

На правах рукописи

МИТРОШКИНА ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ПРОЦЕССОВ
В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
НА ОСНОВЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА**

2.5.22. Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2023

Работа выполнена на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Научный руководитель:

ДМИТРИЕВ Александр Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, доцент.

Официальные оппоненты:

ПАНЮКОВ Дмитрий Иванович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Транспортные процессы и технологические комплексы», заведующий кафедрой;

ПЛАХОТНИКОВА Елена Владимировна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тулский государственный университет», кафедра «Инструментальные и метрологические системы», профессор.

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», ГУАП, г. Санкт-Петербург.

Защита состоится 19 декабря 2023 г. в 14-30 на заседании диссертационного совета 24.2.379.05 созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и на сайте https://ssau.ru/files/resources/dis_protection/Mitroshkina_T_A_Sovershenstvovanie_modeli_sist_emnogo.pdf.

Автореферат разослан

2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.379.05
доктор технических наук, доцент

Ерисов Я.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Авиационная промышленность является стратегической отраслью России. Решаемые в диссертационном исследовании задачи связаны с достижением целей государственных программ Российской Федерации по развитию авиационной промышленности на 2013 - 2025 годы и по развития авиатранспортной отрасли до 2030 года.

Ключевой задачей управления качеством в авиастроении является результативное планирование и определение характеристик продукции, технологических и производственных процессов на основе требований к безопасности и надежности, а также с учетом актуальных требований и ожиданий потребителей. От решения этой задачи зависят результаты и эффективность дальнейших этапов жизненного цикла, организации производства и в конечном итоге конкурентоспособность продукции, предприятий и отрасли. Важнейшим направлением создания отечественной конкурентоспособной продукции авиационной промышленности в условиях импортозамещения является повышение эффективности разработки перспективной авиационной техники и реализация современных подходов к управлению качеством на всех этапах жизненного цикла авиационной продукции.

Применение методологии развертывания функции качества (QFD) по данным исследователей и практиков ведет к повышению эффективности за счет сокращения внесения изменения в проект на 30-50%, снижения затрат на запуск производства на 20-60% и сокращения цикла проектирования разработки на 30-50%. Применение современных эффективных подходов к планированию качества авиационной техники в России связано с рядом сложностей: отсутствует модель и методики системного планирования на основе QFD, сама методология QFD позволяет определять только направления улучшений, но не целевые значения показателей качества. Факторами сложности планирования и обеспечения качества перспективных авиационных комплексов также являются: многодетальность, сложность пространственных форм, большой объем работ по подготовке и организации производства. Для применения современных CAD/CAM/CAE технологий и разработки «цифрового двойника» нужно знать десятки тысяч целевых показателей и ограничений.

Актуальность проблем планирования качества в отечественной экономике, в том числе в авиационной промышленности, недостаточная эффективность решения практических задач результативного определения целевых значений характеристик качества конкурентоспособной продукции на основе методологии QFD определили выбор темы диссертационного исследования.

Степень разработанности темы. Теоретические аспекты управления качеством проработаны такими российскими и зарубежными учеными как: В.Н. Азаров, Г.Г. Азгальдов, В.А. Барвинок, Б.В. Бойцов, В.А. Васильев, С.А. Васин, В.Г. Версан, А.В. Гличев, О.П. Глудкин, В.Е. Годлевский, В.В. Ефимов, В.А. Лapidус, С.А. Одинокоев, В.В. Окрепилов, Т.А. Салимова, А.Н. Субетто, И.И. Чайка, В.Л. Шпер, K.Ishikawa, N.Kano, G.Taguchi. Вопросам цифровизации в управлении качеством посвящены работы ученых: Д.В. Антипов, А.И. Боровков, В.Е. Гвоздев, В.Н. Козловский, М.Г. Круглов, Д.И. Панюков, С.В. Смирнов, Е.А. Фролова, Л.В. Черненькая, В.Л. Шпер, В.В. Щипанов.

Разработке и реализации методологии QFD посвящены работы таких ученых как: Ю.П. Адлер, Ю.В. Брагин, Р.В. Буткевич, Ю.М. Быков, А.Я. Дмитриев, Ю.С. Клочков, А.Н. Лисенков, Е.В. Плахотникова, В.Б. Протасьев, В.Н. Родионов, М.И. Розно, П.С. Серенков, В.Л. Соломахо, А.В. Чабаненко, А.Н. Чекмарев, В.В. Щипанов, Y.Akao, T.Filmann, N.Kano, S.Mizuno, G.Mazur, G.Terninko, K.Tan.

Целью исследования является повышение результативности планирования качества продукции и технологических процессов в авиационной промышленности за

счет разработки модели и методики системного планирования качества, и усовершенствованного применения методологии развертывания функции качества QFD.

Задачи исследования:

1 Провести анализ существующих подходов к планированию качества при разработке и модернизации продукции и технологических процессов в авиационной промышленности.

2 Предложить усовершенствованную модель системного планирования качества при разработке и модернизации продукции и технологических процессов в авиационной промышленности на основе развертывания функции качества.

3 Разработать на основе предложенной модели и матричных вычислений новую методику системного планирования качества для определения целевых значений и приоритетов характеристик продукции и параметров технологических процессов.

4 Предложить алгоритм и программную реализацию новой методики системного планирования качества, как элемента модели гибридной экспертной системы планирования качества инновационной продукции.

5 Оценить адекватность разработанной методики, возможность и эффективность ее применения в авиационной промышленности.

6 Разработать стандарт применения новой методики планирования качества.

Область исследования соответствует паспорту специальности 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства: п.1. Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики процессов управления качеством и организации производства, п.3. Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование качества) объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции, п.14. Развитие основных положений и содержания Всеобщего Управления Качеством (TQM), и других концепций управления качеством.

Объектом исследования является деятельность по планированию качества при разработке и совершенствовании продукции и технологических процессов в авиационной промышленности.

