) синтеза обобщенных алгоритмов.

В конкретном выражении второй подход представлен алгоритмом

$$Q_{ot}^{(2)} = \left( \frac{\sum_k Q_{(k)} \cdot \mu_{\tilde{Q}}(Q_{(k)})}{\sum_k \mu_{\tilde{Q}}(Q_{(k)})} \right)_t, \quad (20)$$

где  $Q_k$  – комплексный показатель соответствия;

$\mu_{\tilde{Q}}(Q_k)$  – функция принадлежности показателя  $Q_k$  нечеткому множеству показателей  $\tilde{Q} \in [0, 1]$ ;

$t$  – символ тенденции изменения весовых коэффициентов;

(2) – условный символ второго подхода.

С учетом данных эксперимента  $\mu_{\tilde{Q}}(Q_k)$  имеет вид:

$$\mu_{\tilde{Q}}(Q_k) = 1 - \frac{D(Q_{(k)})}{(Q_{kB} - Q_{kH})^2}, \quad (21)$$

где  $D(Q_{(k)})$  – дисперсия  $Q_k$ -го алгоритма;

$Q_{kB}, Q_{kH}$  – предельные значения  $Q_k$ -степени соответствия, определенные эвристически.

Из (21) следует, что чем более эффективен алгоритм  $Q_k$ , тем больше значение его функции принадлежности. Этот факт – оправдание целесообразности подхода, представленного (20).

Эксперимент показал, что предложенные алгоритмы более эффективны и дают меньший систематический разброс оценок соответствия.

На основании проведенных исследований и ранее полученных результатов разработана методика определения метрологических характеристик комплексных и обобщенных алгоритмов определения соответствия объектов функциональному назначению, реализованная в виде программы в системе визуального программирования DELPHI 7. Данная разработка является программой для ЭВМ, предназначенной для исследования алгоритмов оценивания ССОФН и практического применения в составе автоматизированных систем поддержки принятия решений по анализу качества объектов различного назначения. В качестве основных структурных элементов программы для ЭВМ выступают мо-

дули: AKVS; Unit\_AKVS. Текст программы приведен в приложении А диссертационной работы.

Результаты экспериментальных исследований содержатся в **четвертой главе** диссертационной работы.

На основании исследования условий нормирования весовых коэффициентов  $g_i$  получены их расчетные значения  $g_H^i$ , графики представлены на рис. 2.

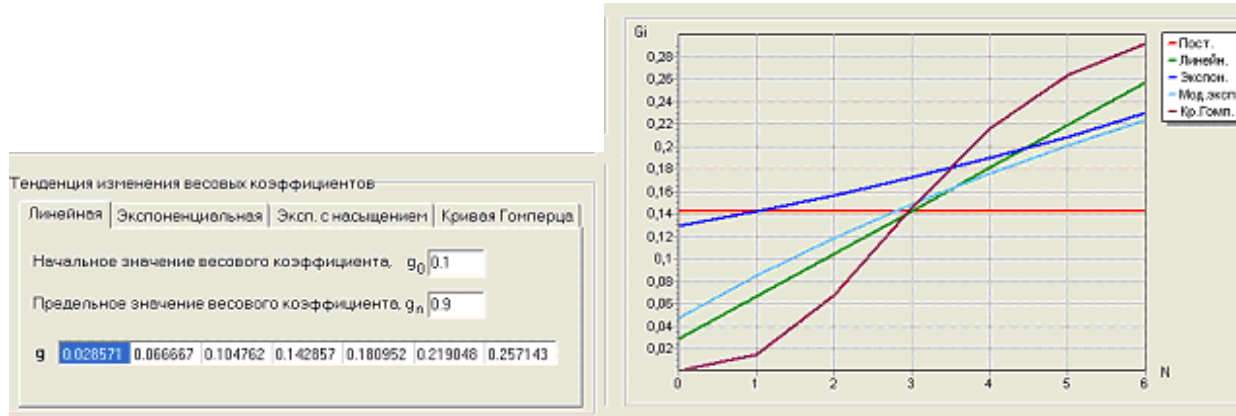


Рис. 2. Расчетные значения весовых коэффициентов при линейной тенденции изменения; графики зависимостей весовых коэффициентов единичных показателей соответствия

