

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

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

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Дмитриев Александр Яковлевич
кандидат технических наук, доцент

Самара – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Анализ подходов к планированию качества продукции и процессов в авиационной промышленности.....	11
1.1 Основные подходы к управлению качеством	11
1.2 Подходы к планированию качества продукции и услуг	18
1.3 Анализ трудностей планирования качества в авиационной промышленности	23
1.4 Анализ реализации методологии развертывания функции качества.....	37
1.5 Выводы по главе 1	49
2 Разработка усовершенствованной модели планирования качества авиационной продукции	51
2.1 Определение математических моделей	51
2.2 Современные методы оценивания неизвестных параметров в задаче определения математической модели	54
2.3 Разработка усовершенствованной модели планирования качества авиационной продукции и процессов на основе развертывания функции качества.....	56
2.4 Процессная модель системного планирования качества	67
2.5 Выводы по главе 2.....	73
3 Разработка методики определения целевых значений и приоритетов характеристик продукции/компонентов и параметров технологических процессов.....	74
3.1 Разработка математической модели развертывания функции качества с использованием матричных вычислений.....	74
3.2 Разработка методики системного планирования качества на основе развертывания функции качества	79
3.3 Разработка математической модели блока определения целевых значений предлагаемой методики системного планирования качества.....	84
3.4 Разработка программного модуля предлагаемой методики системного планирования качества.....	89

3.5 Выводы по главе 3.....	91
4 Оценка адекватности и исследование разработанной методики в авиационной промышленности	92
4.1 Оценка адекватности разработанной методики на примере авиационного двигателя	92
4.2 Пример реализации предлагаемой методики системного планирования качества в кабельном производстве.....	100
4.3 Оценка экономической эффективности.....	107
4.4 Стандартизация и разработка экспертных систем.....	111
4.5 Выводы по главе 4.....	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	125
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ А Связь процессов управления программой создания авиационной техники с методами управления качеством	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Многоуровневый алгоритм предлагаемой методики	150
ПРИЛОЖЕНИЕ В Листинг программного модуля методики MTQFD.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Результаты исследования устойчивости методики	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Линейные математические модели (матрицы взаимосвязи) для кабельного производства	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Проект СТП «Применение матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов» (выдержка).....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Пример интерфейса прототипа экспертной системы.....	168
ПРИЛОЖЕНИЕ И Пример протоколирования результатов работы предлагаемой экспертной системы на примере проектирования авиационного подшипника.....	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Авиационная промышленность является одной из стратегических отраслей 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 [1-3].

Ключевой задачей обеспечения качества авиационной техники является эффективное 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 разворачивания 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 и разработки на 30-50% [4, 8, 32, 33, 73, 78].

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, разработки «цифрового двойника» с использованием технологий больших данных (Big Data) нужно знать десятки тысяч целевых показателей и ограничений [46].

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, К.Ishikawa, N.Kano, G.Taguchi.

Вопросам цифровизации в управлении качества посвящены работы ученых: Д.В. Антипов, А.И. Боровков, В.Е. Гвоздев, В.Н. Козловский, М.Г. Круглов, Д.И. Панюков, С.В. Смирнов, 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. Ключков, А.Н. Лисенков, Е.В. Плахотникова, В.Б. Протасьев, В.Н. Родионов, М.И. Розно, П.С. Серенков, В.Л. Соломахо, А.Н. Чекмарев, В.В. Щипанов, Y. Akae, 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.

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 системного 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 развертывания функции качества.

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 бенчмаркинговой 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 (APQP, FMEA, 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.

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, семи новых инструментов менеджмента качества, методологии перспективного планирования качества продукции (APQP), методологии развертывания (структурирования) функции качества QFD, экспертных методов квалиметрии, 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 по управлению качеством, совершенствованию и повышению эффективности, 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 «Разработка новых концепций, методов и технологий проектирования, производства и эксплуатации перспективных авиационных комплексов для обеспечения их конкурентоспособности на мировом рынке», «Исследование проблем качества и разработка структуры базы знаний по улучшению характеристик широкоформатного керамогранита», реализованы в стандарте предприятия ЗАО «СКК» и внедрены в учебный процесс Самарского университета по дисциплинам «Средства и методы управления качеством», «Квалиметрия», «Экологический менеджмент».

1 Анализ подходов к планированию качества продукции и процессов в авиационной промышленности

1.1 Основные подходы к управлению качеством

С начала 21 века отмечается рост внимания к проблемам качества, повышению конкурентоспособности и экспортного потенциала продукции. Научно-технический прогресс в таких странах, как Япония, Южная Корея и Китай, определен прорывом именно в качестве, позволившим им резко увеличить свой экспорт [6-13]. Сейчас в экспорте развитых стран преобладают промышленные изделия. Для Японии этот показатель равен 97%, для США — 65%, Россия по этому показателю находится на уровне развивающихся стран и продолжает работать над повышением конкурентоспособности машиностроительной продукции [11-13]. По данным федеральной службы государственной статистики Российской Федерации [14] экспорт сложных технических изделий из России по категории «машины, оборудование и транспортные средства» за последние 5 лет практически не меняется и составляет 6,5% от всего экспорта (Рисунок 1.1, Рисунок 1.2).

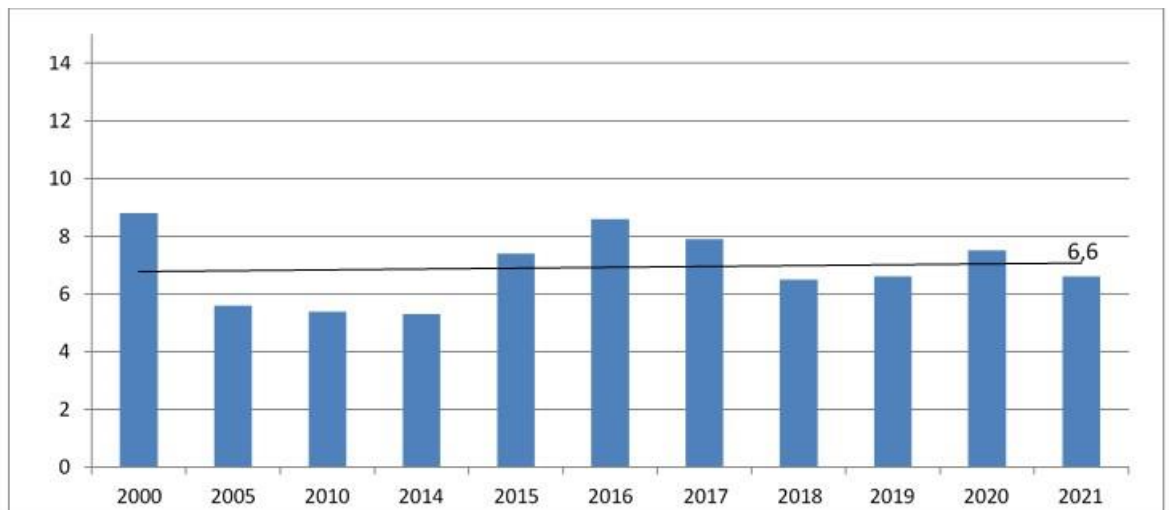


Рисунок 1.1 – Динамика экспорта из России по категории «машины, оборудование и транспортные средства»