Предметом исследования являются методики и инструментарий планирования качества продукции и технологических процессов на основе методологии QFD.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в совершенствовании научно-практических подходов к планированию качества продукции и состоит в следующем:

1) *предложена усовершенствованная модель* системного планирования качества продукции авиационной промышленности на основе развертывания (структурирования) функции качества QFD, *отличающаяся* использованием целевых значений и приоритетов характеристик продукции и процессов. Модель имеет возможность учитывать взаимосвязь характеристик (часто отрицательную), погрешности при получении маркетинговой и бенчмаркинг-информации;

2) *разработана новая методика* эффективного применения QFD на основе матричных вычислений, *отличающаяся* от существующих подходов определением оценок целевых значений и приоритетов характеристик продукции/компонентов, а также параметров технологических и производственных процессов. Методика дает возможность использовать большие массивы данных и учитывать информацию о взаимосвязи характеристик и погрешностях исходных данных;

3) *разработана структура гибридной экспертной системы*, *отличающаяся* включением онтологии на основе QFD и модели Кано, математических моделей и программной реализации новой методики.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методики системного планирования качества, в которой можно использовать синергию применения различных методов управления качеством (перспективное планирование качества продукции, анализ рисков, бенчмаркинг, робастное проектирование), в том числе при разработке продукции и организации производства. Практическая значимость исследования заключается в повышении эффективности планирования, проектирования и разработки новой и модернизируемой продукции и организации производства за счет возможности определять не только приоритетные направления совершенствования, но и целевые значения характеристик качества продукции. Разработанная методика позволяет использовать большие массивы исходных данных и учитывать информацию о взаимосвязи характеристик и погрешностях исходных данных.

Теоретические и практические результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы к использованию для авиационной, космической, оборонной, кабельной, автомобильной промышленности и других отраслей машиностроения, для любых организаций, заинтересованных в своевременном выводе продукции и услуг на рынок и снижении сроков и затрат на разработку.

Методология и методы исследования. Решение поставленных задач проведено на основе методологии и принципов всеобщего управления качеством TQM, идеологии робастного проектирования, квалиметрии, экспертных методов, семи новых инструментов управления, методологии развертывания (структурирования) функции качества QFD, методологии перспективного планирования качества продукции (APQP), онтологического подхода, методов математического моделирования, матричных преобразований.

Положения, выносимые на защиту:

1 Усовершенствованная модель системного планирования качества продукции авиационной промышленности на основе методологии QFD с использованием целевых значений и приоритетов характеристик продукции и процессов. Модель имеет возможность учитывать дополнительную информацию о взаимосвязи характеристик, погрешности при получении маркетинговой и бенчмаркинговой информации.

2 Новая методика системного планирования качества на основе матричных вычислений при развертывании функции качества (Matrix Technique QFD, MTQFD), процессная модель методики и алгоритм определения приоритетов и оценок целевых значений характеристик продукции и процессов с возможностью использовать большие массивы исходных данных и учитывать информацию о взаимосвязи характеристик и погрешностях исходных данных.

3 Структура гибридной экспертной системы планирования качества с включением онтологии на основе QFD и модели Кано, математических моделей и программного модуля расчета методики MTQFD.

4 Результаты апробации методики MTQFD определения оценок целевых значений и приоритетов характеристик продукции/компонентов и параметров технологических процессов в производстве авиационных изделий.

5 Проект стандарта предприятия по применению методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов определяется корректностью применения математического аппарата, цифрового моделирования и принятых допущений при разработке методик, а также подтверждается результатами оценки адекватности методики и обсуждением результатов диссертации на научно-практических конференциях.

Личный вклад автора. Постановка задач, выбор направлений и объектов исследований, анализ результатов по решению обратных задач и идентификации с использованием дополнительной информации и анализом устойчивости осуществлялись совместно с научным руководителем. Автором самостоятельно разработаны предлагаемые модель, методика, алгоритм, программный модуль, стандарт предприятия и проведены исследовательские работы с использованием программного модуля. Автор самостоятельно обобщил и оформил результаты работы.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и были положительно оценены более, чем на двадцати научно-практических конференциях, в том числе на IV Международном научно-практическом форуме «Эффективные системы менеджмента – стратегии успеха» (ИЭУП, г. Казань, 2014 г.), на юбилейном XX ежегодном международном семинаре «Непрерывное совершенствование деятельности организаций» (МИСИС, г. Москва, 2015 г.), на отраслевой конференции «Качество в авиационной промышленности: менеджмент качества и бережливое производство на этапах жизненного цикла авиационной техники» (ГК «Приоритет», г. Нижний Новгород, 2015 г.), научно-практических конференциях Поволжского клуба качества и Центра инновационного развития и кластерных инициатив (ПКК, ЦИК г. Самара, 2015, 2016 гг.), XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ИПУС РАН, г. Самара, 2015 г.), международных научно-практических конференциях: «Климовские чтения: Перспективные направления развития авиадвигателестроения» (АО «ОДК-Климов» г. Санкт-Петербург, 2016-2022 гг.), «Управление качеством» (МАИ, г. Москва, 2011 – 2022 гг.), на всероссийской научно-технической конференции «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (ТулГУ, г. Тула, 2019-2023 гг.).

Результаты работы реализованы при проведении НИР Самарского университета, реализованы в стандарте предприятия ЗАО «СКК».

Публикации по теме диссертации. Содержание диссертации отражено в 28 работах, из них 8 работ опубликовано в изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России, 7 работ - в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Структура и объем: диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 180 наименований, 8 приложений. Текст диссертации изложен на 172 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков и 25 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, указана научная новизна положений, выдвигаемых на защиту, а также теоретическая и практическая значимость и достоверность полученных результатов.

Первая глава работы содержит обзор современных отечественных и зарубежных подходов к планированию качества новой и модернизируемой продукции, в том числе с применением процедуры APQP и национальных стандартов по созданию новой техники. Приведены подходы к определению и планированию качества продукции на основе методов маркетинговых исследований, модели Кано, методологии робастного проектирования, включая методы Тагути и QFD. Приведена классификация и анализ применения отдельных методов предприятиями по данным публикаций РИНЦ.

В проанализированных работах специалистов по планированию и обеспечению качества дается обобщенное описание важной методологии QFD воплощения требований потребителя в характеристики новой (или модернизируемой) продукции. Реализация QFD в основном ограничивается планированием качества технических требований к

продукции на основе модели профиля качества Н. Кано в ручном режиме с построением «Домов качества» экспертами. Этот подход более 40 лет с успехом используется различными компаниями в Японии, США и Европе и является требованием для поставщиков автосборочных и авиастроительных предприятий. По результатам анализа российских и зарубежных публикаций установлено, что QFD развивается в трех основных направлениях: применение в различных отраслях; совместное или интегрированное применение с другими методами (ТРИЗ, FMEA «Шесть сигма», Бережливое производство); математическое моделирование (нечеткая логика fuzzy QFD, линейные и нелинейные модели).

В то же время в России планирование качества авиационной продукции по процедурам перспективного планирования качества APQP, ГОСТ Р 58849-2020 «Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания» в основном базируются на организационном подходе и имеют ряд ограничений, которые не позволяют адекватно смоделировать взаимосвязь характеристик продукции с удовлетворенностью потребителей. Погрешность оценок потребителя и эксперта снижает конкурентоспособность продукции.