Результаты эксперимента по оцениванию значений выборочных средних  $\hat{Q}_k^{(1)}, \hat{Q}_k^{(2)}$  и дисперсий  $D(\hat{Q}_k^{(1)}), D(\hat{Q}_k^{(2)})$  при условии возможных вариаций значений единичных показателей  $S_i$  представлены на рис. 3, 4.

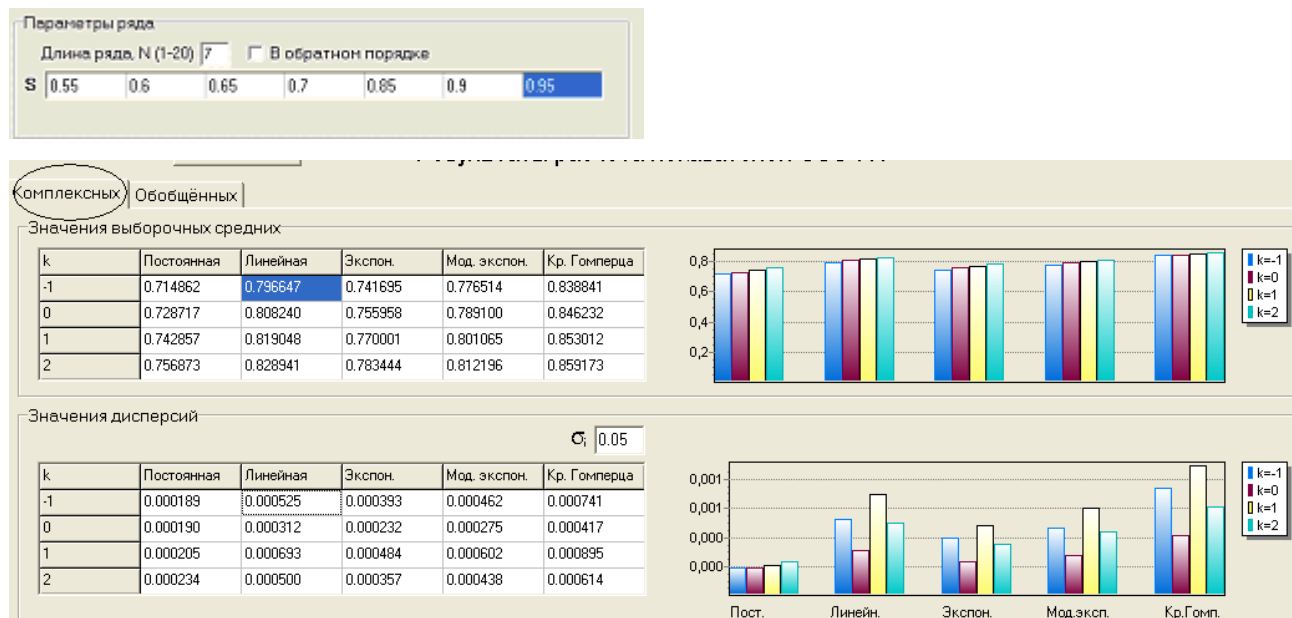


Рис. 3. Значения выборочных средних и значения дисперсий алгоритмов

$$\text{при } \sigma_i = 0.05 \cdot S_i; S_i(\uparrow); \sigma_{g_i} = 0.05 g_i$$