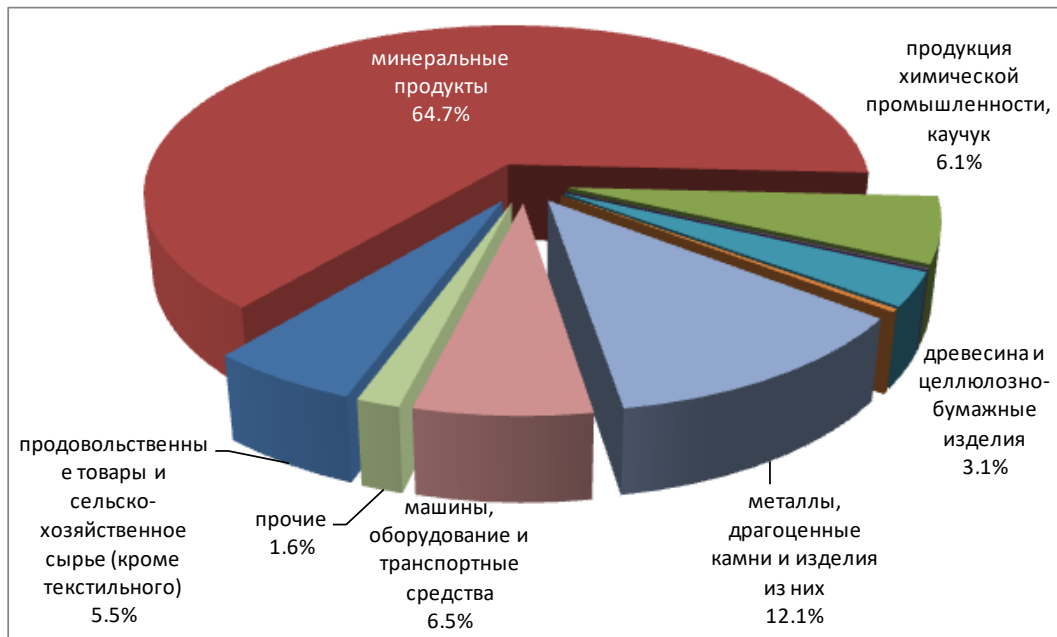


Рисунок 1.2 – Товарная структура экспорта из России

По данным отчета Всемирного экономического форума (ВЭФ) [18] последние 5 лет Россия демонстрирует незначительный рост уровня глобальной конкурентоспособности (Рисунок 1.3).

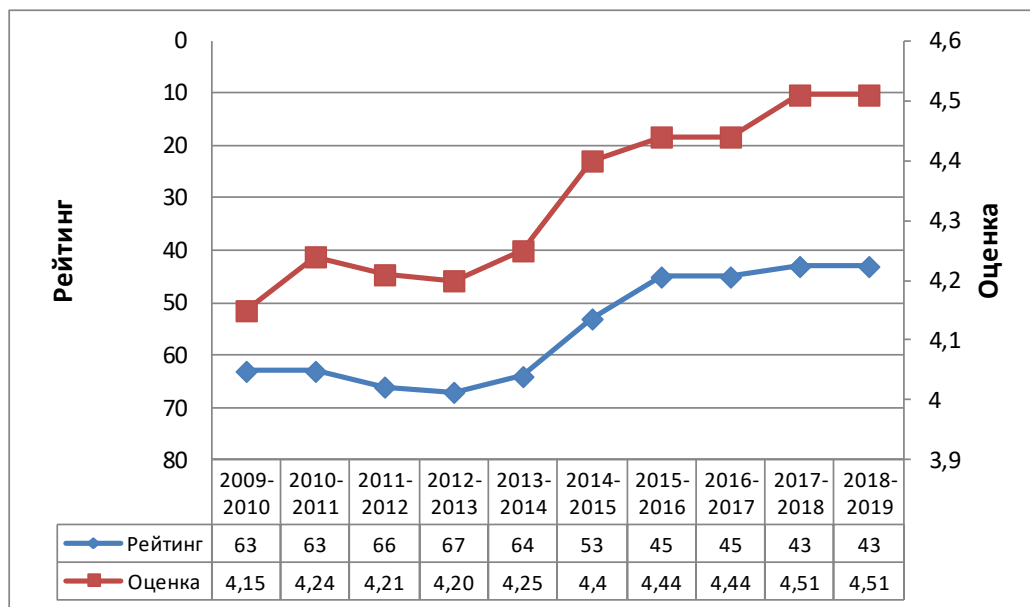


Рисунок 1.3 – Динамика рейтинга России по уровню глобальной конкурентоспособности

Индекс глобальной конкурентоспособности составлен из 113 показателей, характеризующих конкурентоспособность стран мира различных уровней экономического развития. Все показатели сгруппированы в 12 комплексных,

включающие такие показатели, как макроэкономическая стабильность, здоровье и начальное образование, высшее образование и профессиональная подготовка, эффективность рынка труда, уровень технологического развития, размер внутреннего рынка, конкурентоспособность компаний, инновационный потенциал. Экспертами с 2018 года применяется новый порядок выбора ключевых факторов, новая шкала измерения конкурентоспособности (от 0 до 100) [15-16]. Новый инструмент оценки мировых экономик, названный «Индексом глобальной конкурентоспособности 4.0» призван отражать способность мировых экономик составлять конкуренцию другим странам в условиях Четвёртой промышленной революции. Факторы, которые рассматриваются в основном остались прежними: качество институтов, состояние инфраструктуры, проникновение IT и современных коммуникаций, макроэкономическая стабильность, потребительский рынок, рынок труда, финансовая система, размер внутреннего рынка, состояние здоровья населения, образование и навыки людей, динамика развития бизнеса, способность к инновациям. Рассматриваются также факторы: производительность, экономический рост, роль человеческого капитала, инноваций, устойчивости. Россия размещена на 43-м месте, оставаясь при этом региональным лидером [16].

Движущей силой роста в последние 30 лет остается глобализация. Четвертая промышленная революция меняет стереотипы экономики и общества, образ жизни и коммуникаций. Эксперты ВЭФ рекомендуют России более эффективно использовать большой размер рынка, опираясь на стабильную макроэкономическую среду, высокий уровень охвата и внедрение информационных технологий, и человеческий капитал. Необходимо повышение квалификации персонала, что повлияет на инновационную экосистему страны в целом. ВЭФ положительно отмечает принятую в стране Стратегию – 2030 [3], согласно которой планируется сосредоточиться на структурных изменениях и улучшением экспортного потенциала. Так, для авиационной отрасли Стратегия предполагает повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции, в том числе за счет использования новых технологий и материалов; повышения производственного и технического потенциала предприятий авиационной

промышленности путем реализации проектов по техническому перевооружению действующих и созданию новых мощностей [3].

С середины XX века в менеджменте качества получили развитие идеи перехода от управления качеством на основе контроля к концепции «планирования качества» (рисунок 1.4). Развитие менеджмента в этом направлении связано с глобализацией рынка и повышением конкуренции. В этот период развивается теория надежности и автоматизация процессов производства с целью предотвращения выпуска несоответствующей продукции или продукции с отклонениями характеристик от целевых значений. Для концепции «планирования качества» характерна идея о том, что большую часть дефектов можно предупредить на ранней стадии разработки продукции при повышении качества проектирования и переходе от натурных испытаний к математическому и компьютерному моделированию, что позволяет определить потенциальные несоответствия проекта и технологического процесса.

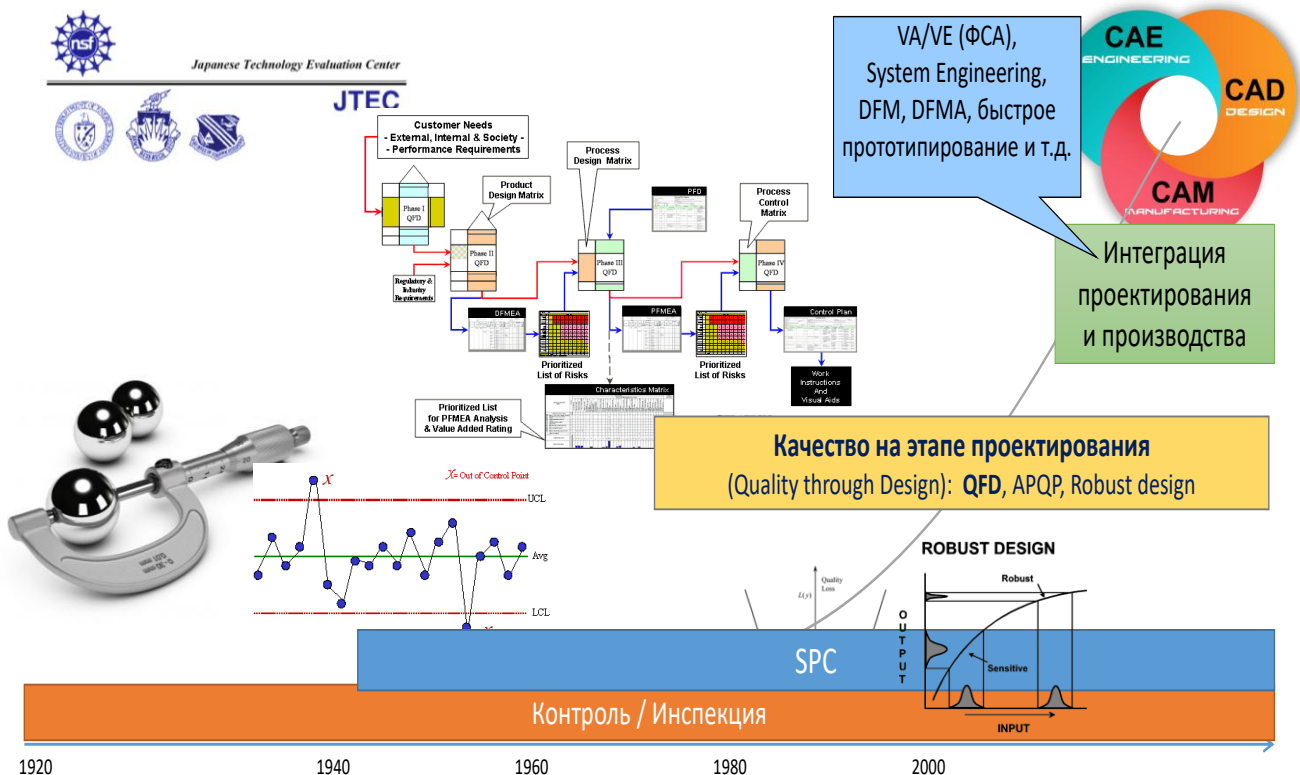


Рисунок 1.4 - Переход к концепции «планирования качества»

