

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ, ТРЕБОВАНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ЗНАНИЙ: ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА

А.Я. Дмитриев^{1,2}, Т.А. Митрошкина¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет), Самара, Россия
dmitriev57@rambler.ru

²Самарская государственная областная академия (Наяновой), Самара, Россия
t.mitroshkina@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются особенности разработки продукции и технологических процессов на основе онтологического подхода и эффективного применения метода развёртывания (структурирования) функции качества QFD. Предложенная модель идентификации качества как решения обратной некорректно поставленной задачи на основе онтологического подхода и метода QFD обладает усовершенствованным математическим аппаратом и позволяет использовать различную дополнительную информацию. Предлагаемый устойчивый матричный метод MTQFD (*Matrix Technique QFD*) позволяет определять не только приоритеты, но и оценки целевых значений характеристик продукции и параметров технологических процессов, при этом возможно использование информации об отрицательных взаимосвязях. Рекомендации по применению устойчивого матричного метода MTQFD определения приоритетов и оценок целевых значений характеристик продукции и параметров технологических процессов и предложенная онтологическая модель универсальны и могут быть использованы для идентификации качества продукции и услуг.

Ключевые слова: модель, идентификация качества, QFD, развёртывание функции качества, онтология, база знаний, менеджмент знаний, матричный метод QFD.

Введение

Эффективная разработка продукции и управление качеством на основе онтологического подхода, выполнения требований стандартов, применения баз знаний, предметных онтологий и методов менеджмента качества является важнейшим направлением повышения конкурентоспособности продукции и отечественных предприятий на современном этапе. Вопросы модернизации продукции и технологий в свете современной конкуренции и задач импортозамещения выходят на передний план для российской промышленности.

Под проектированием качества продукции мы понимаем разработку необходимой продукции на основе ожиданий потребителей, знаний и параметрической идентификации характеристик качества. Идентификация качества (определения приоритетов и целевых значений характеристик) на основе ожиданий потребителей и знаний разработчика является ключевой задачей, от решения которой зависят дальнейшие этапы проектирования и жизненного цикла продукции и в конечном итоге конкурентоспособность организации. Трудности при идентификации качества новой и сложной продукции возникают в связи с тем, что задача параметрической идентификации, по сути, является обратной. Необходимо определить характеристики проектируемой продукции или услуги (причину) по выявленной удовлетворенности (следствие). Успех решения обратных задач сильно зависит как от качества и количества ис-

ходной информации, так и от способа её обработки. В то же время задача параметрической идентификации качества продукции и услуг, как и большинство обратных задач, является некорректной. Некорректность проявляется, в том числе, в высокой изменчивости требований во времени, неоднозначности невысказанных ожиданий и т.д.

Целью работы является повышение качества и конкурентоспособности продукции за счёт проектирования и модернизации продукции и технологических процессов на основе широкого использования различного рода информации (знаний) и идентификации целевых значений характеристик продукции и параметров процессов при эффективном применении развёртывания (структурирования) функции качества QFD (*Quality Function Deployment*). Авторы полагают, что для достижения установленной цели необходимо решение следующих задач:

- создать модель идентификации качества как решения обратной некорректно поставленной задачи на основе метода QFD [1-4] с усовершенствованным математическим аппаратом и использованием дополнительной информации;
- разработать устойчивый матричный метод MTQFD (*Matrix Technique QFD*) определения приоритетов и параметрической идентификации целевых значений характеристик продукции/компонентов и параметров технологических процессов, учитывающий базу знаний;
- разработать методику и программный модуль учёта дополнительной информации в системе MathCAD для параметрической идентификации целевых значений конкретных характеристик продукции/компонентов и параметров технологического процесса с учётом погрешности входной информации на основе метода MTQFD.

1 Роль онтологической парадигмы в международных стандартах менеджмента

Формирование научной рациональности и научно-технический прогресс вывели на первый план установки на эффективное преобразование реального. Онтология предстала учением о бытии как должном, как обоснование эффективного проекта преобразования бытия. Достижения информационных технологий и привели к смене онтологической парадигмы: представлениям о бытии как *потенциально возможном*. Новая парадигма выражает смену установок в рассмотрении бытия в качестве действительности «как она есть»; как рационально необходимого - на то, какова она может быть. Речь идёт о необходимом, реальном и возможном [6].

Парадигма постнеклассической науки и онтологического моделирования исследует весь цикл проектирования, включая генезис зарождения идеи из возникающей потребности, трансформации её в техническое задание на проектирование и сам процесс описания нового артефакта во взаимодействии с проектной средой. Параллельно с процессом дифференциации идёт и интеграционный процесс в области научных знаний, когда прорывные идеи рождаются на стыках уже «устоявшихся» научных знаний, представлений и сложившихся дисциплин. Этот происходящий в науке естественный процесс есть не что иное, как «искусственный» приём, позволяющий искать и находить свой путь к знаниям [7].

Проектирование и разработка онтологий (онтологический инжиниринг) – основа концепции менеджмента знаний – на настоящий момент наиболее перспективный подход к управлению сложными «информационно наполненными» системами. Разработка систем менеджмента знаний включает несколько этапов: накопление, извлечение, структурирование, формализация и программная реализация, обслуживание. На данный момент разработано достаточно много онтологий (онтологических моделей) для описания и управления сложными

ми системами в самых различных предметных областях (ПрО) - от искусственного интеллекта, медицины, интернет-технологий до систем управления организациями, отдельных видов деятельности и продукции. Построение информационных моделей в ситуационном управлении рассматривается как задача построения онтологий ПрО и онтологических моделей ситуаций [8].

Основная задача онтологического подхода – упорядочение знаний путём их систематизации, создания единой иерархии понятий, унификации терминов и правил интерпретации - отвечает общей цели повышения эффективности проектирования продукции в соответствии с требованиями и ожиданиями потребителя. Методология онтологического инжиниринга позволит оптимизировать процесс проектирования продукции с учётом не только требований и ожиданий потребителей, но и накопленной базы знаний разработчика.

Онтологию проектирования понимают как формализованное описание знаний субъектов проектирования о процессе проектирования новых или модернизации уже известных артефактов, знания о самом объекте проектирования и близких к нему по свойствам артефактов, а также тезаурус ПрО. Проектирование использует полученные наукой и практикой модели уже с целью преобразования предметов практической деятельности в соответствующие продукты. Это преобразование всегда определено сущностными связями, законами изменения и развития объектов, и сама деятельность может быть успешной только тогда, когда она согласуется с этими законами [7, 9].