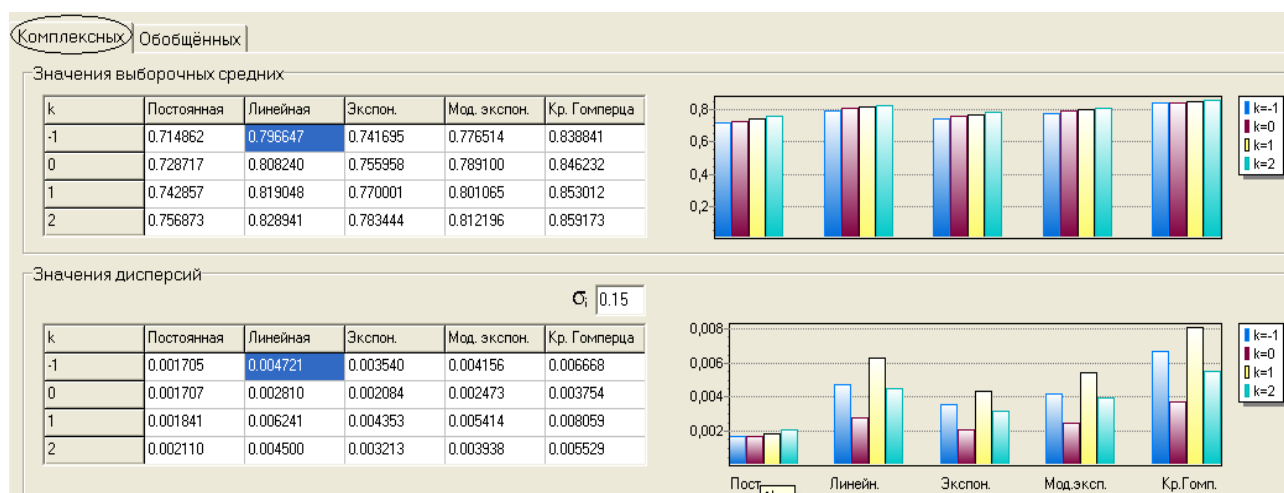


Рис. 4. Значения выборочных средних и значения дисперсий алгоритмов  
при  $\sigma_i = 0.15 \cdot S_i; S_i(\uparrow); \sigma_{g_i} = 0.15 g_i$ .

Численный эксперимент был повторен при смене ряда данных на убывающий  $S_i \in \{0.95, 0.9, 0.85, 0.7, 0.65, 0.6, 0.55\}: S_i(\downarrow)$ . Соответствующие расчетные данные представлены на рисунках 5,6.