К концу XX века место концепции «0 дефектов» занимает идеология повышения удовлетворенности потребителя, высокая конкуренция вынуждает производителей предоставлять продукцию, соответствующую требованиям за приемлемую цену, которая непрерывно снижается. Основные идеи этой концепции изложены в работах Генити Тагути (функция потерь качества, планирование промышленных экспериментов), доктора Мицуно, а также в публикациях разработок компаний «Тойота» и «Мицубиси» [8].

Современные предприятия большое внимание уделяют организационным инновациям, постоянному повышению эффективности системы менеджмента качества (СМК), применению основных методов менеджмента качества и менеджменту знаний организации [73]. Стандарты серии ISO 9000 [17-19] указывают на необходимость не только оценивать риски, связанные с инновациями, но и использовать менеджмент знаний и оценку внутреннего и внешнего контекста организации. Современный подход к менеджменту качества Big Q, ориентирован на улучшение бизнеса организации [8-13, 20]. Термином «Big Q», введено Дж.Джураном подчеркнута важность стратегического инновационного развития организации. «Big Q», развивает концепцию TQM за счет применения развертывания функции качества, планирования экспериментов (Shainin DOE) и других методов. С развитием концепции повышается результативность системы менеджмента предприятия: ISO 9001 – 5 условных единиц, ISO/TS 16949 – 10 единиц, TQM – 35 единиц, «Шесть Сигм» – 50 единиц, «Big Q» - 90 [8-13, 20, 73].

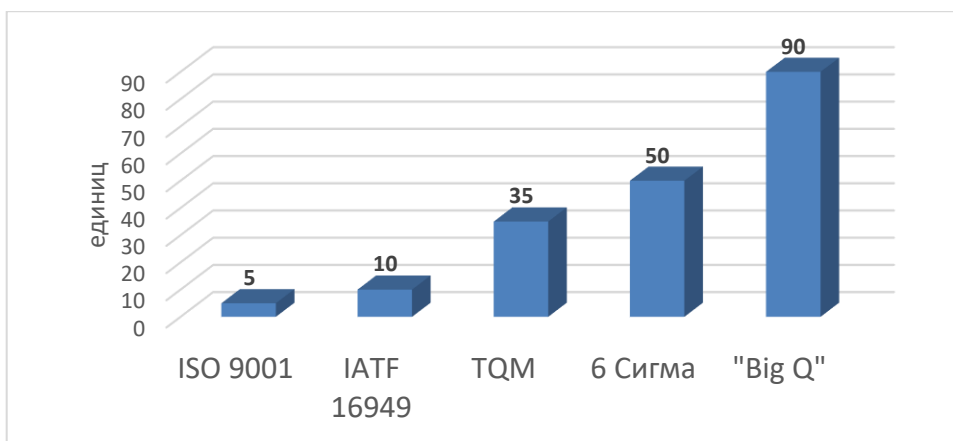


Рисунок 1.5 - Развитие подходов к менеджменту качества

Широко распространены два основных подхода к улучшениям: KAIZEN – мелкие улучшения и KAIRYO – инновации, реинжиниринг. Кайдзен – это процесс непрерывных малых улучшений для устранения потерь. Кайдзен может быть реализован применением различных методов управления, например, 5S – организация рабочего места, Рока-Юока – защита от ошибок и другие [73].

Подход Кайрио подразумевает кардинальные изменения в организации, включая внедрение современного оборудования, новейших технологий, автоматизированных систем управления. Эти изменения могут быть спланированы на основе методологии структурирования (развертывания) функции качества QFD или Хосин Канри.

Так как ставшие популярными простые инструменты качества (диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, контрольные карты и т.д.) используются в основном для анализа числовых данных, инженеры Союза Японских Ученых и Инженеров JUSE разработали набор инструментов для анализа различного рода нечисловых данных, которые получили название семи новых инструментов качества и были переведены на английский язык в 1986 году [8]. К новым инструментам, существенно облегчающим задачи проектирования инновационной продукции относятся: диаграмма сродства (affinity diagram), древовидная диаграмма/ дерево решений (tree diagram), диаграмма (график) связей (interrelationship diagram), матричная диаграмма или таблица качества (matrix diagram or quality table), стрелочная диаграмма (arrow diagram), диаграмма процесса осуществления программы (Process Decision Program Chart - PDPC), матрица приоритетов / анализ матричных данных) (matrix data analysis) [8-13].

С точки зрения задачи планирования качества продукции интерес представляют матричная диаграмма и матрица приоритетов. Особое место среди современных комплексных инструментов менеджмента качества занимает методология структурирования (развертывания) функции качества (Quality Function Deployment, QFD, подробнее в разделе 1.4.2).

Достаточно широко в современных инновационных производствах применяется менеджмент знаний, проектирование бизнес-онтологий и

онтологических моделей предприятий. Основой проектирования сложных технических систем, таких как авиационные комплексы, является структуризация и онтологическое проектирование [21]. Публикации по созданию экспертных систем на основе онтологий встречаются уже не только для предметных областей и в области разработки компьютерных систем, но и для других типов деятельности. Например, в [22-24] представлена экспертная система на основе онтологий для деятельности измерительной (испытательной) лаборатории. Проектирование и разработка онтологий (онтологический инжиниринг) является не только основой современной концепции менеджмента знаний (КМ - Knowledge Management), но и наиболее перспективным подходом к управлению сложными "информационно наполненными" системами [22-26]. Наиболее распространены работы двух общепризнанных лидера организационного моделирования – канадская (проекты TOVE, TOronto Virtual Enterprise департамента промышленного инжиниринга университета Торонто) и эдинбургская (Enterprise Project) школы онтологического моделирования бизнеса [25, 26]. Основные цели проектов – зафиксировать знания в области моделирования бизнеса, создать основу для автоматизации бизнес-процессов. Особый интерес представляет разработка онтологий качества бизнеса на основе стандартов серии ISO 9000.

Постоянное развитие рассмотренных подходов к управлению качеством связано с повышением глобальной конкуренции практически во всех отраслях, а также с осознанием экономических аспектов качества, основой которых является правило 10-кратного роста затрат на устранение несоответствий на этапах жизненного цикла продукции [8, 10-13]. В то время, как на корректировку при концептуальном проектировании необходимо затратить условно 1 рубль, на этапе изготовления, после проектирования, разработки технологического процесса, покупки оборудования, подготовки производства – затраты на корректировку решений будут составлять уже условно 1000 рублей. Практика показывает, что действующие предприятия не оценивают перспективные затраты и предпочитают внедрять не корректирующие действия (решения, устраняющие причины несоответствий, требующие те самые 1000 р), а добавлять в технологический

процесс вспомогательные операции, не добавляющие ценности (контроль, разбраковка, доработка), затраты на которые в перспективе могут составлять еще большие суммы.

1.2 Подходы к планированию качества продукции и услуг

Решение задачи повышения результативности планирования и производства отечественных товаров в условиях постоянного изменения требований рынка, в том числе в условиях диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), невозможно без повышения качества. Цена не является ключевой среди факторов конкурентоспособности, повышается значимость потребительских свойств и уровня обслуживания [11-13]. В соответствии с терминологией стандартов серии ГОСТ Р ИСО 9000, качество определяется потребностями и ожиданиями потребителей через термин «требование» [17]. При этом управление качеством услуг, в отличие от управления качеством продукции имеет свои особенности, так как услуга оказывается при взаимодействии с потребителем.