Современные международные стандарты на системы менеджмента, включая стандарт на систему менеджмента качества ISO 9001, разрабатываются с использованием единого подхода и требуют управления базами знаний организаций [10, 11]. Так, новая версия стандарта ISO 9001 (ISO 9001:2015) разработана в соответствии с приложением к директиве ISO Annex SL (ISO/IEC Directives, Part 1 Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO). Директива устанавливает новый, единый стандарт для систем управления (на основе ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001, ISO 22000, ISO/IEC 27001 и др.), в соответствии с которым все стандарты систем управления будут приведены к единой структуре.

Пункт 7.1.6 ISO 9001:2015 «Знания организации» в проекте стандарта ISO 9001:2015 содержит требования по управлению базой знаний [12]:

- определить знания, необходимые организации для реализации процессов и достижения соответствия продукции и услуг;
- информация должна храниться и быть доступной в той степени, в которой это необходимо;
- при изменении потребностей и тенденций организация должна проанализировать комплекс существующих знаний и выработать методы получения новых знаний.

Интеграция в ISO 9001 требований в области управления знаниями и внедрение риск-менеджмента являются основными направлениями обновления стандарта и приведения его к современному уровню развития управленческой науки.

2 Разработка модели и метода идентификации качества продукции на основе онтологического подхода и QFD

Ключевой задачей обеспечения качества является определение (идентификация) характеристик качества продукции. От решения этой задачи зависят дальнейшие этапы жизненного цикла продукции и, в конечном итоге, конкурентоспособность организации. В теории управления под идентификацией системы понимают определение структуры системы и её параметров путем анализа входных и выходных данных системы [13]. Рассмотрим структур-

ную и параметрическую идентификацию товарной продукции с использованием современных методов управления качеством.

Современным методом трансформации требований потребителя в непосредственные характеристики новой (или модернизируемой) продукции и идентификации качества является метод QFD. Целью применения метода является преобразование запроса потребителя (требований и ожиданий) в технические характеристики продукции и рабочие инструкции, визуализация, документирование и планирование качества продукции. Основным элементом QFD является именно *развёртывание* требований потребителя в производстве и достижение соответствующих технических характеристик, отвечающих ожиданиям потребителя. То есть речь в данном случае идёт о подготовке производства к выпуску нового изделия [4].

В развернутом виде процесс реализации QFD включает четыре уровня, и на каждом из них строится свой Дом качества (*House of Quality*, HoQ), в классическом виде, состоящий из шести частей (рисунок 1): 1 – требования потребителя (включая важность требований для потребителя); 2 – технические характеристики; 3 – уровень зависимости выполнения требований от технических характеристик; 4 – оценка выполнения требований (с точки зрения потребителя) для существующей на рынке подобной продукции; 5 – корреляция между техническими характеристиками; 6 – значения технических характеристик, оценки абсолютной и относительной важности характеристик.



Рисунок 1 – Дом качества (HoQ) QFD I уровня

На I уровне потребительские характеристики преобразуются в технические. Затем последние преобразуются в характеристики компонентов (II уровень), далее – в параметры процессов (III уровень), а затем - в требования к исполнению операций (IV уровень).

Основным элементом Дома качества является матрица взаимосвязи: требований и характеристик продукции на I уровне QFD, характеристик продукции и характеристик компонентов на II уровне QFD, характеристик компонентов и параметров технологических процессов на III уровне QFD, параметров технологических процессов и параметров производственных/вспомогательных операций на IV уровне QFD. Наиболее часто используется 4-точечная шкала взаимосвязи: отсутствие, слабая, средняя, сильная.

Результатом применения QFD является определение приоритетов и выявление характеристик продукции, характеристик компонентов, параметров технологического процесса и вспомогательных операций, в наибольшей степени влияющих на выполнение требований потребителя.

Так, абсолютное значение приоритета j -ой обобщенной характеристики продукции на 1 уровне QFD рассчитывается по формуле:

$$(1) \quad q1_j = \sum_{i=1}^n (p1_i \cdot h1_{ij}) = p1_1 h1_{1j} + p1_2 h1_{2j} + \dots + p1_n h1_{nj}$$

где $h1_{ij}$ – коэффициент взаимосвязи j -ой обобщенной характеристики продукции и i -го требования,

$p1_i$ – относительное значение важности i -го требования для потребителя,

n – количество требований потребителя.

QFD впервые был применён в Японии в конце 60-х годов прошлого века, первые публикации на английском языке появились в конце 80-х годов. На русском языке первые публикации по развёртыванию функции качества появились только в начале 2000-х годов [3, 4]

Методы идентификации качества эволюционируют одновременно с развитием самого понятия «качество». При этом значительную роль в развитии QFD играют математические подходы, которые используются как в вычислительной части (матричное исчисление, решение обратной задачи), так и в части интеграции с другими методами, такими как таблица голоса потребителя (VOCT) [1, 2], теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) [14, 15], анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) [16-18], проекты улучшения «Шесть сигма» и другими [19-21].

При реализации QFD и идентификации качества новой и сложной продукции трудности возникают в связи с тем, что задача идентификации качества, по сути, является обратной. Необходимо определить качество проектируемой продукции или услуги (причину) по высказанной или проявленной удовлетворённости (следствие). В отличие от решения прямых задач, решение состоящих в обращении причинно-следственных связей задач (обратных задач) связано с преодолением определённых математических трудностей (особенно в случае, когда количество требований меньше количества характеристик). Успех решения обратных задач сильно зависит как от качества и количества исходной информации, так и от способа её обработки. В то же время задача идентификации качества продукции и услуг является некорректной: пространство исходных данных не статично, для близких исходных данных существует множество решений и т.д. Некорректность также проявляется в высокой изменчивости требований во времени, неоднозначности невысказанных ожиданий и т.д. [13, 22].

Таким образом, можно указать следующие недостатки или ограничения существующих подходов к идентификации качества на основе развёртывания функции качества.