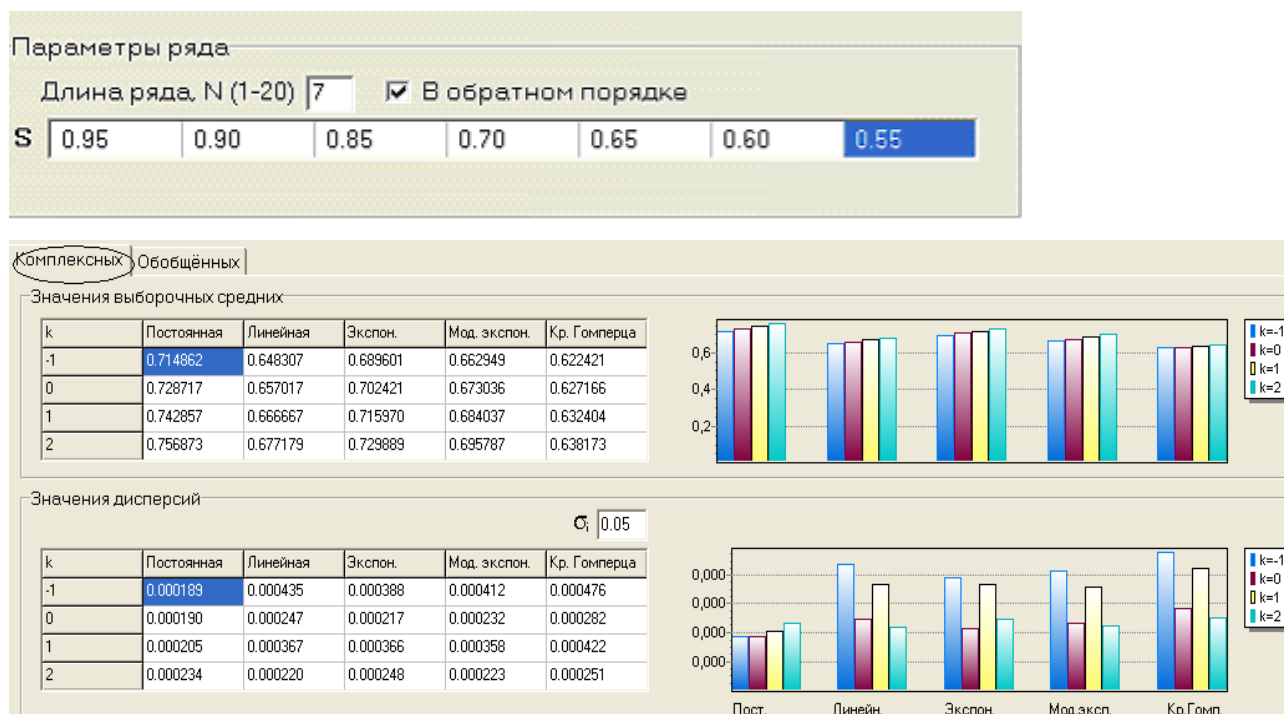


Рис. 5. Значения выборочных средних и значения дисперсий алгоритмов  
при  $\sigma_i = 0.05 \cdot S_i; S_i(\downarrow); \sigma_{g_i} = 0.05 g_i$

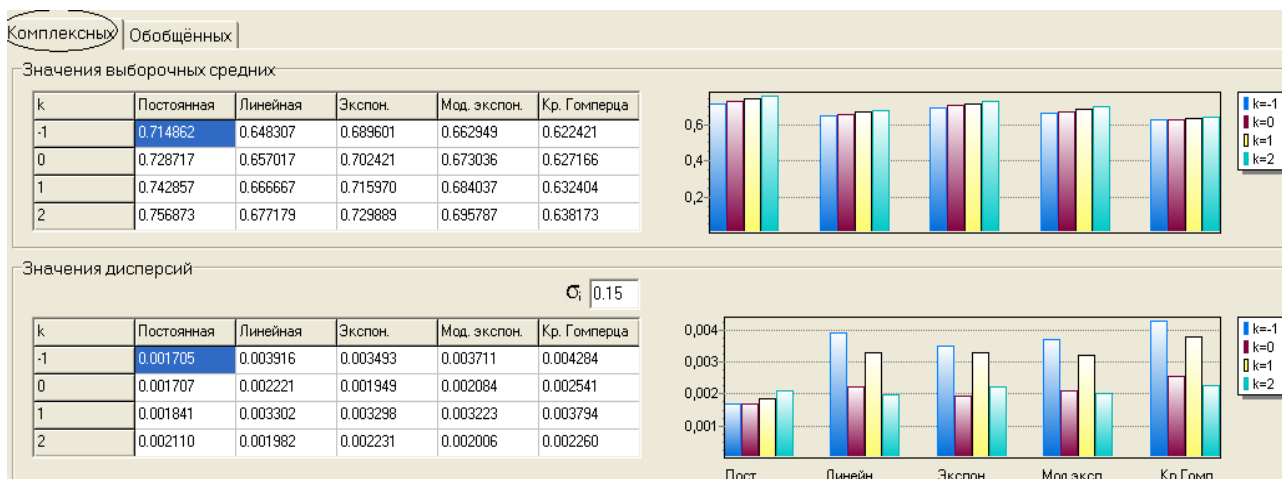


Рис. 6. Значения выборочных средних и значения дисперсий алгоритмов

$$\text{при } \sigma_i = 0.15 \cdot S_i; S_i(\downarrow); \sigma_{g_i} = 0.15 g_i$$