Следует отметить, что несмотря на выход международных стандартов серий ISO/DIS 16355, ISO 13053 по методологии QFD, методам улучшения в проекте «Шесть сигма», QFD остается на настоящий момент сложным методологическим инструментом для научно-исследовательских работ, ограниченно применяемым в России.

Основные недостатки и ограничения существующих подходов к планированию качества на основе QFD: при использовании QFD фактически определяется только приоритетность направлений для совершенствования; целевые значения планируемых характеристик продукции определяются субъективно. В связи с ограничениями и недостатками, на практике используется не полный цикл развертывания, а только первый уровень QFD, важный с точки зрения маркетинга. Ограничения практического применения QFD являются и ограничениями программной реализации. Программные продукты в лучшем случае позволяют визуализировать «Дом качества» и рассчитать приоритеты характеристик.

Таким образом, обоснована необходимость разработки модели системного планирования качества и методики определения целевых значений характеристик качества продукции на основе эффективного применения методологии QFD с учетом большого количества характеристик и погрешностей исходных данных.

Во второй главе описывается предлагаемая модель системного планирования качества новой и модернизируемой продукции на основе QFD, рассмотрены особенности подходов к математическому моделированию и определению параметров математических моделей.

Для повышения эффективности разработки новых решений на основе имеющихся знаний и научного подхода использован онтологический подход – упорядочение знаний путем их систематизации, создания единой иерархии понятий, унификации терминов и правил интерпретации. В качестве основы для разработки усовершенствованной модели планирования качества разработана базовая онтологическая модель планирования качества на основе QFD.

Задача планирования качества и организация производства является обратной в математическом смысле: по информации о требованиях и удовлетворенности потребителей необходимо определить целевые характеристики продукта. Рассмотрены подходы к определению параметров математических моделей. Широкое распространение при построении математической модели получил метод наименьших квадратов (МНК). В основном, работы по моделированию и построению математических моделей имеют

отношение к физическим процессам и техническим системам и не применялись к задачам планирования качества перспективной продукции и QFD.

По результатам анализа существующих моделей планирования качества и методологии QFD, подходов к математическому моделированию и разработанной базовой онтологической модели предложена модель системного планирования качества продукции с учетом основной базы знаний и возможной дополнительной информации (Рисунок 1).

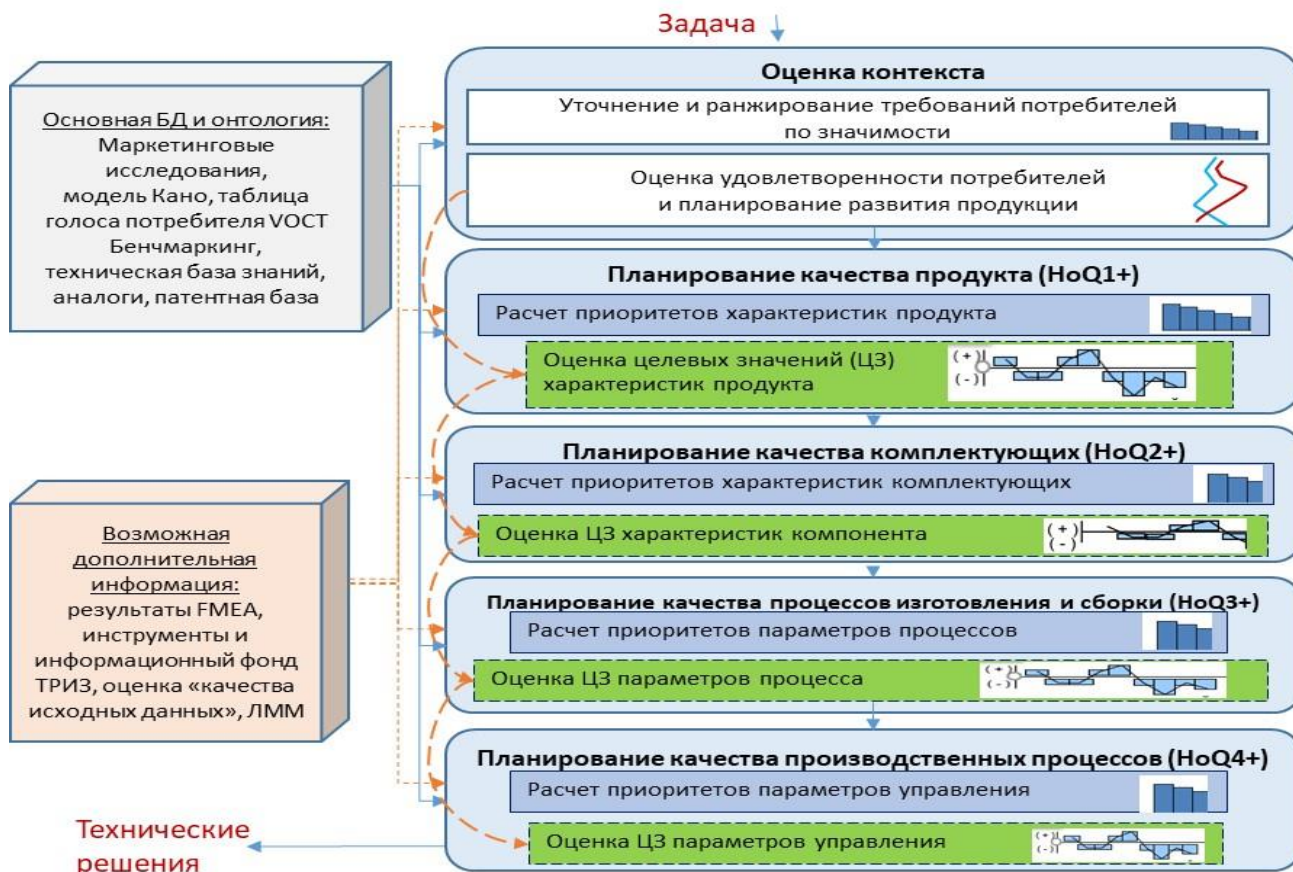


Рисунок 1 – Модель системного планирования качества на основе QFD

Предложенная модель отличается от изученных существующих подходов получением не только приоритетов и направления улучшений, но и технических решений в виде оценок значений целевых характеристик продукции и процессов на всех уровнях QFD, а также возможностью учета различной дополнительной информации.