- 1) Трудоёмкость вычислений и ограниченность возможных размеров матриц взаимосвязей. Невозможно учитывать отрицательные взаимосвязи (например, если увеличение значения характеристики приводит к снижению степени выполнения одного требования и к увеличению выполнения другого требования, рассчитанное значение приоритета характеристики может оказаться небольшим, в то время как в действительности, изменение значения характеристики значительно сказывается на выполнении требований потребителя). Наиболее часто для практических целей используется только 1 уровень QFD. В России, в виду малого количества методических публикаций на русском языке [3-5], QFD остаётся в настоящий момент сложным методом для практического применения и лишь инструментом для научно-исследовательских работ. При использовании метода QFD фактически определяются только приоритетность направлений для

совершенствования. Целевые значения характеристик модифицированной продукции определяются субъективно (экспертное принятие решения) и зависят от уже имеющейся продукции на рынке (т.е. по данным технического бенчмаркинга).

- 2) Неполно учитывается некорректность задачи, сложность или ограниченность использования различной информации: взаимосвязь требований и ожиданий потребителей, взаимосвязь характеристик продукции, наличие рисков, сложность/стоимость изменения технических характеристик, изменчивость рынка, погрешность экспертных оценок и т.д.

Для преодоления указанных сложностей была поставлена задача создания модели процесса идентификации характеристик качества как решения обратной некорректно поставленной задачи на основе метода развёртывания функции качества с усовершенствованным математическим аппаратом.

При реализации QFD разработчикам необходимо использовать различные базы знаний. Пример использования баз знаний при реализации I уровня QFD приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Использование баз знаний при реализации QFD I уровня

Основные этапы реализации QFD I уровня	Базы знаний
Формирование команды QFD	Методология формирования команд. База специалистов
Уточнение и ранжирование требований потребителей	Маркетинговые исследования, модель Кано, голос потребителя VOC, таблица голоса потребителя VOCT
Формирование перечня технических характеристик продукции/компонента, параметров технологического процесса	Бенчмаркинг, техническая база знаний, свои и чужие аналоги
Оценка взаимодействия технических характеристик продукции и требований потребителей (характеристик компонентов и характеристик продукции, параметров технологического и производственного процессов и характеристик компонентов)	Техническая база знаний
Оценка удовлетворённости потребителей и планирование развития продукции	Маркетинговые исследования, модель Кано, голос потребителя VOC, таблица голоса потребителя VOCT
Оценка взаимного влияния изменений технических характеристик продукции	Техническая база знаний
Анализ технических характеристик продукции конкурентов и установление целевых значений характеристик продукции	Бенчмаркинг, техническая база знаний, свои и чужие аналоги
Расчёт приоритетов технических характеристик продукции (компонентов, параметров технологических процессов)	Техническая база знаний

Для эффективного применения метода предлагается структуризация знаний и использование онтологического подхода. Традиционный подход к проектированию продукции подразумевает выбор концепции и определение технических характеристик продукции. При этом зачастую автором технического задания на проектирование является сам разработчик. Учитывается база знаний в части класса «Концепция продукции» и атрибутов «Характеристики продукции». Онтологическая модель проектирования качества продукции на основе метода QFD, в отличие от традиционного подхода к проектированию, в первую очередь учитывает класс «Требования потребителя» (рисунок 2).

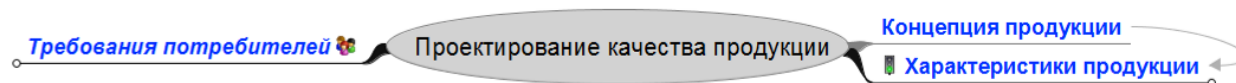


Рисунок 2 – Обобщённая онтологическая модель проектирования качества продукции с учётом требований потребителей

Требования потребителей определяются на основе анализа голоса потребителей и описываются *перечнем требований* (в соответствии с моделью Н. Кано [4, 23] состоят из *базовых требований*, *контрактных требований* и *ожиданий* потребителей), *важностью требований* (например, по 10-балльной шкале) и оценкой *конкурентоспособности продукции / удовлетворённости потребителя* (с учётом данных бенчмаркинга) (рисунок 3).

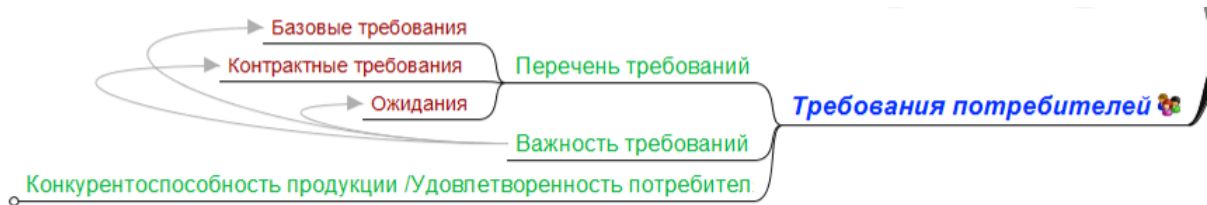


Рисунок 3 – Учёт требований потребителей в онтологической модели проектирования качества продукции

Результатом проектирования на первом уровне QFD являются концепция (структура) продукции и характеристики продукции, которые описываются перечнем технических характеристик, взаимосвязью и значением характеристик. При этом целью проектирования является не только «разработка» или «модификация» продукции, а разработка или модификация продукции с учётом взаимосвязи характеристик и данных бенчмаркинга таким образом, чтобы достичь необходимого уровня конкурентоспособности продукции. В случае проектирования продукции, состоящей из отдельных компонентов, большое внимание необходимо уделить проектированию качества компонентов, которое определяется не только их техническими характеристиками, но и качеством технологических процессов и условий производства. Онтологическая модель проектирования качества продукции на основе метода QFD реализована с использованием инструмента Protégé (рисунок 4). Структура онтологии аналогична иерархической структуре каталога.