Анализ данных численного эксперимента показал: наибольшей устойчивостью показаний эффективности обладает алгоритм 1, соответствующий средней гармонической и средней геометрической оценке соответствия (при  $k = -1, 0$ ) и алгоритм 2, соответствующий средней геометрической оценке соответствия (при  $k = 0$ ); а оценки степени соответствия при различных тенденциях изменения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия (линейной с нулевым и отличным от нуля угловым коэффициентом, экспоненциальной, модифицированной экспоненте, логистической кривой) имеют существенное расхождение по эффективности и смещенности. Последнее – в значительной степени в силу мажорантности оценок выборочных средних.

Для исключения этого влияния в работе предложены обобщенные алгоритмы. Отдельные результаты расчетов показателей ССОФН и их дисперсий, СКО, вариаций на основе обобщенных алгоритмов  $Q_{o(k)}^{(1)}, Q_{o(t)}^{(2)}$ , соответствующих линейной и экспоненциальной тенденциям изменения весовых коэффициентов, представлены на рис. 7, 8.



Рис. 7. Результаты расчетов  $Q_{o(k)}^{(1)}, Q_{o(t)}^{(2)}$

при линейной тенденции изменения весовых коэффициентов



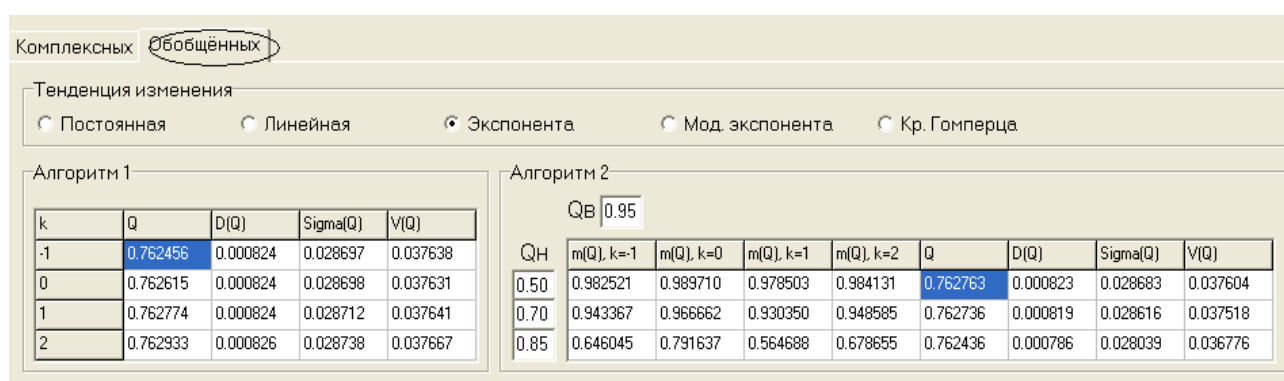


Рис. 8. Результаты расчетов  $Q_{o(k)}^{(1)}$ ,  $Q_{o(t)}^{(2)}$  при экспоненциальной тенденции изменения весовых коэффициентов

Анализ данных численного эксперимента показал: комплексные показатели при различных тенденциях изменения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия  $g_i$  расходятся в среднем на величину до 6%; обобщенные показатели при тех же тенденциях расходятся значительно меньше – на величину до 0,03%.

Результаты эксперимента свидетельствуют о высокой эффективности обобщенных алгоритмов и целесообразности их использования на практике. Экспериментально подтверждена существенная роль функций принадлежности наиболее эффективных комплексных показателей при ужесточении требований к оцениванию ССОФН.