Третья глава содержит описание алгоритма оценивания неизвестных параметров в задаче построения математической модели, предлагаемую математическую модель и методику *MTQFD* (Matrix Technique QFD) на основе матричных вычислений для определения приоритетов и определения целевых значений характеристик продукции и параметров технологических процессов.

В связи с особенностями математической постановки задачи планирования качества и современными компьютерными возможностями предлагается использовать метод решения матричного уравнения для реализации QFD. Метод позволяет обоснованно учитывать кроме взаимосвязи требований и характеристик дополнительную информацию: относительные изменения параметров состояния (возможность изменения значений характеристик продукции), относительные изменения признаков состояния (изменения степени выполнения требований и ожиданий потребителей) и другие.

Традиционным решением задачи планирования качества продукции в рамках QFD является последовательное ранжирование характеристик в соответствии с полученным приоритетом (результат) с учетом важности требований потребителя (исходные данные).

Абсолютное значение приоритета j -той характеристики W_j на уровне 1 QFD рассчитывается по формуле:

$$W_j = \sum_{i=1}^{k} (p_i \cdot h_{ij}), \quad (1)$$

где h_{ij} – коэффициент взаимосвязи характеристики j и требования i ,
 p_i – важность i -того требования для потребителя,
 k – количество требований потребителя.

Данная математическая модель является единой для расчетов при реализации методологии на всех уровнях QFD. В традиционном подходе сложность и громоздкость ручных вычислений сочетается с отсутствием учета погрешности исходных данных, что приводит к низкой достоверности полученных результатов. Такая информация как взаимосвязь характеристик (часто отрицательная), погрешности при получении маркетинговой и бенчмаркинговой информации, трудности воплощения модернизации (отсутствие технологий) учитывается в «ручном» режиме, что не позволяет использовать существующую модель QFD в полной мере в качестве инструмента поддержки принятия решения.

В связи с особенностями поставленной задачи и современными возможностями компьютерной обработки результатов предлагается для решения использовать решение матричного уравнения, позволяющее обоснованно учитывать широкий круг различной дополнительной информации:

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

где $\delta\Theta$ – n -мерный вектор относительных изменений параметров состояния (оценок целевых значений характеристик продукции),

$\delta\bar{P}$ – k -мерный вектор относительных изменений признаков состояния (удовлетворенности выполнением требований и ожиданий потребителей),

\bar{H} – матрица размером $(k \times n)$ коэффициентов взаимосвязи (коэффициентов корреляции или их экспертных оценок) параметров и признаков состояния (далее – линейная математическая модель, ЛММ). В авиационной промышленности значения размерности k, n достигают 100-1000 и более, что создает трудности в стандартной реализации QFD.

Иллюстративно отличие нового математического аппарата от математического аппарата QFD представлено на рисунке 2.

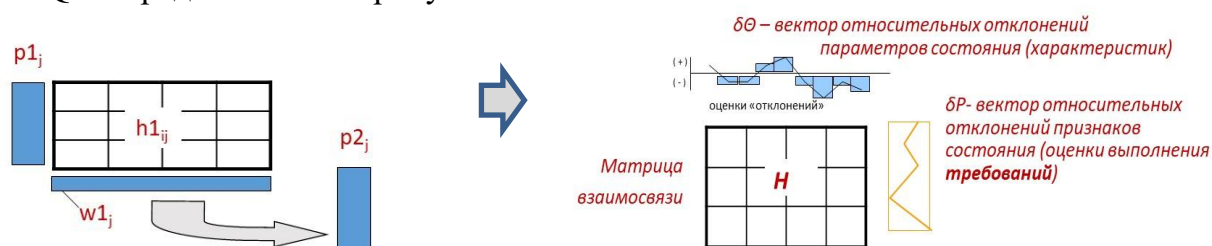


Рисунок 2 – Предлагаемое совершенствование математического аппарата QFD для решения задачи планирования качества как обратной задачи

Подход к планированию качества, основанный на матричном подходе позволяет существенно упростить решение практической задачи планирования качества с учетом различной информации (результаты бенчмаркинга, анализа рисков FMEA, трудность реализации и т.д.) и повысить достоверность результатов.

Разработанный процесс (рисунок 3) и алгоритм (рисунок 4) методики Matrix Technique QFD включает в себя как расчет приоритетов, так и определение целевых значений характеристик продукции/компонентов и параметров технологических и производственных процессов.