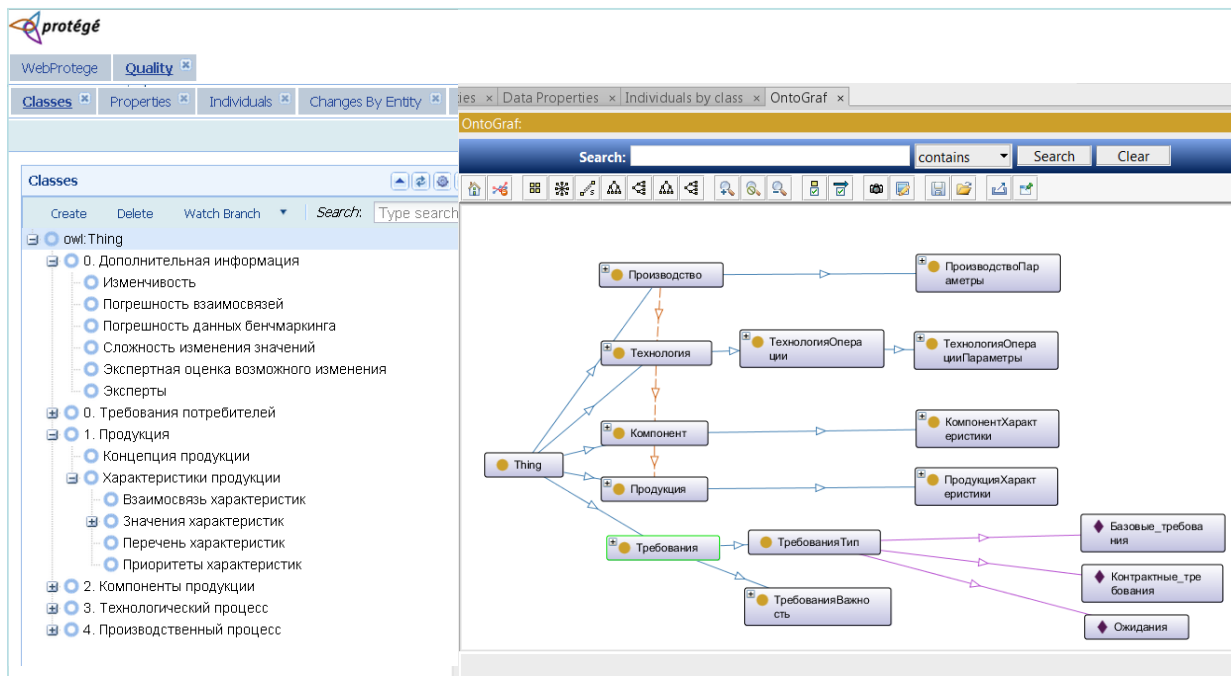


Рисунок 4 – Фрагмент онтологической модели проектирования качества продукции в системе Protégé

Онтологическая модель учитывает четыре уровня проектирования (продукция, компоненты, технология, производство), при этом каждый из уровней описывается рядом взаимосвязанных атрибутов. Представленная на рисунке 4 модель демонстрирует количество ис-

ходных данных (использование баз знаний на каждом уровне), трудоёмкость ручных вычислений при использовании стандартного математического аппарата и, в то же время, возможность и необходимость использования дополнительной информации (рисунки 4, 5).

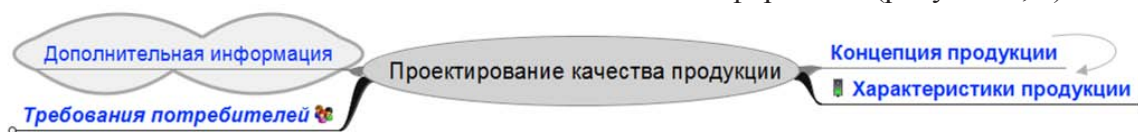


Рисунок 5 – Использование дополнительной информации в онтологической модели проектирования качества продукции

Дополнительная информация, которую необходимо учитывать, включает экспертные оценки возможных изменений, изменчивость характеристик, погрешность исходных данных и другую.

3 Реализация онтологической модели проектирования качества продукции на основе устойчивого матричного метода MTQFD

В связи с особенностями поставленной задачи (обратная, некорректная) и современными компьютерными возможностями, позволяющими обоснованно учитывать широкий круг различной дополнительной информации, предлагается использовать метод устойчивого приближенного решения следующего матричного уравнения (далее – *линейная математическая модель*, ЛММ):

$$(2) \quad H \cdot \delta\Theta = \delta P,$$

где $\delta\Theta$ – n -мерный вектор относительных отклонений параметров состояния (оценок целевых значений характеристик продукции для I уровня QFD), δP – k -мерный вектор относительных отклонений признаков состояния (важности требований и ожиданий потребителей (для I уровня QFD), H – матрица размером $(k \times n)$ коэффициентов взаимосвязи требований и характеристик (для I уровня QFD).

Разработанный алгоритм матричного метода MTQFD включает в себя как общепринятый расчёт векторов приоритетов, так и параметрическую идентификацию характеристик продукции/компонентов (на I, II уровнях QFD) и параметров технологических процессов и вспомогательных операций (на III, IV уровнях QFD), широко применяемую в технических науках [24-26]. Повышение устойчивости и достоверности результатов идентификации качества при использовании матричного подхода и параметрической идентификации достигается за счёт использования дополнительной информации о погрешностях признаков состояния и возможных значениях параметров состояния.

Используя матричные преобразования и известный *метод наименьших квадратов* (МНК) по формуле (3) получим не только принятые в QFD оценки приоритетов изменения технических характеристик, но и другие оценки направлений дальнейшего совершенствования.

$$(3) \quad \delta\hat{\Theta} = (H^T P H)^{-1} H^T P \delta P,$$

где P – весовая матрица погрешностей требований и ожиданий.

Точность МНК-оценки зависит от структуры матрицы H и количественных характеристик P . В условиях существенных погрешностей коэффициентов ЛММ (матрица взаимосвязей H) МНК-оценка смещена и сильно разбросана. Разброс МНК-оценки может превосходить само значение относительного изменения параметра состояния [25, 26]. Кроме того, в условиях существования реальной возможности грубых ошибок в измерениях признаков со-

стояния (для первого уровня QFD погрешность маркетинговых данных может составлять 10..50% при малых выборках) применение МНК требует использования специальных методов предварительной отбраковки исходных данных [25, 26].

При простоте реализации МНК имеет ещё один существенный недостаток, не позволяющий применять его для большинства задач идентификации качества: метод не может быть применён при количестве параметров состояния, превышающем количество признаков состояния. Так как количество характеристик продукции и параметров процессов для сложной технической продукции исчисляется десятками, предлагается использовать МНК в ограниченных случаях, только если количество требований больше, чем количество характеристик / параметров, задействованных в модели.

В случаях, когда количество характеристик превышает количество требований, целесообразно использовать алгоритм устойчивой параметрической идентификации математической модели с учётом информации о погрешности модели (матрицы взаимосвязи требований и характеристик) и признаков состояния (требований и ожиданий), а также дополнительной информации о возможных значениях относительных изменений параметров состояния (характеристик) с учётом рисков, корреляционных взаимосвязей характеристик («крыша» НоQ).

Все устойчивые схемы оценивания для линейных моделей строятся на основе функций влияния и устойчивого оценивания. Особое внимание уделяется устойчивой оценке Хьюбера. Для нахождения устойчивой оценки Хьюбера используется итерационная процедура, сходящаяся к устойчивой оценке за конечное число итераций [24-26].