Достоверность научных результатов исследования подтверждена сходимостью теоретических и экспериментальных данных результатов оценивания качества подготовки специалистов (на примере специальности 060800 «Экономика и управление на предприятии») и качества подготовки специалистов (на примере шести специальностей) со сведениями из аналитической справки о результатах внешней аттестационной экспертизы профессиональных образовательных программ по специальностям в аккредитованном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенская государственная технологическая академия».

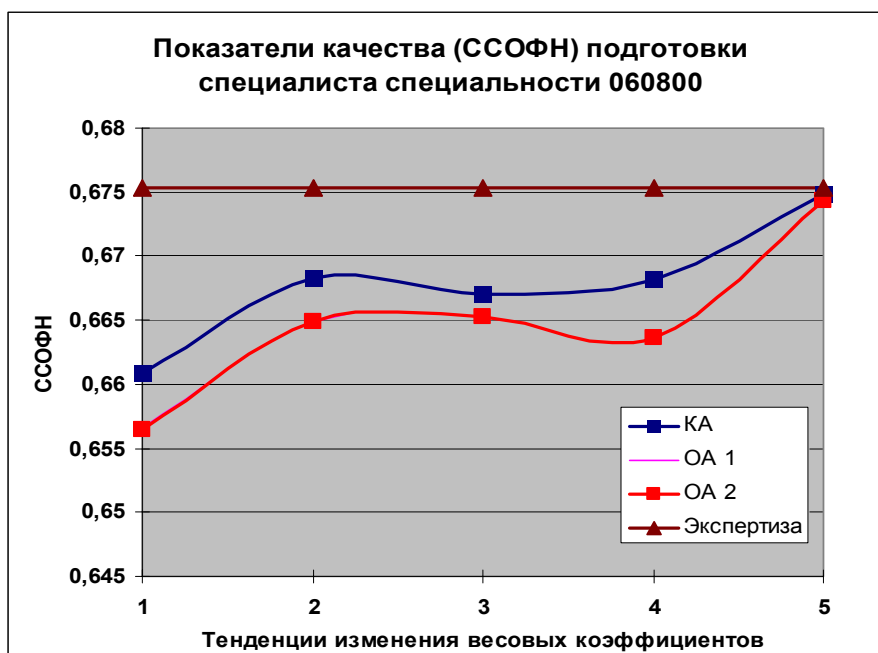


Рис. 9. Значения комплексного, обобщенного показателей качества подготовки специалиста специальности 060800 «Экономика и управление на предприятии»

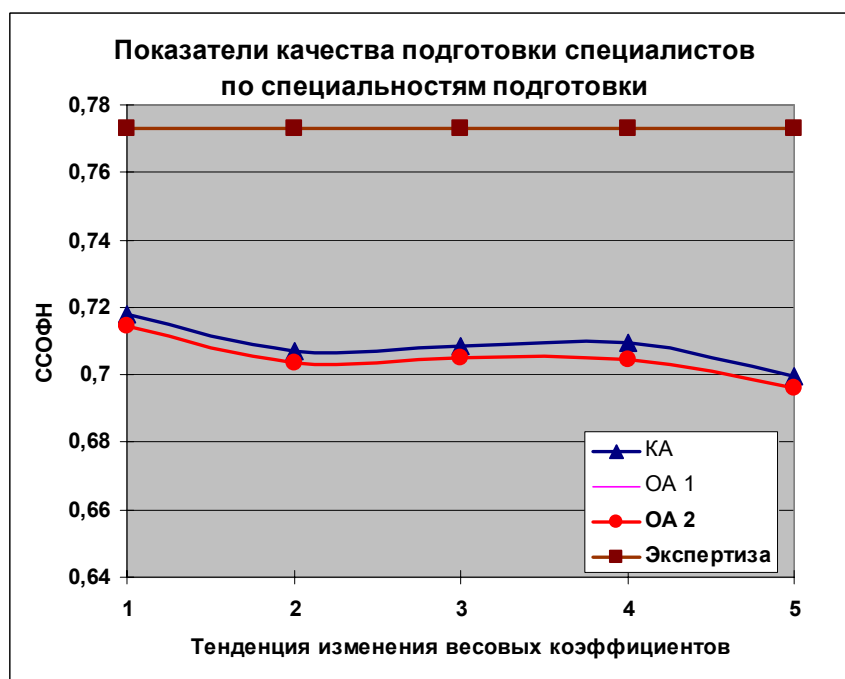


Рис. 10. Значения комплексного, обобщенного показателей качества подготовки специалистов, экспертного оценивания (по специальностям подготовки)