В практике российских предприятий распространены три основных подхода к определению качества продукции и процессов, в разной степени применяемые предприятиями, находящимися в различных рыночных условиях (Рисунок 1.6):

- 1) директивно установленные требования (госзаказ, ТЗ, ГОСТ и т.д.),
- 2) характеристики, установленные по результатам бенчмаркинга и/или реверс-инжиниринга (обратного инжиниринга),
- 3) характеристики, установленные по результатам маркетинговых и социальных исследований, в том числе на основе модели Кано.

Подходы	«Монопольные» рынки (СССР, ОПК)	Позиция предприятия на конкурентном рынке		
		Новые	Консерваторы	Инноваторы
Директивно	+++ (ГОЗ, стандарты)	++ (требования потребителей)	+	±
Бенчмаркинг/ реверсинжиниринг	++ (технический бенчмаркинг)	+++ (реверс)	++ (технический бенчмаркинг)	+++
Маркетинг, социология, модель Кано	± (социология)	+	+	+++
Оптимизация и робастные методы	+++ (методы оптимизации)	-	+	+++ (методы оптимизации на основе ИТ)

Рисунок 1.6 – Подходы к определению качества продукции

Предприятия ОПК, к которым относятся некоторые отечественные предприятия авиакосмической отрасли, до сих пор обладают низкой компетентностью в части применения третьего подхода, в связи с историческим наследием плановой экономики СССР. Подходы на основе бенчмаркинга разными участниками рынка используются по-разному: в то время как инновационные лидеры перенимают лучшие практики и подходы в вопросах инжиниринга, участники монопольного рынка и начинающий бизнес предпочитают использовать готовые технические решения, вплоть до копирования характеристик продукта.

Отдельным образом необходимо обратить внимание на методы оптимизации и робастного проектирования, которые достаточно широко используются как предприятиями ОПК для уточнения характеристик продукции и процессов военного назначения, так и инновационными лидерами на конкурентных рынках.

Проведен анализ распространения методов определения и идентификации качества на основе публикаций в библиотеке РИНЦ. На 2022 год в РИНЦ размещено около 40000 работ, связанных с вопросами качества (указано ключевое слово «качество»). Наибольшее количество работ (69%) связано с вопросами стандартизации (Рисунок 1.7, а)). На следующем месте по распространенности – методы оптимизации (включая робастное проектирование) и маркетинг. И на

последнем месте (около 2%) публикаций упоминают бенчмаркинг (вместе с реверс-инжинирингом).

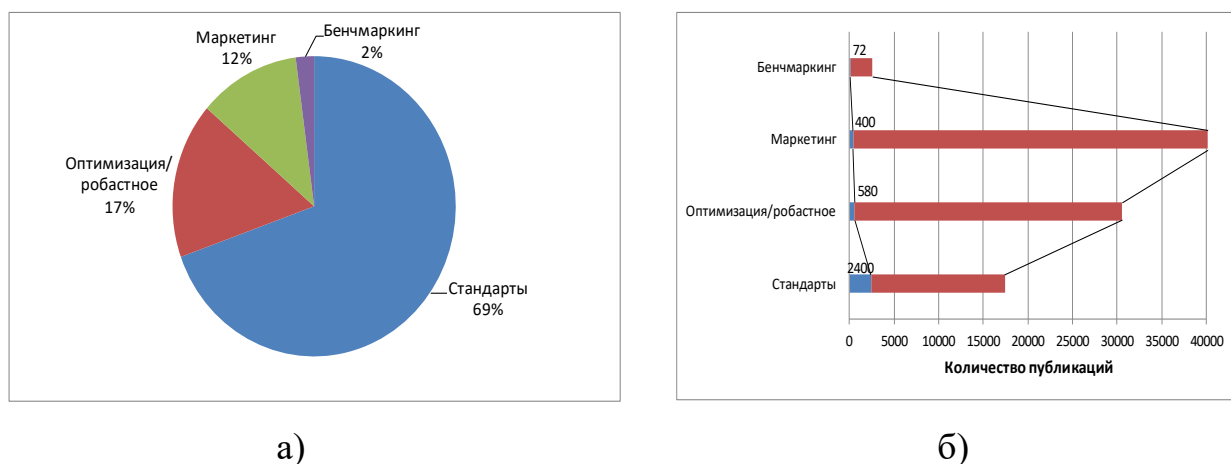


Рисунок 1.7 – Анализ подходов к определению качества по данным РИНЦ

Если рассматривать публикации РИНЦ без привязки к определению (идентификации) качества, то наибольшее распространение (Рисунок 1.7, б)) имеют маркетинговые подходы и оптимизация (40 и 30 тысяч публикаций соответственно). Вероятно, многие исследователи относят бенчмаркинг к вопросам маркетинга, но в вопросах определения качества желательно его, вместе с реверс-инжинирингом рассматривать как отдельный подход.

Бенчмаркинг является одним из способов получения информации о положении продукта и организации на рынке. Бенчмаркинг – это процесс нахождения и изучения самых лучших из известных продуктов, процессов и методов ведения бизнеса [8, 9, 178-180]. Бенчмаркинг не является одноразовым и для достижения эффективности от его применения необходимо интегрировать его в процессы инноваций и усовершенствований организации. Фактически бенчмаркинг – это альтернативный метод стратегического планирования, в котором цели определяются не от достигнутого результата, а на основе анализа показателей конкурентов. Технология бенчмаркинга объединяет разработку стратегии, отраслевой анализ и анализ конкурентов [178-180].

К данному подходу возможно отнести так же и реверс инжиниринг или обратный инжиниринг – исследование технических решений и технических характеристик продукта, узлов и деталей.

Маркетинговые и социологические исследования. С целью получения и анализа информации о положении продукта на рынке, отзывах и ожиданиях потребителей специалистами по маркетингу применяются процедуры опроса, когда респонденты самостоятельно заполняют анкеты, а также личные и телефонные интервью. Математико-статистические вероятностные модели выборочных маркетинговых и социологических исследований часто опираются на предположение о том, что выборку можно рассматривать как «случайную выборку из конечной совокупности» [27-30].

Уровень ошибки зависит от объема выборки при проведении маркетинговых или социологических исследований. В таблице 1.1. приведены значения точности оценивания [31], разработанная на основе материалов ВЦИОМ (Всероссийский центр по изучению общественного мнения).

Таблица 1.1 – Уровень ошибки в зависимости от объема выборки (в %) [31]

Доля ответов «да» или «нет»	Объем выборки					
	1000	750	600	400	200	100
Около 10% или 90%	2	3	3	4	5	7
Около 20% или 80%	3	4	4	5	7	9
Около 30% или 70%	4	4	4	6	9	10
Около 40% или 60%	4	4	5	6	8	11
Около 50%	4	4	5	6	8	11

Среднее число анкет в социологическом исследовании составляет 700. Объемы пилотных исследований обычно ниже, чем объемы стандартных исследований.

Модель Кано. Японский профессор и международный консультант доктор Нориаки Кано вместе с коллегами заложил фундамент подхода, более известного под названием Модель Кано. Н.Кано развил идею о том, что не все характеристики и свойства продукта или услуги одинаково воспринимаются потребителем и одни характеристики обеспечивают более высокую лояльность потребителя, чем другие. Модель Кано различает три вида основных факторов, которые реально влияют на удовлетворенность потребителя (Рисунок 1.8) [8, 32, 33]: базовые, основные и ожидаемые.