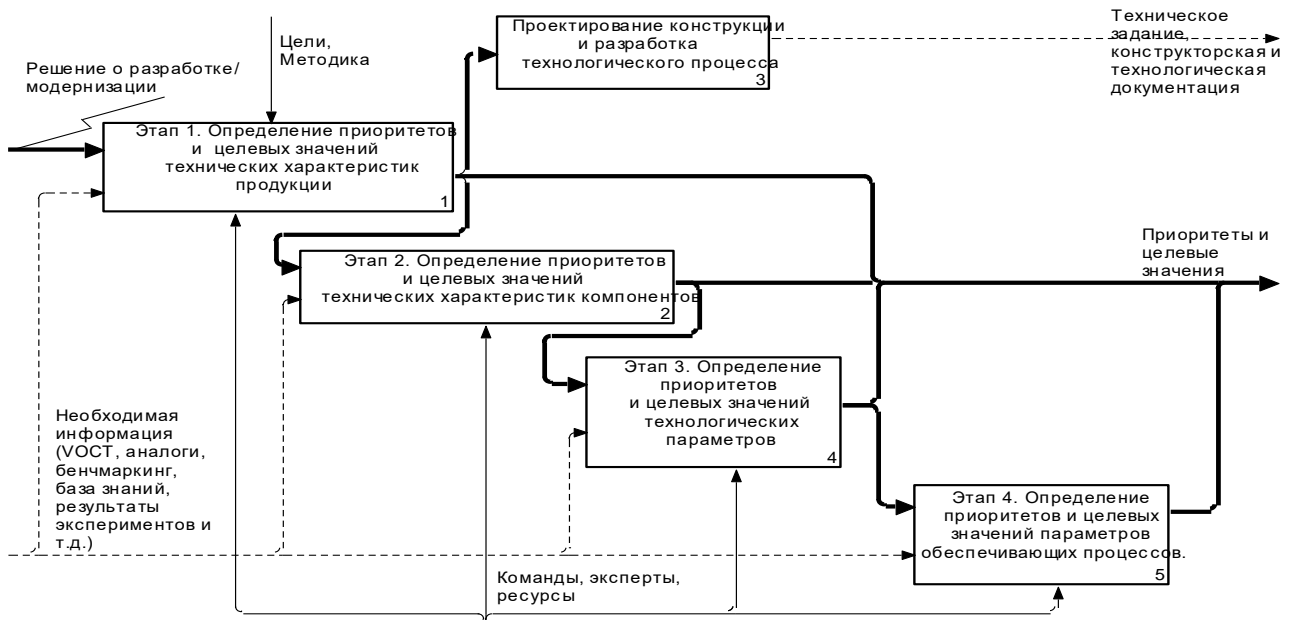


Рисунок 3 – Процесс реализации методики MTQFD

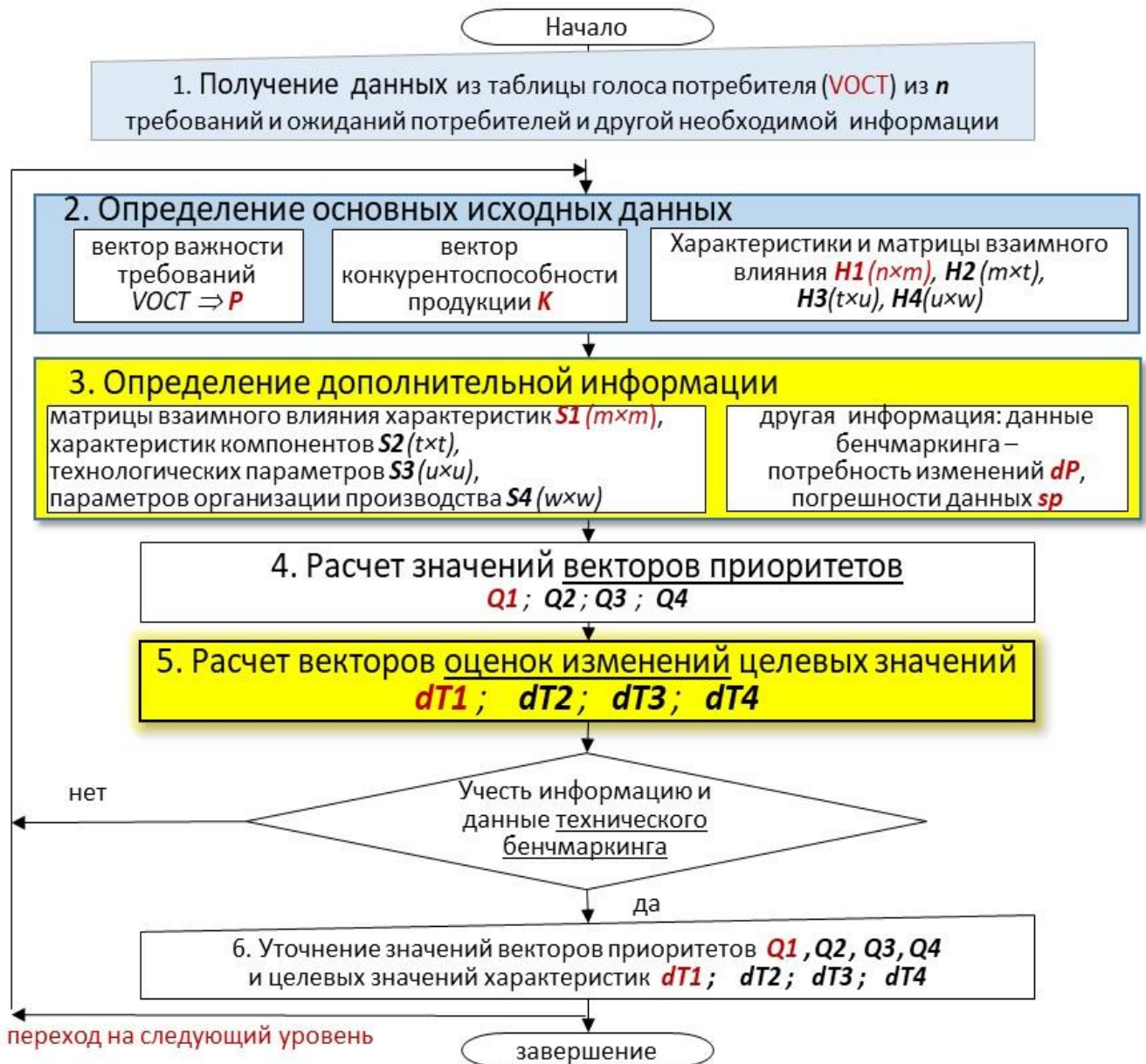


Рисунок 4 - Алгоритм методики MTQFD

В дальнейшем повышение достоверности результатов планирования качества при использовании матричного подхода возможно за счет использования дополнительной информации о погрешностях признаков состояния (важности требований и ожиданий потребителей) и возможных значениях параметров состояния (целевых значений характеристик).

Используя матричные преобразования в МНК получаем не только принятые в QFD приоритеты технических характеристик, но и оценки целевых значений характеристик:

$$\delta \hat{\theta} = (H^T \cdot sp \cdot H)^{-1} H^T \cdot sp \cdot \delta P, \quad (4)$$

где sp – весовая матрица погрешностей требований и взаимного влияния.

Разработанная методика MTQFD на основе матричных вычислений позволяет не только решить задачу выявления наиболее важных характеристик и параметров продукции для выполнения требований потребителя, но также достичь решения практической инженерной задачи оценки целевых значений характеристик и повысить эффективность этапа планирования и проектирования продукции.

Разработана базовая реализация метода MTQFD в программных средах MathCad и Python. На основе метода и разработанного программного модуля разработан проект стандарта предприятия «Применение матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов».

В четвертой главе приведены результаты оценки адекватности разработанной методики MTQFD и исследования возможности применения для планирования качества авиационной продукции.

Адекватность разработанной методики была исследована на примере «цифрового двойника» технической системы «авиационный двигатель со свободной турбиной ТВ7-117С». Математическое моделирование и результаты испытаний газотурбинных двигателей (ГТД) используются для решения задач: доводка ГТД по основным данным и термогазодинамическим параметрам, диагностика состояния ГТД, идентификация динамических характеристик, контроль и отладка режимов работы двигателя и т.д.

Проведено исследование на основе ЛММ ГТД ТВ7-117С для отечественного гражданского ближнемагистрального самолета Ил-114, содержащей коэффициенты влияния (в том числе отрицательные) на максимально продолжительном режиме. Изменения признаков состояния смоделированы путем решения прямой задачи с учетом информации о возможных изменениях параметров состояния №9, №11 (+10% и -11% соответственно), погрешности параметров и признаков состояния.

По выбранной модели произведен расчет приоритетов QFD и расчет по разработанной усовершенствованной методике MTQFD.