Интерпретация алгоритмов на данных, составляющих перечни из 4-х (показатели качества образования (уровень подготовки выпускников – студентов старших курсов) по блокам дисциплин: гуманитарных и социально-экономических (ГСЭ), естественно-научных (ЕН), общеобразовательных (ОП), специальных (СД)) и 15-ти позиций (показатели качества образовательных услуг: соответствие

внутривузовской нормативной документации требованиям законодательства и нормативных положений в системе образования; наличие государственного стандарта, соответствие нормативного срока реализации образовательных программ ГОС по формам обучения; структура и содержание образовательных программ; организация учебного процесса; информационно-методическое обеспечение; уровень требований при приеме; характеристика внутривузовской системы контроля качества подготовки специалистов; эффективность внутривузовской системы контроля качества подготовки специалистов; итоговая аттестация выпускников; востребованность выпускников; кадры; научно-методическая работа; научно-исследовательская работа; материально-техническая база; учебно-лабораторная база) позволили выявить существенность дифференцирования тенденций изменения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия в процессе квалиметрических оценок качества высшего образования. Показано, что особенно существенен учет тенденций изменения весовых коэффициентов единичных показателей в случае малого объема информации (при оценке качества подготовки специалиста по блокам дисциплин).

В работе сформулированы предложения по использованию разработанных алгоритмов оценивания в составе соответствующих автоматизированных систем поддержки процессов оценивания ССОФН (АС ППО ССОФН).

Предлагаемая концептуальная модель автоматизированной системы включает в себя автоматизированные рабочие места (АРМы): лица, принимающего решения (ЛПР); менеджера проектов; группы экспертов; специалистов-разработчиков. Взаимодействие пользователей системы оценивания ССОФН выполняется с использованием единой базы данных, составными частями которой являются: «Общие требования», «Данные об экспертах», «Назначение, цели», «Данные об объектах», «Виртуальные эталоны», «Показатели и весовые коэффициенты», «Оценки экспертов», «Итоговые оценки», «Материалы по экспертному оцениванию». Состав базы данных АС определяется на основе декомпозиции информационных потоков. В рамках автоматизированной системы могут быть использованы алгоритмы оценивания ССОФН, с целью поддержки процессов принятия решений по анализу качества объектов различного назначения.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Предложен методический подход и разработан аналитический аппарат для исследования алгоритмов оценивания ССОФН на эффективность и несмещенность.

2. Разработаны аналитические методы определения весовых коэффициентов единичных показателей соответствия с учетом различных тенденций изменения их значимости.

3. Предложены и исследованы различные алгоритмы оценивания ССОФН, учитывающие вариации единичных показателей соответствия и их весовых коэффициентов.

4. Разработаны два подхода к синтезу обобщенных алгоритмов оценива-

ния ССОФН и соответствующие алгоритмы: на основе различных выборочных средних, в которых используются комплексные показатели соответствия, и на основе представлений нечетких множеств – функций принадлежности комплексных показателей соответствия. Результаты численного эксперимента показали, что предложенные обобщенные алгоритмы оценивания ССОФН имеют высокие показатели эффективности и несмещенности.

5. Разработана методика оценивания ССОФН, отвечающая основным требованиям стандартов ИСО 9000:2000, реализованная в форме компонентов прикладного программного обеспечения системы менеджмента качества вуза.