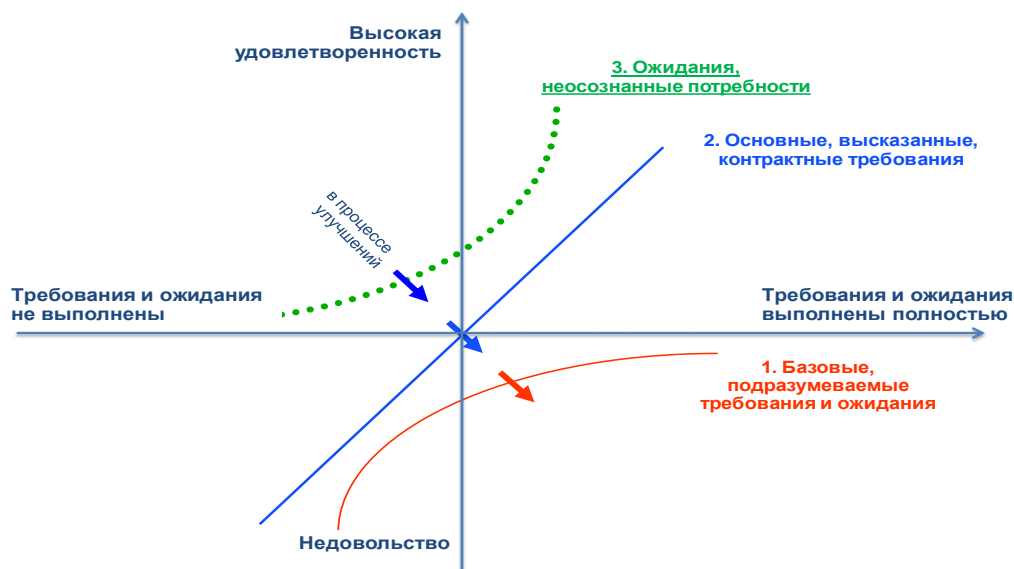


Рисунок 1.8 - Модель анализа удовлетворенности потребителя
(модель Канона)

Базовые факторы (обязательные, подразумеваемые, санитарные требования) - минимальные требования, не создающие удовлетворенности потребителей, но вызывающие неудовлетворенность в случае их отсутствия. Эти требования считаются само собой разумеющимися, обязательными и включают законодательные требования, о которых потребитель не обязан знать, но производитель/продавец обязан их выполнять. Основные факторы (контрактные, высказанные требования) – степень удовлетворенности потребителя прямо пропорциональна степени выполнения этих требований. Удовлетворенность потребителя высокая, если контрактные требования выполнены полностью или потребитель разочарован, если требования не выполняются. Эти факторы связаны с явными/высказанными потребностями и желаниями потребителя, и компании способны повышать конкурентоспособность на основе этих факторов. Ожидания (волнующие факторы, воздействующие, неосознанные требования и ожидания) – не влекут недовольства и разочарования потребителей в случае их отсутствия, однако могут значительно повысить удовлетворенность потребителя при их наличии. Реализация ожиданий обычно неожиданна и вызывает восхищение потребителей. Выявление и реализация ожиданий является основой для получения преимущества перед конкурентами.

При использовании модели необходимо учитывать ряд особенностей рынка, например, то, что отдельные категории потребителей могут иметь различные потребности (сборочное предприятие, предприятие поставщик, дилер, конечный потребитель, ремонтные службы и т.д.). Дополнительно возможно наличие в продукте факторов, безразличных потребителю и даже «вредных».

1.3 Анализ трудностей планирования качества в авиационной промышленности

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000 «планирование качества (*quality planning*): Часть менеджмента качества, направленная на установление целей в области качества и определяющая необходимые операционные процессы и соответствующие ресурсы для достижения целей в области качества» [17]. То есть, в терминологии ГОСТ Р ИСО 9000 для реализации требований ГОСТ Р ИСО 9001 и требований других стандартов, базирующихся на ГОСТ Р ИСО 9001, планирование качества является первым и наиболее важным элементом менеджмента качества (Рисунок 1.9).

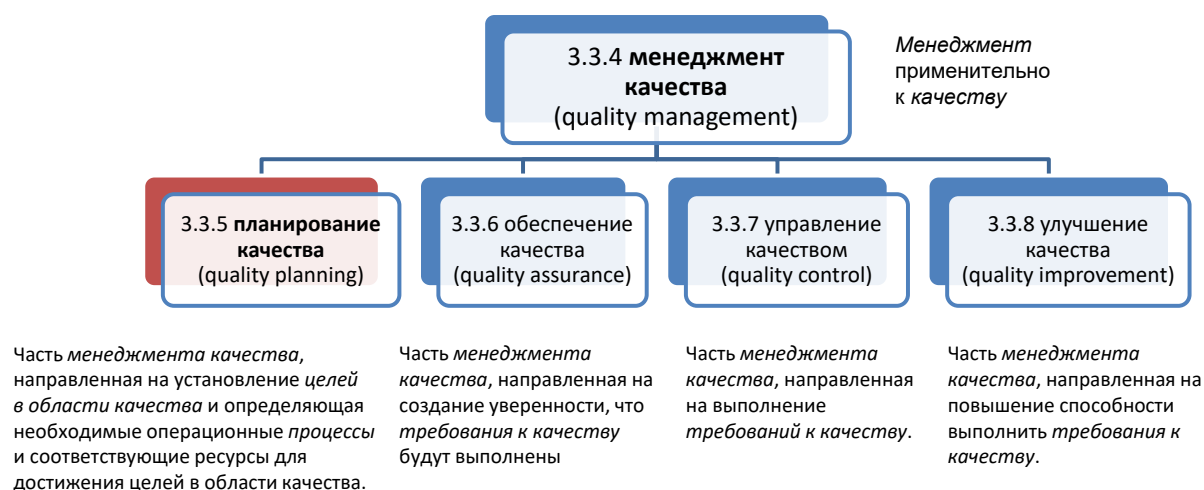


Рисунок 1.9 – Структура элементов менеджмента качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000

Таким образом, точность, своевременность, адекватность решений, принятых на этапе планирования качества в наибольшей степени, повлияют на результативность и эффективность последующих этапов менеджмента качества. К

сожалению, стоит отметить, что в российских реалиях часто не понимается и не употребляется указанная терминология. Более того, все эти 5 терминов часто воспринимаются как одно и то же.

Создание самолета, от идеи до запуска в серийное производство, – трудоемкий и длительный процесс, который в среднем занимает 6-8 лет и может стоить миллиарды долларов [34].

Управление качеством в авиационной отрасли осуществляется на основе стандартов серии AS 9100/ГОСТ Р 58876 [35, 36]. Для планирования и реализации новых проектов/продуктов в авиационной отрасли действует стандарт перспективного планирования авиационной техники APQP AS 9145 [37, 38], разработанный международной аэрокосмической группой IAQG [39]. На основных этапах проектирования и разработки продукции и процессов предусматривается применение ряда инженерных методик: PPAP, MSA, FMEA и т.д. (Рисунок 1.10).

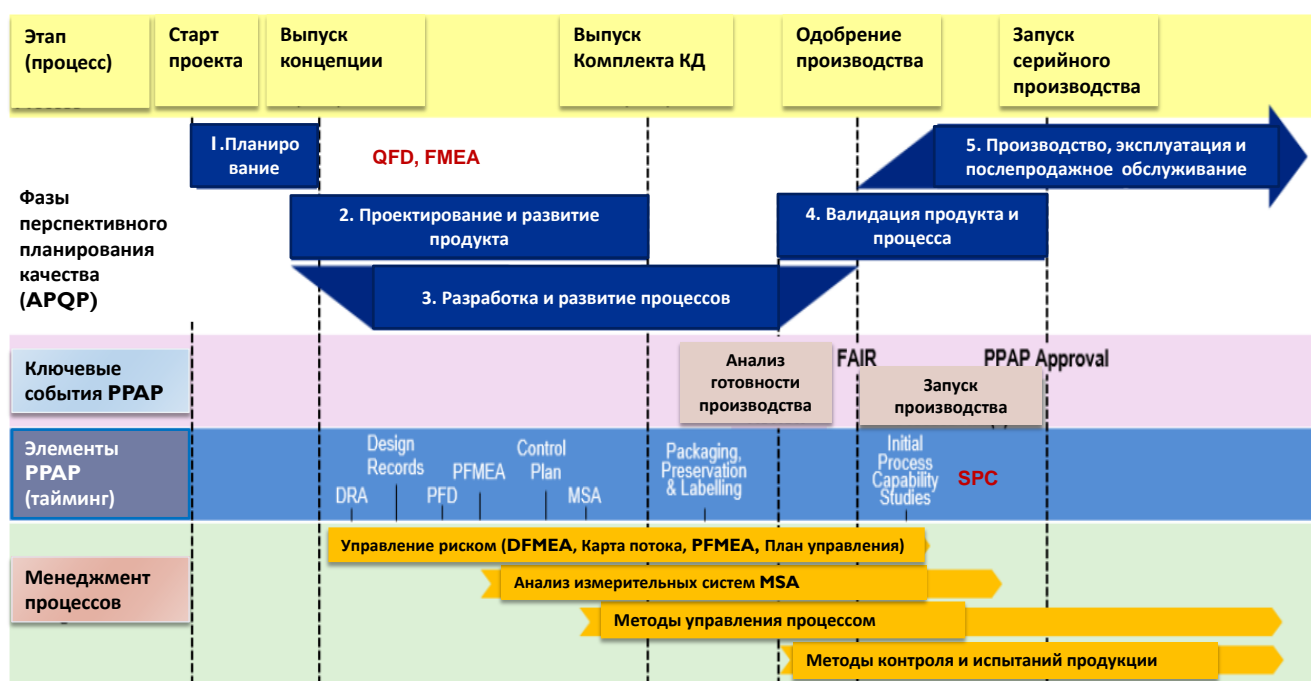


Рисунок 1.10 - Процессы и основные методы APQP [38]