Приоритеты, полученные стандартным методом QFD, не отражают смоделированных изменений (рисунки 5, 6). Смоделированные изменения признаков в стандартном расчете QFD не проявили себя и не повлияли на приоритетность параметров, так как для использования отрицательных значений в ЛММ, необходимы дополнительные расчеты.

Расчет методикой MTQFD проведен с использованием разработанного программного модуля. Полученные изменения параметров №9, №11 отражают смоделированные значения с учетом влияния линейной модели и других параметров (+9,56% и - 9,31% соответственно). Для анализа адекватности методики при использовании экспертной модели со шкалой, принятой в QFD, было проведено дополнительное исследование - преобразована к виду, принятому в QFD, с 7-точечной шкалой, учитывающей отрицательные значения взаимосвязей. При использовании экспертной шкалы получены оценки изменений целевых значений в +26,6% и -10,7% для параметров №9 и №11 соответственно.

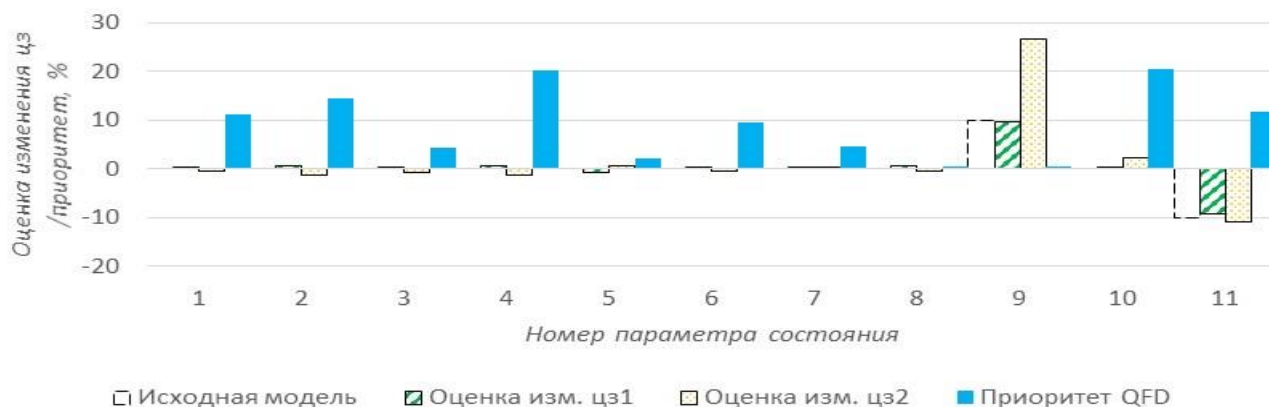


Рисунок 5 - Оценка приоритета и целевых значений параметров состояния для ЛММ ГТД ТВ 7-117С

Смоделированные и полученные результаты		Номер параметра состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Смоделированное изменение целевого значения (цз) параметра состояния		0	0	0	0	0	0	0	0	+10%	0	-10%
Полученные результаты												
QFD	Приоритет	-24.94	-32.62	-9.69	-45.12	-4.71	21.36	10.3	1.34	-1.45	46.21	-26.44
	Относительный приоритет, %	11.12	14.55	4.32	20.12	2.10	9.52	4.59	0.59	0.64	20.61	11.79
	Ранг	5	3	8	2	9	6	7	11	10	7	4
MTQFD*	Изменение цз1	0.280	0.541	0.429	0.552	-0.603	0.262	0.503	0.521	9.56	0.386	-9.31
	Ранг 1	10	5	8	4	3	11	7	6	1	9	2
	Изменение цз2	-0.475	-1.371	-0.729	-1.194	0.599	-0.373	0.088	-0.422	26.6	2.339	-10.7
	Ранг 2	8	4	6	5	7	10	11	9	1	3	2

Рисунок 6 – Расчет приоритетов и целевых значений параметров состояния для ЛММ ГТД ТВ 7-117С методом QFD и с использованием методики MTQFD

Дополнительно проведено исследование на основе 100 цифровых экспериментов с добавлением к значениям изменения признаков состояния (правой части системы) случайной погрешности, имеющей нормальный закон распределения, подтвердившее устойчивость метода.

Отработка метода осуществлялась многофункциональной командой ЗАО «СКК» для производства провода авиационного назначения в соответствии с разработанным стандартом организации. Используются математические модели, включающие 14 требований, 21 характеристику провода, 28 характеристик компонентов, параметр технологического процесса, 24 параметра производственного процесса. Наибольшую важность имели требования: маркировка, обеспечивающая легкость безошибочной сборки и использования; непрерывность по всей длине в упаковке; особые условия эксплуатации (рабочая температура до 105°C, напряжение до 60В). По результатам расчетов 1 уровня, выполнение данных требований возможно за счет увеличения на 3% характеристик: стойкость к тепловой усадке; стойкость к деформации; стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке, увеличения строительная длина проводов (+2,3%), а также уменьшения значений характеристик прилегание изоляции к ТПЖ (-2,2%), отделение изоляции от ТПЖ (-2,5%). Данные изменения возможны по результатам расчетов на 2 уровне за счет изменения целевых значений характеристик ТПЖ: отсутствие выпучивания проволок (-3,85%); тепловая стабильность изоляции (+3,92%). На 3 уровне параметров процесса необходимы изменения на операции «Оп.075 Скрутка» - повышение стабильности размеров глазков и роликов (+2,8%) и на операции «Оп.155 Наложение изоляции на ТПЖ» за счет изменения

характеристик: стабильность размеров направляющих роликов (+1,3%); чистота материала (качество фильтрации) (+1,3%).

С учетом планового сокращения времени и затрат на разработку до 30%, расчетный экономический эффект для кабельной продукции составляет более 1300 тыс. руб. на разработку 1 типоразмера в год и более 3600 тыс. руб. на модернизацию 5-6 типоразмеров в год без учета экономии от сокращения затрат на несоответствия.

Проведенные исследования и полученные результаты являются основой программной реализации в качестве элемента гибридной экспертной системы планирования качества в авиационной промышленности (рисунок 7).