6. Разработана концепция создания автоматизированной системы поддержки принятия решений процессов оценивания ССОФН.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Кузнецова, М.В. Методика выбора алгоритмов оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению с учетом их эффективности и метрологических характеристик [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. – 2008. – № 1. – С. 228–233.

2. Кузнецова, М.В. Комплексные и обобщенные алгоритмы оценивания степени соответствия объектов функциональному назначению и оценивание их эффективности и метрологических характеристик [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Практика противокоррозионной защиты. М. : КАРТЭК, – 2008. – № 2 (48). – С. 68–70.

3. Кузнецова, М.В. Возможности анализа и повышения качества высшего образования с использованием методов квалиметрии [Текст] / М.В. Кузнецова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – т.5. – № 10. – С. 48–55.

### **Статьи, материалы конференций**

4. Кузнецова, М.В. Дисперсионный анализ эффективности и смещенности алгоритмов оценивания соответствия объектов функциональному назначению [Текст] / В.В. Рыжаков, М.В. Кузнецова, М.В. Рыжаков // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России.\* – М. : ВИМИ, – 2007. – № 1. – С. 100–110.

5. Кузнецова, М.В. Исследование метрологических характеристик комплексных и обобщенных алгоритмов оценивания соответствия объектов функциональному назначению [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России.\* – М. : ВИМИ, – 2007. – № 2. – С. 36–38.

6. Кузнецова, М.В. Особенности синтеза виртуального эталона, предназначенного для оценивания степени соответствия объекта функциональному назначению [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России.\* – М. : ВИМИ, – 2007.

– № 2. – С. 112–114.

7. Кузнецова, М.В. Синтез обобщенных алгоритмов оценивания соответствия объектов функциональному назначению и анализ их эффективности и смещенности [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России.\* – М. : ВИМИ, – 2007. – № 2. – С. 119–123.

8. Кузнецова, М.В. Исследование методов оценивания характеристик нестационарных случайных процессов [Текст] // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2005. – С.64–66.

9. Кузнецова, М.В. Разработка аналитических основ оценивания эффективности алгоритмов измерения соответствия [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2006. – С. 85–91.

10. Кузнецова, М.В. Разработка математических основ методики оценивания эффективности тривиальных алгоритмов измерения соответствия объектов функциональному назначению [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Современные информационные технологии: Труды международной научно-технической конференции (Computer-based conference). Вып.3. – Пенза : ПГТА, 2006. – С. 22–25.

11. Кузнецова, М.В. Критерии оценивания соответствия сложных объектов [Текст] // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: Сборник статей XIX Международной научно-технической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2007. – С. 159–164.

12. Кузнецова, М.В. Исследование алгоритмов комплексных выборочных средних оценивания соответствия [Текст] / М.В. Кузнецова, В.В. Рыжаков, М.В. Рыжаков // Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем: Сборник статей II Международной научно-технической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2007. – С. 293–297.

13. Кузнецова, М.В. Дисперсионный подход к выбору моделей алгоритмов в системах оценивания качества [Текст] // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов: Материалы 1-й международной Казахстанско-Российско-Японской научной конференции и 6-го Российско-Японского семинара. МИСиС – Interactive Corp. – ВКГТУ: 24-25 июня 2008 – Усть-Каменогорск, Восточно-Казахстанский Государственный Технологический Университет, 2008. – С. 710–719.

14. Кузнецова, М.В. Качество образования как объект оценивания [Текст] // Проблемы качества образования в современном обществе: Сборник

---

\* См. Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (2001-2006). Статья поступила в редакцию в октябре 2006 года.

статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2009. – С.15–22.

### **Программа для ЭВМ**

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета комплексных и обобщенных показателей степени соответствия объекта функциональному назначению / М.В. Кузнецова, Н.П. Будунов. – № 2009610633; Заявка № 2008615782 от 08 декабря 2008 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28 января 2009 г.