В стратегии развития России значительное внимание уделяется авиационной отрасли. Государственная программа «Развитие авиационной промышленности» на 2013-2025 годы [1-2]. При реализации концепции значительное внимание уделяется вопросам повышения конкурентоспособности за счет поддержки

сертификации и экспорта для выхода на международный рынок, а также субсидирования расходов на разработку технических проектов, регистрации результатов интеллектуальной деятельности и других.

ГОСТ Р 58849-2020 Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания. Основные положения определяет порядок создания образца АТ и устанавливает требования к порядку проведения работ на следующих стадиях жизненного цикла: исследования в обеспечение создания образца АТ; проектирование; подготовка и освоение производства; испытания и сертификация. Рассматриваются особенности работ, выполняемых на стадиях жизненного цикла: серийное производство; эксплуатация; модификация образца АТ; утилизация [40].

Управление программой создания по данному стандарту похоже на процедуру перспективного планирования качества продукции APQP, принятые в международных стандартах автомобильной и авиационной промышленности (Приложение А). Данный стандарт частично содержит современные подходы к обеспечению качества, такие как статистическое управление стабильностью ключевых характеристик, анализ рисков, контроль первого годного изделия. Стандарт упоминает системное проектирование, проектный менеджмент, но в большей степени опирается на программно-целевой подход и различные виды надзоров. Отсутствуют ссылки на методологию развертывания функции качества.

В целях удовлетворения потребностей в перевозках пассажиров и грузов должно быть обеспечено соответствие авиационной техники современным требованиям безопасности, экономичности и комфорта перевозок, высокому уровню технических и эксплуатационных характеристик.

Среди факторов, определяющих конкурентоспособность промышленной продукции для потребителя, выделяют основные: качество продукции, качество сервиса, затраты на эксплуатацию, цена продукции [8, 73].

По данным Минпромторга [2] основными факторами, влияющими на конкурентоспособность авиационных корпораций, являются (Рисунок 1.11): продукт и эксплуатационно-технические характеристики продукта (26%); цена, конкурентоспособная по сравнению с аналогами (23%); бренд, репутация

надежного поставщика / Устойчивое финансовое положение, прозрачная система управления/ Сертифицированная производственная система (23%).

Характеристики разрабатываемой авиационной техники во многом определяют особенности современного самолётостроительного производства, процедуру подготовки производства и производство перспективных авиационных комплексов (ПАК) и других сложных изделий авиационной техники [41-44].

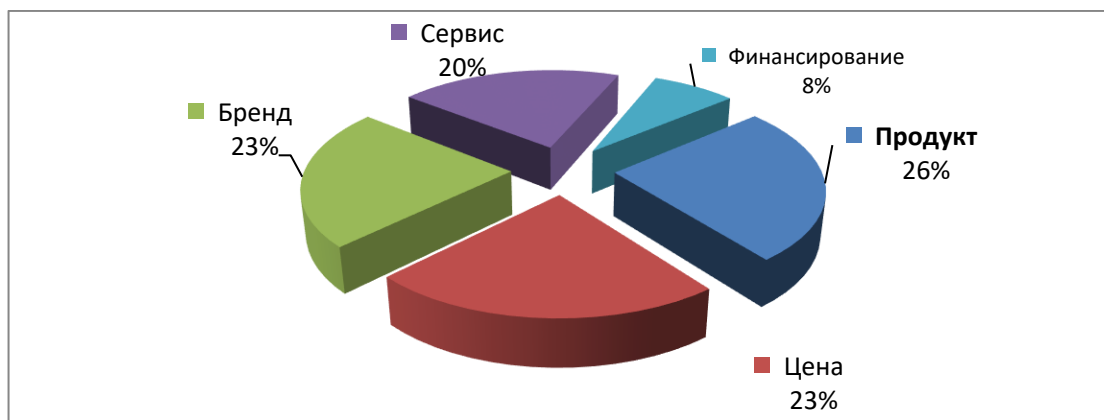


Рисунок 1.11 - Наиболее важные факторы конкурентоспособности корпораций авиационной промышленности на мировом рынке [2]

Так как авиационная промышленность России во многом опирается на стандарты, разработанные в середине 20 века, государственная программа развития авиационной промышленности предусматривает поддержку НИОКР (Рисунок 1.12) параллельно с развитием системы стандартизации.

В свою очередь факторы конкурентоспособности поставщиков в авиационной промышленности могут различаться в связи с отличиями самой продукции (изделия из композитных материалов, электронная аппаратура, кабельная продукция и т.д.).

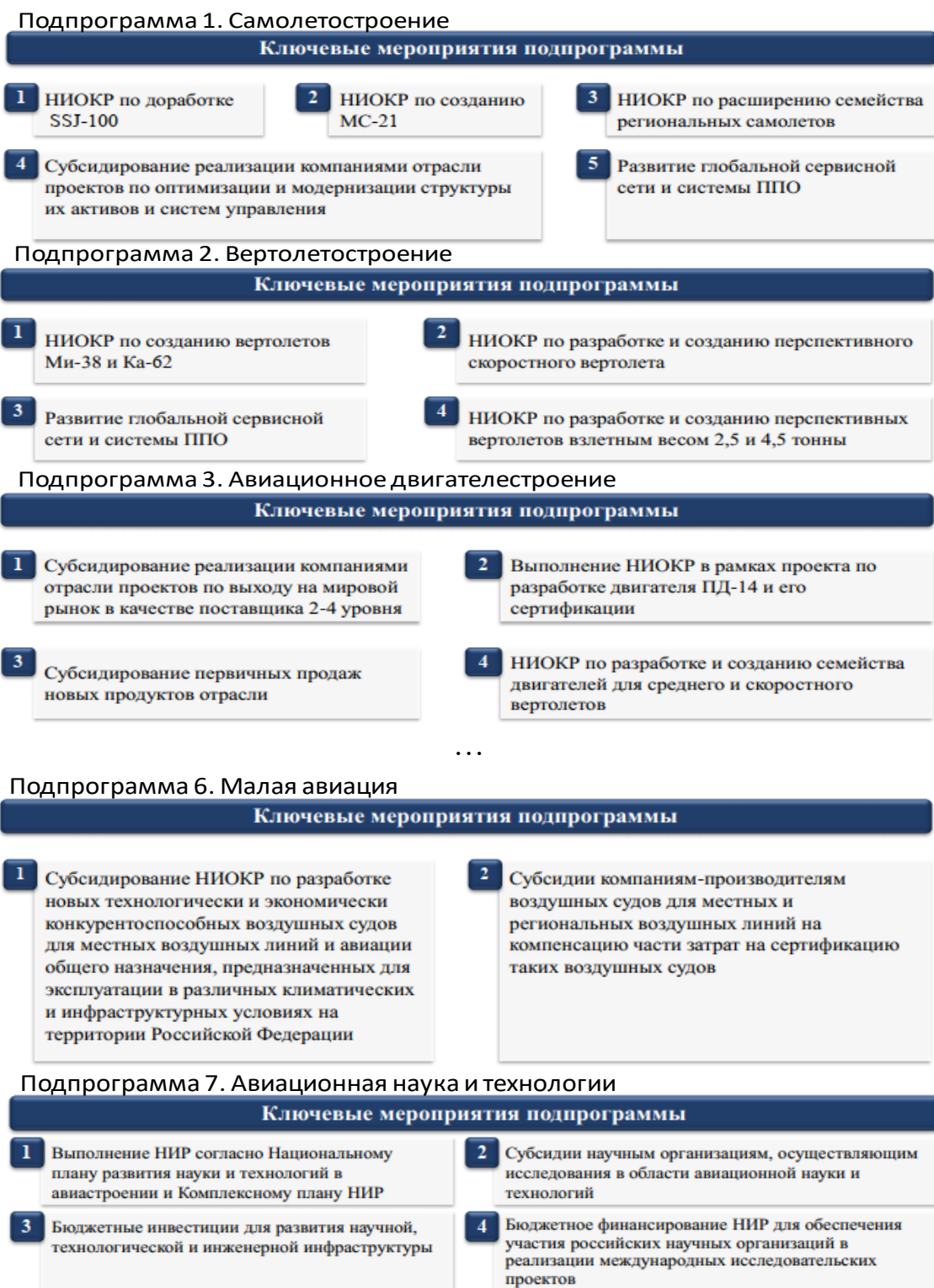


Рисунок 1.12 – Ключевые мероприятия Госпрограммы развития авиационной промышленности Российской Федерации [1, 2]