Решение задачи в такой постановке позволяет получить оценки параметров состояния (величины относительных изменений характеристик), согласованные как с результатами маркетинговых и бенчмаркинг-исследований, так и с дополнительной информацией и знаниях о погрешностях данных и возможностях разработчика.

Предлагается параметрическую идентификацию проводить на основе теории регуляризации, позволяющей обоснованно учитывать широкий круг различной дополнительной информации. При получении регуляризованных оценок, наилучшим образом учитывающих экспериментальную и дополнительную информацию, выбор параметра регуляризации α осуществляется с учетом погрешности измерений и погрешности коэффициентов (матрицы H) ЛММ [25, 26].

Решение задачи нахождения оценок параметров состояния проводится на основе вариационно-взвешенных квадратических приближений [25, 26]. Этот способ одновременно позволяет находить минимум суммы модулей невязок, действуя примерно так же, как и при нахождении минимума суммы квадратов невязок. Разница заключается в том, что минимизация суммы модулей проводится не за один шаг, а в ходе итерационного процесса, на каждой итерации которого уточняются специальным образом весовые функции.

В разработанном методе MTQFD регуляризованное решение задачи параметрической идентификации математической модели определяется следующим образом:

$$\hat{\delta\Theta}^\alpha = \arg \min_{\delta\Theta} M^\alpha[\delta\Theta]$$

где

$$(4) \quad M^\alpha[\delta\Theta] = \sum_{i=1}^k F_1(c_1, \Delta_i, p_i) + \alpha \sum_{j=1}^n F_2(c_2, \delta\Theta_j - \delta\Theta_j^0, q_j),$$

$$a \ F_1 \text{ и } F_2 - \text{ функции вида} \quad F(c, \Delta, p) = \begin{cases} (\Delta/p)^2, & |\Delta/p| < c \\ 2c|\Delta/p| - c^2, & |\Delta/p| \geq c \end{cases},$$

в которых Δ - невязка, p – вес невязки, $c > 0$ – параметр Хьюбера.

В случае использования квадратичной нормы равенство (4) принимает следующий вид:

$$M_1^\alpha [\delta\Theta] = \|H\delta\Theta - \delta P\|_p^2 + \alpha \|\delta\Theta - \delta\Theta^0\|_q^2,$$

где $\|\cdot\|_p = (\cdot)^T P (\cdot)$ - квадратичная норма с весами [26].

Видно, что решение, с одной стороны, зависит от бенчмаркинговой информации и используемой ЛММ, заключённых в первом слагаемом $\|H\delta\Theta - \delta P\|_p^2$ сглаживающего функционала M_1^α , а с другой стороны - от информации о возможных величинах параметров состояния, заключенной во втором слагаемом $\|\delta\Theta - \delta\Theta^0\|_q^2$. Соотношение между значимостью бенчмаркинговой и дополнительной информации определяется параметром регуляризации α .

Выбор шага итерации, на котором определяются искомые величины относительных отклонений параметров состояния и соответствующего параметра регуляризации α , осуществляется при значении функции регуляризации $f(\alpha)$ наиболее близком к нулю:

$$(5) \quad f(\alpha) = \|H\hat{\delta\Theta} - \delta P\|_p^2 - \alpha(\delta + h \|\hat{\delta\Theta}^\alpha - \delta\Theta^0\|_q)^2,$$

здесь: $\|\delta P - \delta \bar{P}\|_p \leq \delta$, $\|H - \bar{H}\| \leq h$, $\|\hat{\delta\Theta}^\alpha - \delta\Theta^0\|_q$ определяются различным образом для каждой задачи.

Дополнительная информация и знания о погрешностях признаков состояния и возможных значениях отклонений параметров состояния учитывается за счёт задания весов p , q , ожидаемого значения вектора отклонений параметров состояния $\delta\Theta^0$, а также выбора коэффициентов c_1 , c_2 (формула (4)), определяющих интенсивность засорения данных, и возможности выбора параметра регуляризации α .

Для реализации представленного метода MTQFD разработан программный модуль в системе MathCAD. Преимуществом реализации метода в данной системе является открытость используемых данных и получаемых результатов: данные и результаты представляются непосредственно на экране в режиме реального времени. Для упрощения реализации метода при разработке программного модуля предусмотрено использование исходных данных в виде стандартных таблиц MS Excel, что позволяет исследователям и экспертам не затрачивать ресурсы на техническую подготовку данных и сосредоточиться на вопросах «качества» исходных данных и дополнительной информации.

4 Апробация метода MTQFD на примере проектирования продукции кабельного производства

Реализация метода MTQFD в ЗАО «Самарская кабельная компания» (ЗАО СКК) осуществлялась для производства автопровода ПВАМ¹ многофункциональной командой в соответствии с разработанным стандартом организации. При анализе голоса потребителя и формировании перечня требований на первом этапе MTQFD учитывались особенности продукции. Автопровод – изделие, которое в составе жгутов автопроводов является комплектующим автомобиля. Поэтому учитывались интересы (требования и ожидания) потребителей трёх уровней: производитель жгутов автопроводов, автосборочное предприятие, конечный потребитель (владелец автомобиля, специалист станции технического обслуживания). Для ЗАО СКК потребителем первого уровня является производитель жгутов автопроводов ЗАО ПЭС/СКК, потребителем второго уровня – ОАО АВТОВАЗ. Проведён опрос потребителей

¹ ПВАМ – провода автотракторные с поливинилхлоридной изоляцией, теплостойкие.

автопроводов ЗАО СКК всех трёх уровней и сформирован обобщенный перечень требований потребителей автопроводов в соответствии с категориями модели Кано [4, 23].

Автопровод рассматривался как система, состоящая из компонентов: токопроводящая жила (ТПЖ), двухслойная изоляция с комбинированной расцветкой; тара (рассматривалась как элемент системы автопровода, поставляемого потребителю).