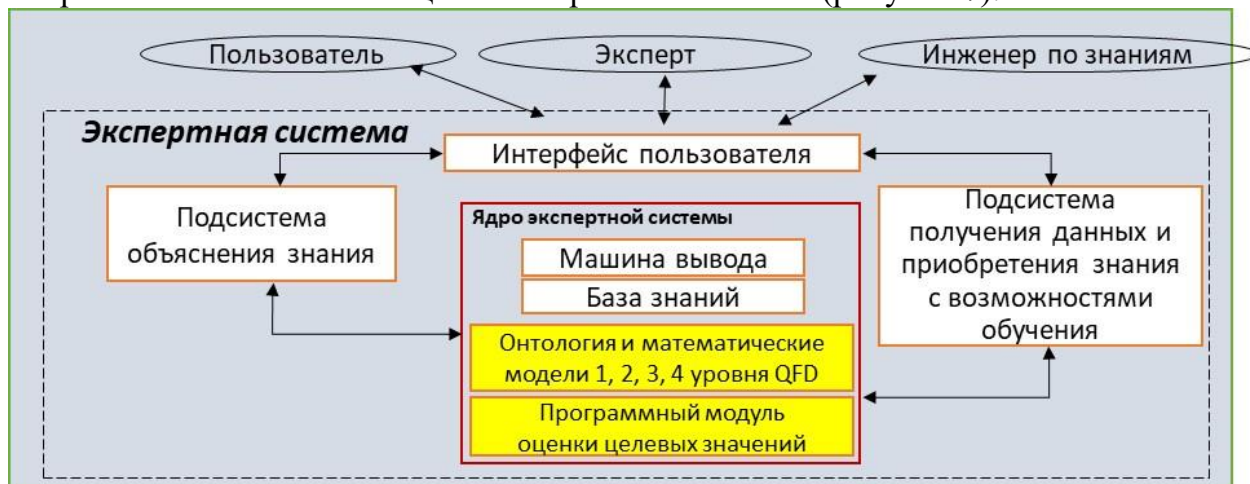


Рисунок 7 – Структура гибридной экспертной системы, включающей онтологию, математические модели и программный модуль

Экспертная система ориентирована на планирование качества на этапах разработки (продукции, компонентов, технологических и производственных процессов), опирается на существующие подходы, имеет стандартную структуру базы знаний.

Онтологические модели планирования качества (базовая и для кабельной продукции) на основе модели Н.Кано реализованы в информационной системе (ИС) проектирования онтологий Protégé, моделирование процесса реализации методики MTQFD в нотации IDEF0 в ИС Erwin. Программный модуль MTQFD реализован в средах MathCad и Python.

В заключении изложены основные результаты и выводы исследования, подтверждающие положения, выносимые на защиту, определены перспективы дальнейшего совершенствования и повышения устойчивости предложенной модели.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования решена важная научная задача совершенствования планирования качества продукции на основе методологии QFD, достигнута цель диссертационного исследования и решены поставленные задачи:

1 Проведен анализ и выявлены недостатки существующих подходов к планированию качества в авиационной промышленности, в том числе на основе методологии развертывания функции качества (QFD).

2 Предложена усовершенствованная модель системного планирования качества на основе методологии QFD, которая отличается возможностью получения не только приоритетов улучшений, но и оценок целевых значений характеристик продукции и технологических процессов. Модель имеет возможность учитывать взаимосвязь характеристик, погрешности при получении маркетинговой и бенчмаркинговой информации.

3 Разработана методика Matrix Technique QFD планирования качества, которая отличается от других подходов к разработке продукции на основе QFD

использованием матричных вычислений, что позволяет определить не только приоритеты, но и оценок целевых значений характеристик продукции и параметров технологических процессов. Методика дает возможность использовать большие массивы данных и учитывать информацию о взаимосвязи характеристик и погрешностях исходных данных.

Предложенный *алгоритм* методики MTQFD отвечает требованиям простоты, возможности программирования, применения большого количества исходных данных и использования различной дополнительной информации, в том числе о погрешностях исходных данных, предварительной оценки целевых значений характеристик, взаимосвязях характеристик (включая отрицательные).

4 *Разработаны онтологическая модель и программный модуль* методики MTQFD, как элемент гибридной экспертной системы, с возможностью учета дополнительной информации, которые позволяют определить оценки целевых значений конкретных характеристик продукции/ компонентов и параметров технологического процесса с учетом погрешности входной информации.

5 *Подтверждена адекватность и устойчивость* метода на основе математического моделирования и решения прямой и обратной задачи с использованием ЛММ ГТД ТВ 7-117С и экспертной 7-точечной шкалы QFD.

На отработанной ЛММ результаты отличаются менее, чем на 1%. Для исследования устойчивости проведено более 100 экспериментов с цифровым моделированием изменения значений признаков состояния случайным образом по нормальному закону распределения.

Проведена отработка предложенной матричной методики MTQFD для производства проводов авиационного и автомобильного назначения ЗАО «Самарская кабельная компания», определена потребность изменения целевых значений характеристик ТПЖ (отсутствие выпучивания проволок (-3,85%), тепловая стабильность изоляции (+3,92%) и технологического процесса (Оп.075 Скрутка. Стабильность размеров глазков и роликов (+2,8%), Оп.155 Наложение изоляции на ТПЖ. Стабильность размеров направляющих роликов (+1,3%), Чистота материала (качество фильтрации) (+1,3%).

Расчетный экономический эффект для кабельной продукции составляет более 1300 тыс. руб. на разработку 1 типоразмера в год и более 3600 тыс. руб. на модернизацию 5-6 типоразмеров в год без учета экономии от сокращения затрат на несоответствия. Коэффициент экономической эффективности с учетом затрат на исследование и внедрение составляет 2,7.

6 *Разработан проект стандарта предприятия* СТП «Применение матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов», реализующий предложенную методику и являющиеся методической основой постоянного совершенствования продукции и процессов. Возможно применение разработанного стандарта в других предприятиях авиационной и автомобильной промышленности, а также в других отраслях машиностроения.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в разработке экспертной системы, интеграции с существующими базами знаний и инженерными методиками в авиастроении и совершенствованием методики в части поиска наиболее робастных решений.

Список научных работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК России

1. Митрошкина, Т.А. Системное планирование качества продукции и процессов авиационной промышленности на основе развертывания функции качества // Качество и жизнь. — № 2 — 2023. – С. 68-71.

2. Митрошкина, Т.А. Реализация противоречивых целей в области качества при построении эффективной системы менеджмента качества/ С.Н. Казандаева, Т.А. Митрошкина и др. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2022. — № 5. — С. 3-8.

3. Митрошкина, Т.А. Моделирование и анализ технологии лазерной сварки для ремонта лопаток авиационного двигателя/ М.В. Воеводин, Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев // Качество и жизнь. — 2020. — № 2 (26). — С. 82-87.