Так, например, для производства кабельной продукции авиационного и двойного назначения, проявление конкурентоспособности оценивается по показателям: качество продукции (40%); цена продукции (40%); сроки поставки (20%) [47, 48]. Для производителя кабельной продукции проявление

конкурентоспособности в большей степени выражается через факторы: качество продукции, цена (рентабельность, себестоимость продукции) [73]. Качество, как степень соответствия характеристик продукции требованиям и ожиданиям потребителя, имеет первостепенное значение для повышения конкурентоспособности.

Особенности современного самолётостроения определяют характеристики АТ, то есть процедура подготовки производства ПАК определяется ее характеристиками. Характеристики самолёта как объекта производства общеизвестны, и отражены в трудах отечественных учёных: В. В. Бойцова, В. П. Григорьева, И. А. Зернова, А. Л. Абибова и др. [148].

Характеристики самолёта сформулированы и публикуются в научной и учебной литературе с середины XX века и революционных изменений конструкции самолёта до настоящего времени не произошло и не предвидится - в состав конструкции ПАК традиционно входят планер и бортовые системы. Технология авиастроительного производства определяется характеристиками агрегатов, узлов и деталей планера и бортовых систем которые создаются на заготовительно-штамповочном производстве, на механическом производстве деталей каркаса планера, на механическом производстве узлов и агрегатов бортовых систем, на агрегатно-сборочном производстве, на сборочно-сварочном производстве узлов коммуникаций гидрогазовых систем, на производстве агрегатов и панелей электро-радио систем, на производстве узлов коммуникаций электро-радио систем, в цехах общей сборки, в аэродромном цехе самолётостроительного производства [78]. В отличие от других изделий машиностроения, перспективных авиационных комплексов (ПАК) и узлы авиационной техники обладают рядом специфических особенностей, которые отражаются на технологиях проектирования и производства авиационного предприятия [78].

Количество деталей узлов в конструкции среднестатистического ПАК достигает ста тысяч единиц. Эта особенность вызывает необходимость разработки разнообразных технологических процессов, специальной заготовительной,

механической, сборочной, сварочной, монтажной, испытательной оснастки и оборудования.

Используется большая номенклатура используемых материалов и полуфабрикатов. До 60 % деталей авиационных комплексов изготавливается из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов различных марок, до 15% - из легированных и коррозионностойких сталей. Остальная часть деталей и узлов изготавливается из полимерных композиционных материалов. При проектировании заготовительного оснащения требуется учитывать специфику полуфабрикатов и материалов [78].

Большинство деталей авиационных комплексов имеют значительные габаритные размеры и обладают малой жесткостью, что создает трудности получения точных размеров в процессе изготовления деталей и сборки из них узлов и агрегатов. Возможности по обеспечению точности деталей в заготовительно-штамповочном производстве ниже, чем требуемая точность собранных узлов и агрегатов планера и бортовых систем. Для решения этой проблемы применяются многочисленные сборочные, монтажные и другие приспособления и специальные методы обеспечения взаимозаменяемости узлов, панелей и агрегатов, основанные на плазово-шаблонном методе, на макетно-инструментальном методе и методе безплазовой увязки, которые позволяют согласовать геометрические параметры изделия и параметры оснащения, применяемого для изготовления различных деталей, а также геометрические параметры оснащения для выполнения сборочных, сварочных, монтажных, регулировочных процессов [78].

Качество авиационных комплексов, как объекта производства, - комплекс геометрических и технических характеристик и показателей. Допуски на геометрические характеристики узлов и агрегатов планера и бортовых систем в ряде случаев составляют десятые доли миллиметра, а на стыковые поверхности соответствуют 9...8, а в отдельных случаях 7-му качеству. Необходимо обеспечить технологичность конструкции планера и бортовых систем, и возможность изготовления деталей, узлов и агрегатов изделия на производстве с заданной технической и экономически обоснованной степенью точности. Данная

проблема решается за счёт разработки и внедрения методик конструктивно-технологической отработки технологий изготовления деталей, сборки, монтажа и испытаний [78].

Трудоемкость сборочных, монтажных и испытательных процессов составляет до 60 % от общей трудоемкости при производстве авиационных комплексов. Необходимо использовать специальное оборудование: скобы, прессы и автоматы для групповой клепки, машины для электроконтактной сварки, машины для сборки жгутов, стенды для общей сборки, стенды для отработки и испытаний систем [78]. Для работы специализированного оборудования необходимо специальное оснащение (система ложементов в совокупности с поддерживающе–выравнивающими устройствами, роботизированное оснащение и др.).

Постоянное повышение требований к лётно-техническим характеристикам авиационных комплексов приводит к постоянной модификации на базе последних достижений науки и техники. При этом постоянно вносятся изменения в конструкцию деталей, узлов и агрегатов даже серийных образцов. Эти изменения отражаются в используемом на всех производствах предприятия технологии и оснащении [78]. Широко привлекаются поставщики комплектующих изделий, что вызывает дополнительные сложности при согласовании поставляемых изделий и оснащения для их производства с изделием авиационной техники.

Постановка на производство авиационных комплексов является сложной и трудоемкой задачей, что обусловлено вышеперечисленными особенностями. Технологическую подготовку серийного производства ведут последовательно-параллельным методом, то есть параллельно и с некоторым сдвигом во времени ведется техническая отработка технологий изготовления деталей, узлов, и агрегатов планера и бортовых систем на чертежах, плазах, макетах, стендах, на макетном самолёте, на трехмерных моделях, проектирование технологических процессов, проектирование и изготовление заготовительной, механической, сборочной, сварочной, монтажной, испытательной оснастки и оборудования. Это позволяет сократить сроки подготовки серийного производства самолета.

Сокращение трудоемкости, издержек и сроков подготовки производства авиационных комплексов способствует применению безплазовой увязки изделия с деталями, сборочными единицами и необходимым технологическим оснащением на базе CAD – систем. В качестве примера на рисунке 1.13 представлена блок-схема передачи информации при безплазовой увязке для клепаной сборочной единицы авиационного комплекса.