Для выполнения расчётов и определения приоритетов обобщенных характеристик автопровода при реализации первого и второго этапа MTQFD экспертным путем были сформированы массивы данных P , δP . Построены ЛММ взаимосвязей требований и обобщенных характеристик продукции $H1$ размером 14×21 , ЛММ взаимосвязей обобщенных характеристик и характеристик компонентов $H2$ размером 21×28 . Параллельно с проведением бенчмаркинга и определением векторов P и δP был сформирован перечень обобщенных технических характеристик автопровода в целом (наружный диаметр провода, электрическое сопротивление, тип ТПЖ, тип изоляции, расцветка, срок службы, стойкость к тепловой усадке, стойкость к деформации, стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке, строительная длина проводов и другие) и его компонентов (электрическое сопротивление ТПЖ, число проволок, диаметр и длина сварного шва ТПЖ, толщина изоляции, электрическая прочность изоляции, тепловая стабильность изоляции, стойкость изоляции к истиранию, количество полос вспомогательного цвета, тип и стойкость красителя и другие), которые определяют выполнение требований (выполнение основной функции (назначение), высокая износостойкость, повышенная гибкость, малая масса, непрерывность по всей длине в упаковке и другие).

При реализации первого и второго уровней QFD, с учётом оценки конкурентоспособности, выявлены обобщённые характеристики автопровода и компонентов с наибольшими относительными (в %) значениями приоритетов: тип изоляции (17,7%), тип ТПЖ (10,9%), наружный диаметр провода (7%), электрическое сопротивление (7%), толщина изоляции (13%), тепловая стабильность изоляции (12,5%), стойкость изоляции к истиранию (8,4%). Эти характеристики автопровода имеют наибольшие приоритеты и их необходимо уточнить в первую очередь.

Для оценки величин изменений характеристик продукции на первом уровне MTQFD была задана дополнительная информация о возможности изменения целевого значения характеристик автопровода (увеличение срока службы, стойкости к тепловой усадке, деформации и повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке автопровода и снижения наружного диаметра, электрического сопротивления) и о погрешности (засорения) в исходных данных бенчмаркинга и оценки удовлетворенности потребителей.

При расчёте с использованием метода MTQFD наиболее приоритетными характеристиками автопровода, с учётом дополнительной информации, являются характеристики: строительная длина проводов (14%), расцветка (14%), стойкость к деформации (9,4%), стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке (9,4%).

При этом были определены оценки изменения целевых значений характеристик стойкость к деформации и стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке, обе составили по +10%. При решении задачи оценки изменения диаметра провода и электрического сопротивления были получены значения -6,8% и -10% соответственно. Остальные характеристики, в том числе приоритетные на основе традиционного расчета метода QFD (например, тип ТПЖ, тип изоляции) не требуют изменений, их изменение может привести не только к излишним затратам на этапах разработки и внедрения, но и к потере конкурентоспособности, так как может отрицательно повлиять на оценку продукции потребителем в целом.

Заключение

Предложенная предметная онтология проектирования качества продукции опирается на онтологический подход, развиваемый в системах менеджмента и закрепленный в международных стандартах, которые, по сути, образуют мета-онтологию. Разработанная онтология метода MTQFD позволяет существенно облегчить конструкторам, технологам и экспертам решение практической задачи идентификации и дальнейшего планирования качества, а также повысить достоверность и устойчивость результатов к погрешностям исходных данных. Онтология реализована на примере задачи проектирования автопровода ПВАМ с учётом дополнительной информации, в том числе о результатах анализа рисков конструкции и процесса FMEA. Применение онтологического подхода и метода MTQFD позволило сократить сроки проектирования, повысить качество и конкурентоспособность автопровода за счёт расчёта новых приоритетов, уточнения технических характеристик продукции и параметров технологических и производственных процессов.

Перспективное понимание онтологической парадигмы и проектирование качества продукции на основе параметрической идентификации моделей, требований потребителей, знаний может обеспечить достижение качества продукции и повышения конкурентоспособности в различных отраслях промышленности.

Список источников

- [1] *Акао, У.* The leading edge in QFD: past, present and future / У. Акао, G.H. Mazur //International Journal of Quality & Reliability Management. – 2003. – Т. 20. – №. 1. – С. 20-35.
- [2] *Мазур, Г.* QFD 2000: Integrating QFD and Other Quality Methods to Improve the New Product Development Process //12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. Proceedings of 12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. – 2000. – С. 305-317.
- [3] *Адлер, Ю.П.* Сколько ни развертывай, а структурировать все равно придется/ Ю.П. Адлер//Методы менеджмента качества. – 2002. – №. 3. – С. 16-18.
- [4] *Брагин, Ю.В.* Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей/ Брагин, Ю. В., Корольков В. Ф. – Ярославль : Центр качества, 2003. – 240с.
- [5] *Дмитриев, А.Я.* Развёртывание функции качества (QFD) / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Ю.А. Вашуков // Самара: Изд-во СГАУ, 2009. – 54 с.
- [6] *Тульчинский, Г.Л.* Парадигма: очерки философии и теории культуры / Г.Л. Тульчинский // Материалы международной научной конференции «Онтология в XXI веке: проблемы и перспективы» Вып. 6. - Под редакцией М.С. Уварова. - СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, - 2006. - С. 12-23.
- [7] *Боргест, Н.М.* Научный базис онтологии проектирования/ Н.М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. №1(7). - С. 7-25.
- [8] *Смирнов, С.В.* Онтологическое моделирование в ситуационном управлении / С.В. Смирнов // Онтология проектирования. 2012. №2(4). - С. 16-24.
- [9] *Боргест, Н.М.* Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы. Учеб. пособие / Н.М. Боргест. - Самара: Изд-во СГАУ. - 2010. — 92 с.
- [10] *Серенков, П.С.* Онтология систем менеджмента качества / П.С. Серенков, В.А. Нифагин, Е.В. Котков // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2004. – № 6. – С. 50–55.
- [11] *Гаврилова, Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. и др. : Питер, 2000. – 384 с.
- [12] ISO 9001:2015 Quality management systems. Requirements //International Organization for Standardization. http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=62085
- [13] *Эйхкофф, П.* Современные методы идентификации систем / П. Эйхкофф. - М.: Мир, 1983. – 400 с.
- [14] *Altshuller, G.* The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity/ G.Altshuller, L.Shulyak, S. Rodman . – Technical Innovation Center, Inc., 1999.
- [15] *Yamashina, H.* Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ / H.Yamashina, T. Ito, H. Kawada //International Journal of Production Research. – 2002. – Т. 40. – №. 5. – С. 1031-1050.
- [16] *Родионов, В.Н.* Метод разработки инноваций с учетом рисков в производстве автотракторных проводов / В.Н. Родионов, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Т.В. Попова // Кабели и провода. 2011. №1(326). - С. 10-14.