4. Митрошкина, Т.А. Современные методы улучшения качества проектирования специальной технологической оснастки для испытаний сборочно-защитного блока научно-энергетического модуля / Р.С. Загидуллин, Т.А. Митрошкина и др. // Качество и жизнь. - 2019. - № 2 (22). - С. 44-53.

5. Митрошкина, Т.А. Современные инновационные методы структурирования качества продукции и управления рисками / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев, Лаптев Н.И. и др. // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17. № 8. - С. 330-332.

6. Митрошкина, Т.А. Метод идентификации качества продукции на основе матричного подхода / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2010. - Т. 12. - № 4-4. - С. 879-891.

7. Митрошкина, Т.А. Развертывание функции качества с использованием идентификации математической модели технологического процесса производства автопровода / В.Н.Родионов, Т.В.Попова, Т.А. Митрошкина// Известия Самарского научного центра РАН. - 2010. - Том 12. - Номер 4 (4). – С.889-891.

8. Митрошкина, Т.А. Идентификация ключевых характеристик качества автопровода с тонкостенной изоляцией / В.Н.Родионов, Т.В.Попова, Т.А. Митрошкина // Известия Самарского научного центра РАН - 2010.-Том 12. - Номер 4 (4). – С.885-888.

Публикации в изданиях, рецензируемых Web of Science или Scopus:

9. Mitroshkina, T. Quality Function Deployment and Design Risk Analysis for the Selection and Improvement of FDM 3D Printer / Zagidullin R., Mitroshkina T., Dmitriev A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 666. Issue 6.

10. Mitroshkina, T. QFD-based Researching and Improving of the Press-Fit Assembling Quality by Use of Technological Equipment from Shape Memory Alloy / R S Zagidulin, T A Mitroshkina // AIP Conference Proceedings. — 2021. — Vol. 2318.

11. Mitroshkina, T. Synergy of QFD and FMEA methods to improve workplaces in aircraft wire manufacturing / A Ya Dmitriev, T A Mitroshkina1 and I V Russkikh // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2021. — Vol. 1027. Issue 1.

12. Mitroshkina, T. Special Aspects of Quality Assurance in the Design, Manufacture, Testing of Aerospace Engineering Products / Dmitriev A.Y., Zagidulin R.S., Mitroshkina T.A. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering vol. 714 (2020) pp: 012006.

13. Mitroshkina, T. Improving the Efficiency of Aviation Products Design Based on International Standards and Robust Approaches. Published under license by IOP Publishing Ltd / Dmitriev A., Mitroshkina T. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Materials Science and Engineering, 476 (2019) 012009.

14. Mitroshkina, T. Structural and Parametric Analysis of Robust Design Quality of Complex Technical Systems/ A.Dmitriev, T. Mitroshkina and G.Rogachev // ITM Web Conf., 10 (2017) 01001.

15. Mitroshkina, T. The ontological model and the hybrid expert system for products and processes quality identification involving the approach based on system analysis and quality function deployment / Dmitriev A., Mitroshkina T. // ITM Web of Conferences, 6 (2016) 02005.

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

16. Митрошкина, Т.А. Совершенствование модели планирования качества авиационной продукции на основе развертывания функции качества// Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении: IV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сб. докладов. – Тула: Тульский государственный университет, 2023.

– С. 271-273.

17. Митрошкина, Т.А. Совершенствование процессов производства БПЛА сельскохозяйственного назначения на основе метода QFD/ А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Е.В. Москаева и др.// Управление качеством: избр. научные труды XIX Международной научно-практической конференции. – Москва: МАИ, 2020. – С. 94-98.

18. Митрошкина, Т.А. Использование и развитие методологии развертывания функции качества и анализа рисков для проектирования летательных аппаратов/ Т.А. Митрошкина // Всероссийская научно-техническая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении»: Сборник докладов. – Тула: Тульский государственный университет, 2019. – С. 205-207.

19. Митрошкина, Т.А. Вопросы экономики и управления качеством при совершенствовании малоразмерного ГТД беспилотного летательного аппарата/ А.Я. Дмитриев, В. С. Кузьмичев, Т.А. Митрошкина и др.// Климовские чтения-2018: перспективные направления развития авиадвигателестроения: сб. докладов международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: АО «ОДК-Климов», 2018. – С. 408-414.

20. Митрошкина, Т.А. Робастные подходы при подготовке производства элементов ПАК из композиционных материалов/ А. Я. Дмитриев, Т. А. Митрошкина// Управление качеством: Избр. научные труды XVI Международной научно-практической конференции. – Москва: МАИ, 2017. – С. 177-181.

21. Митрошкина, Т.А. Гибридная экспертная система идентификации качества продукции и технологических процессов / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Cloud of Science. - 2016. - Т. 3. № 1. - С. 43-52.

22. Митрошкина, Т. А. Особенности развертывания функции качества на основе параметрической идентификации характеристик продукции в кабельной и авиационной промышленности / Т. А. Митрошкина, А. Я. Дмитриев// Управление качеством: Избр. научные труды XV Международной научно-практической конференции. – Москва: МАИ, 2016. – С. 228-231.

23. Митрошкина, Т.А. Перспективная MTQFD методология планирования качества новых проектов газотурбинных двигателей / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина// Климовские чтения - 2016: перспективные направления развития авиадвигателестроения: Сб. докладов международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: АО «ОДК-Климов», 2016. – С. 362-368.

24. Митрошкина, Т.А. Онтология проектирования качества продукции на основе метода MTQFD / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Труды XVII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» - Самара: Самарский научный центр РАН – 2015. – С.338-346.

25. Митрошкина, Т.А. Совершенствование метода развертывания функции качества на основе матричного решения обратных задач / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев// Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством». – М.: ИТЦ МАТИ. - 2015. – С.262-266.

26. Митрошкина, Т.А. Проектирование качества продукции на основе параметрической идентификации моделей, требований потребителей, знаний: онтологическая парадигма / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Онтология проектирования. - 2015. - № 3 (17). - С. 313-327.

27. Митрошкина, Т.А. Современные подходы к идентификации и управлению ключевыми параметрами технологических процессов в авиакосмической промышленности /А.Я. Дмитриев Т.А. Митрошкина// Материалы Всероссийской научно-практической конф. «Управление качеством». - М.: ИТЦ МАТИ. - 2014. - С.194-195.

28. Митрошкина, Т.А. Идентификация качества продукции и услуг как решение обратной задачи /А.Я. Дмитриев Т.А. Митрошкина// Материалы Всероссийской научно-практической конф. «Управление качеством». - М.: ИТЦ МАТИ. - 2013. - С.213-216.