- [17] **Дмитриев, А.Я.** Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA) / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Ю.А. Вашуков // Самара: Изд-во СГАУ, 2008. – 31 с.
- [18] **Панюков, Д.И.** Проектирование новых производственных процессов / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Г.Г. Сластина // Стандарты и качество. 2014. №11(929). - С. 92-95.
- [19] QFD Symposium Transactions All Abstracts 1989–2014.
http://www.qfdi.org/books/symposium_proceedings_all_abstracts.html
- [20] **Fehlmann, T.M.** The impact of linear algebra on QFD / Т.М. Fehlmann // Int. J. of Quality & Reliability Management. 2005. Vol. 22. Issue 1. - P. 83–96. - DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710510573011>.
- [21] **Митрошкина, Т.А.** Современные инновационные методы структурирования качества продукции и управления рисками / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев, Н.И. Лаптев, Г.Г. Богатеев // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №8. - С. 330-332.
- [22] **Дмитриев, А.Я.** Метод идентификации качества продукции на основе матричного подхода / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12. №4. - С. 879-891.
- [23] **Kano, N.** Attractive quality and must-be quality / N.Kano, N.Seraku, F.Takahashi, & S.Tsuji // Journal of Japanese Society for Quality Control, (1984). 14, pp. 39–48.
- [24] **Воскобойников, Ю.Е.** Регрессионный анализ данных в пакете Mathcad / Ю.Е. Воскобойников. – СПб.: Лань, - 2011. - 224 с.
- [25] **Воскобойников, Ю.Е.** Выбор параметра регуляризации одного класса нелинейных алгоритмов решения плохо обусловленных СЛАУ / Ю.Е. Воскобойников // Автоматика и программная инженерия. 2012. №2(2). - С. 89–95.
- [26] **Бочкарев, С.К.** Идентификация математической модели ГТД по результатам испытаний / С.К. Бочкарев, А.Я. Дмитриев // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2008. №1(14). - С. 37-39.

PRODUCT QUALITY DESIGN BASED ON IDENTIFICATION OF PARAMETRIC MODELS, CONSUMER REQUIREMENTS, KNOWLEDGE: ONTOLOGICAL PARADIGMA

A.Ya. Dmitriev^{1,2}, T.A. Mitroshkina¹

¹*Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University), Samara, Russia*

dmitriev57@rambler.ru

²*Samara Region State Academy (Nayanova), Samara, Russia*

t.mitroshkina@gmail.com

Abstract

The article features a development of products and processes of the enterprise on the basis of the ontological approach and effective application of quality function deployment (structuring) method, QFD. A major flaw of modern practical application of QFD is that even with the appropriate use it actually determines only priority areas for improvement. Target values of modified products characteristics are determined as subjective and depend on the existing products on the market. Other disadvantages of using of modern quality identification methods based on QFD are the complexity of calculations, limited size of possible relationships matrixes, and difficulty in using various additional information. Most times only the first level QFD is used for practical purposes to determine priorities of product development and thus negative relationships are virtually never used. The proposed model of quality identification as the solution of the inverse ill-posed problem based on the ontological approach and QFD method involves advanced mathematical tools and allows the use of various additional information. The proposed robust matrix MTQFD (Matrix Technique QFD) method allows you to determine not only the priorities but also the assessments of the product characteristic and process parameter target values, with the possible use of information on negative relationships. Recommendations for the applying of the robust matrix method MTQFD for prioritization and evaluation of the product characteristic and process parameter target values and the proposed ontology model are universal and can be used for the products and services quality identification in any organization.

Key words: model, identification of quality, QFD, quality function deployment, ontology, Knowledge Bases, knowledge management, MTQFD, matrix method QFD.

References

- [1] **Akao, Y.** The leading edge in QFD: past, present and future / Y. Akao, G.H. Mazur // International Journal of Quality & Reliability Management. – 2003. – T. 20. – №. 1. – P. 20-35.
- [2] **Mazur, G.** QFD 2000: Integrating QFD and Other Quality Methods to Improve the New Product Development Process // 12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. Proceedings of 12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. – 2000. – P. 305-317.
- [3] **Adler, Yu.P.** Skolko ni razvertyivay, a strukturirovat vse ravno pridetsya [No matter how deployed it would still have to be structured] / Yu.P. Adler // Metodyi menedzhmenta kachestva. – 2002. – No. 3. – P. 16-18. (In Russian).
- [4] **Bragin, Yu.V.** Put QFD: proektirovanie i proizvodstvo produktsii ishodya iz ozhidaniy potrebiteley [QFD path: designing and manufacturing of products based on customer expectations] / Bragin, Yu. V., Korolkov V. F.. – Yaroslavl : Tsentr kachestva, 2003. – 240p. (In Russian).
- [5] **Dmitriev, A.Ya.** Razeortyvanie funktsii kachestva (QFD) [Quality Function Deployment (QFD)] / A.Ya. Dmitriev, T.A. Mitroshkina, Yu.A. Vashukov // Samara: Izdftel'stvo SGAU, 2009. – 54 p. (In Russian).
- [6] **Tulchinskiy, G.L.** Paradigma: Ocherki filosofii i teorii kulturyi [Paradigm: Essays on philosophy and cultural theory] / G.L. Tulchinskiy // Materialyi mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Ontologiya v XXI veke: problemy i perspektivy" Issue 6 / Ed.: M.S. Uvarova. - Sc. Petersburg: Izdatel'stvo S.-Peterb. universiteta, 2006/ P.12-23. (In Russian).
- [7] **Borgest, N.M.** Nauchnyiy bazis ontologii proektirovaniya [Scientific basis for ontology design] / N.M. Borgest // Ontologiya proektirovaniya [Ontology of Designing]. 2013. No. 1(7). - P. 7-25. (In Russian).
- [8] **Smirnov, S.V.** Ontologicheskoe modelirovanie v situatsionnom upravlenii [Ontological modeling in situational management] / S.V. Smirnov // Ontologiya proektirovaniya [Ontology of Designing]. 2012. No. 2(4). - P. 16-24. (In Russian).
- [9] **Borgest, N.M.** Ontologiya proektirovaniya: teoreticheskie osnovyi. Chast 1. Ponyatiya i printsipy [Ontology design: the theoretical foundations. Part 1. Definitions and principles] / N.M. Borgest - Samara: Izdftel'stvo SGAU, 2010. - 92 p. (In Russian).
- [10] **Serenkov, P.S.** Ontologiya sistem menedzhmenta kachestva [Ontology of quality management systems] / P.S. Serenkov, V.A. Nifagin, E.V. Kotkov // Novosti. Standartizatsiya i sertifikatsiya. – 2004. – No. 6. – P. 50–55. (In Russian).
- [11] **Gavrilova, T.A.** Bazyi znaniy intellektualnykh sistem [Knowledge Bases of Intelligent Systems] / T.A. Gavrilova, V.F. Horoshevskiy. – SPb. i dr. : Piter, 2000. – 384 p. (In Russian).
- [12] ISO 9001:2015 Quality management systems. Requirements // International Organization for Standardization. http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=62085
- [13] **Eykhoff, P.** Sovremennyye metody identifikatsii sistem [Modern methods of systems identification] / P. Eykhof. Moscow: Mir, 1983. – 400 p. (In Russian).
- [14] **Altshuller, G.** The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity/ G.Altshuller, L.Shulyak, S. Rodman. – Technical Innovation Center, Inc., 1999.
- [15] **Yamashina, H.** Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ / H.Yamashina, T. Ito, H. Kawada // International Journal of Production Research. – 2002. – T. 40. – №. 5. – P. 1031-1050.
- [16] **Rodionov, V.N.** Metod razrabotki innovatsiy s uchetom riskov v proizvodstve avtotraktornykh provodov [The method of developing a risk-based innovation in the production of automotive wire] / V.N. Rodionov, A.Ya. Dmitriev, T.A. Mitroshkina, T.V. Popova // Kabeli i provoda. 2011. No. 1(326). - P. 10-14. (In Russian).
- [17] **Dmitriev, A.Ya.** Analiz vidov, posledstviy i prichin potentsialnykh nesootvetstviy (FMEA) [Failure mode and effect Analysis (FMEA)] / A.Ya. Dmitriev, T.A. Mitroshkina, Yu.A. Vashukov // Samara: Izdftel'stvo SGAU, 2008. – 31 p. (In Russian).
- [18] **Panyukov, D.I.** Proektirovanie novykh proizvodstvennykh protsessov [The design of new production processes] / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskiy, G.G. Slistina // Standartyi i kachestvo. 2014. No. 11(929). - P. 92-95. (In Russian).
- [19] QFD Symposium Transactions All Abstracts 1989–2014. http://www.qfdi.org/books/symposium_proceedings_all_abstracts.html
- [20] **Fehlmann, T.M.** The impact of linear algebra on QFD / T.M. Fehlmann // Int. J. of Quality & Reliability Management. 2005. Vol. 22. Issue 1. - P. 83–96. - DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710510573011>.
- [21] **Mitroshkina, T.A.** Sovremennyye innovatsionnyye metody strukturirovaniya kachestva produktsii i upravleniya riskami [Modern innovative approach to structuring of quality and risk management] / T.A. Mitroshkina,

- A.Ya. Dmitriev, N.I. Laptev, G.G. Bogateev // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. 2014. Vol. 17. No. 8. - P. 330-332. (In Russian).
- [22] **Dmitriev, A.Ya.** Metod identifikatsii kachestva produktsii na osnove matrichnogo podhoda [The method of identification of quality products based on matrix approach] / A.Ya. Dmitriev, T.A. Mitroshkina, // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2010. Vol. 12. No. 4. - P. 879-891. (In Russian).
- [23] **Kano, N.** Attractive quality and must-be quality / N.Kano, N.Seraku, F.Takahashi, & S.Tsuji // Journal of Japanese Society for Quality Control, (1984). 14, P. 39–48.
- [24] **Voskoboynikov, Yu.E.** Regressionnyiy analiz dannykh v pakete Mathcad [Regression analysis of the data in the package Mathcad]. / Yu.E. Voskoboynikov // Sc. Petersburg: Lan, 2011. - 224 p. (In Russian).
- [25] **Voskoboynikov, Yu. E.** Vyibor parametra regularizatsii odnogo klassa nelineynykh algoritmov resheniya ploho obuslovlennykh SLAU [Choosing the regularization parameter a class of nonlinear algorithms for solving ill-conditioned linear systems] / Yu.E. Voskoboynikov // Avtomatika i programmnyaya inzheneriya. 2012. No. 2(2). - P. 89–95. (In Russian).
- [26] **Bochkarev, S.K.** Identifikatsiya matematicheskoy modeli GTD po rezul'tatam ispytaniy [Identification of a mathematical model of a turbine engine according to test results] / S.K. Bochkarev, A.Ya. Dmitriev // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta. 2008. No. 1(14). - P. 37-39. (In Russian).

Сведения об авторах



Дмитриев Александр Яковлевич, 1956 г. рождения. Окончил Куйбышевский авиационный институт им. С.П. Королёва в 1979 г., к.т.н. (1987). Доцент кафедры производство летательных аппаратов и управление качеством в машиностроении Самарского государственного аэрокосмического университета (национальный исследовательский университет), заведующий кафедрой управление качеством Самарской государственной областной академии (Наяновой), генеральный директор ООО «Новое качество». Академик Академии проблем качества. В списке научных трудов более 50 работ в области управления качеством.

Aleksandr Yakovlevich Dmitriev (b.1956) graduated from the Korolyov Aerospace Institute (Kuibyshev-city) in 1979, PhD (1987). He is Associate Professor at Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University) (Department of Manufacture of aircraft and management of quality in mechanical engineering), Head of the Department "Quality Management" of the Samara Region State Academy (Nayanova), Founder and Director of "New Quality" (research-consulting company). Academician of the Academy for quality problems. The list of scientific works of more than 50 publications in the field of quality management and risk management.



Митрошкина Татьяна Анатольевна, 1975 г. рождения. Окончила Московский технологический университет (МИСиС) в 1997 г., ассистент кафедры производство летательных аппаратов и управление качеством в машиностроении Самарского государственного аэрокосмического университета (национальный исследовательский университет), ведущий специалист научно-консультационной компании «Новое качество». Член Всероссийской организации качества, Поволжского клуба качества. В списке научных трудов более 20 работ в области менеджмента качества.

Tatyana Anatolyevna Mitroshkina (b. 1975) graduated from Moscow University of Technology (MISiS) in 1997, Assistant of the Department of Manufacture of aircraft and management of quality in mechanical engineering Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolev (National Research University), a leading specialist "New Quality" (research-consulting company). Member of the Russian Organization for Quality, member of the Volga club quality. She is co-author more than 20 articles in the field of quality management and risk management.