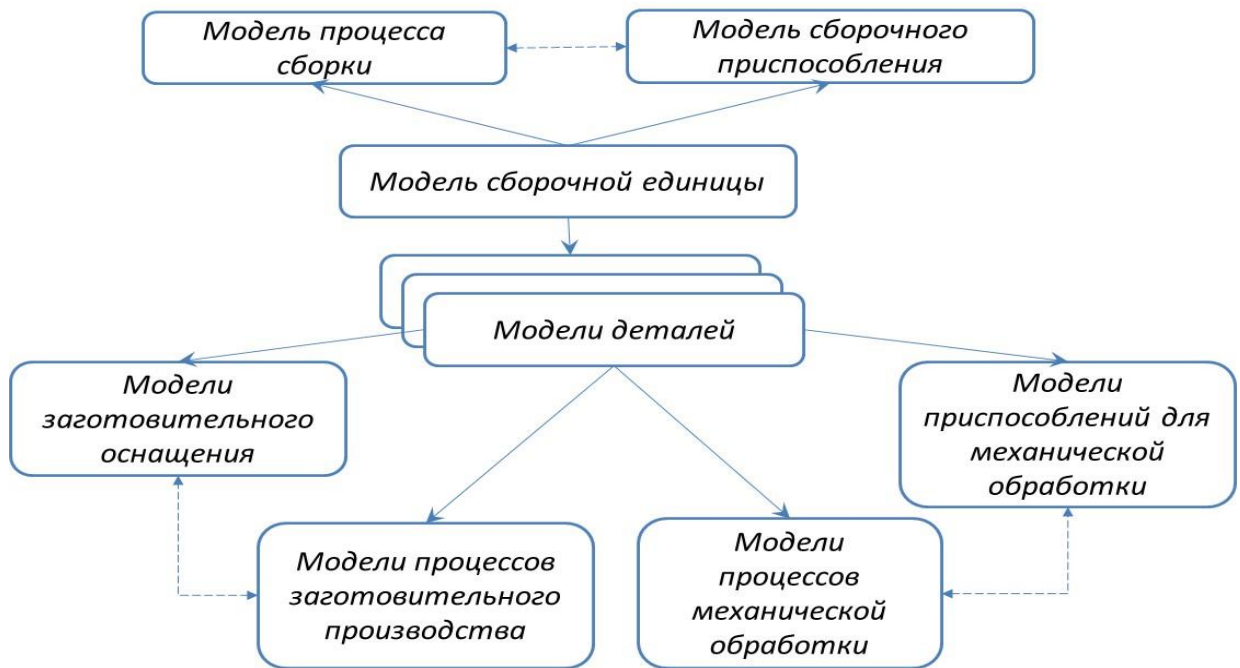


Рисунок 1.13 – Схема передачи информации при безплазовой увязке для сборочной единицы

Технологическая подготовка агрегатно-сборочного производства - последовательно-итерационный процесс, основные этапы которого:

- разработка технологического членения конструкции самолёта с определением для каждой сборочной единицы требований по точности, необходимых для обеспечения последующих этапов сборки;
- разработка и анализ (по критериям себестоимости, длительности цикла сборки и пр.) вариантов схем сборки;
- выбор методов базирования для каждого элемента каждой сборочной единицы с обоснованием основного метода базирования, определяющего точность аэродинамических обводов;

- разработка рабочих технологических процессов сборки и формирование ТЗ на проектирование сборочной оснастки;

- проектирование сборочной оснастки с разработкой схем обеспечения её точности и взаимозаменяемости и выполнением расчёта точности сборочной единицы с возможной сменой баз и корректировкой разработанного технологического процесса;

- разработка для каждой сборочной единицы технологического процесса монтажа сборочной оснастки и проектирование вторичной оснастки для её монтажа;

- изготовление элементов сборочной и вторичной оснастки и монтаж ступеней [78, 80].

Исходя из вышесказанного, процесс подготовки агрегатно-сборочного и других производств авиастроения требует больших сроков. Решение задачи повышения конкурентоспособности авиационной техники в условиях рынка требует сокращения сроков подготовки серийного производства и дальнейшего снижения затрат на подготовку производства. Применение традиционных методик и технологий подготовки производства не позволяют это реализовать.

При проектировании авиационной техники формируются сотни тысяч чертежей и документов. Использование современных цифровых технологий позволяет сократить процесс с 7-8 до 3-4 лет и повысить технологичность выпуска [45].

В связи с указанными особенностями авиационной техники, необходимостью опережающей разработки с целью достижения необходимой конкурентоспособности и надежности АТ, необходимо на ранних этапах проектирования обеспечивать качество и устойчивость характеристик сложных изделий авиационной техники к последующей потенциальной изменчивости в производственных процессах и эксплуатации. При этом количество характеристик, которые можно и нужно учитывать при внедрении современных цифровых технологий проектирования, будет достигать сотен тысяч [46].

Как уже было показано ранее, качество и себестоимость продукции определяются на этапе проектирования продукции и производственного процесса. Это становится особенно актуальным с увеличением сложности изделий и увеличением темпов их морального устаревания. На этапе проектирования формируется проектное качество как совокупность потенциальных свойств объекта, обуславливающих его потенциальную пригодность к изготовлению, эксплуатации и применению по назначению. При переходе от одного этапа жизненного цикла продукции к другому этапу, требования потребителя последовательно реализуются в конечной модели изделия в виде совокупности характеристик объекта и процессов изготовления. В этих переходах заключается процесс развертывания качества.

Задачи повышения конкурентоспособности в авиационной промышленности. Основными участниками реализации госпрограммы развития авиационной промышленности являются корпорации «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАК), «Объединенная двигателестроительная корпорация» ОДК, «Вертолеты России», на настоящий момент входящие в госкорпорацию «Ростех».

ОАК была создана в 2006 году в целях сохранения и развития научно-производственного потенциала авиастроительного комплекса Российской Федерации для реализации перспективных программ создания авиационной техники [49]. В состав ОАК входят ведущие российские конструкторские бюро и самолетостроительные заводы, среди которых Компания «Сухой»; Корпорация «Иркут»; Авиационный комплекс им. С. В. Ильюшина; «Туполев»; «Ильюшин Финанс Ко.»; «Авиастар-СП»; «ВАСО»; РСК «МиГ»; ЭМЗ им. В. М. Мясищева; ЛИИ им. М. М. Громова; «АэроКомпозит»; ТАНТК им. Бериева [49]. Предприятия ОАК выполняют полный цикл работ – от проектирования до послепродажного обслуживания и утилизации авиационной техники.

В ряду приоритетных задач ОАК – вхождение в число лидеров мирового рынка в гражданском и военном самолетостроении, качественное и ритмичное выполнение контрактов в рамках ГОЗ, развитие эффективного полномасштабного

сотрудничества с зарубежными авиастроительными компаниями, а также формирование опережающего научно-технического задела для продвижения отечественной продукции [49]. В ОАК широко внедряются цифровые технологии: цифровое проектирование, создание цифровых двойников изделий, электронное моделирование процессов функционирования систем и агрегатов, «распределенное» конструкторское бюро, виртуальные испытания, - все они значительно сокращают сроки создания новых образцов авиационной техники [49]. Наряду с внедрением международных подходов к менеджменту качества на основе стандартов серии AS/EN 9100 наблюдается формирование подотрасли беспилотной техники в рамках авиационной промышленности с учетом специфики компоновочных решений, используемых материалов и компонентов, технологий, информационных связей, процессов испытаний и стандартов.

В перечень перспективных технологий ОАК входят новые подходы и методы проектирования и моделирования:

- Системный инжиниринг. Внедрение системного инжиниринга, как основы процесса проектирования с целью разработки авиационной техники в заданный срок и в рамках выделенных ресурсов, отвечающей требованиям заказчика, сертификационных и регламентирующих органов.

- Технологии комплексной много дисциплинарной оптимизации, позволяющей одновременно выбирать как аэродинамическую компоновку, так и конструктивно-силовую схему с учетом адаптирующихся свойств конструкции и оптимальных органов управления самолетом [50].

Союзом авиапроизводителей России при непосредственном участии Объединенной авиастроительной корпорации запланированы и во много реализованы мероприятия программы стандартизации авиационной промышленности на 2016-2020 годы (Таблица 1.2).

Стоит отметить, что международные стандарты, в том числе разработанные международной группой по качеству в авиакосмической отрасли становятся основой национальных стандартов ГОСТ Р, что дает потенциал для повышения конкурентоспособности российских предприятий, работающих по ГОСТ Р.

Таблица 1.2 – Масштабы программы стандартизации авиационной промышленности на 2016-2020 годы [51]

Категория разрабатываемых документов	Количество разрабатываемых документов по стандартизации (всего)	В том числе		
		Разрабатываемых впервые	Разрабатываемых на основе ОСТ и/или национальных стандартов	Разрабатываемых на основе международных (зарубежных) стандартов
ГОСТ Р	464	22	298	144
СТО Союза авиапроизводителей России (СТО САП)	414	2	343	69

К национальным стандартам, направленным на планирование и обеспечение качества в авиакосмической отрасли, можно отнести:

стандарты серии «Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности»: ГОСТ Р 58876-2020 Требования; ГОСТ Р 56078-2014 Руководство по менеджменту риска в цепи поставок; ГОСТ Р 56173-2014 Требования к контролю первого изделия продукции авиационно-космического назначения; ГОСТ Р 56176-2014 Управление стабильностью ключевых характеристик; ГОСТ Р 58046-2017 Перспективное планирование качества продукции. Руководство по анализу процессов измерений; ГОСТ Р 56570-2021 Требования к проведению аудита; ГОСТ Р 58338-2018 Требования к дистрибьюторам продукции;

предварительные национальные стандарты серии «Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Перспективное планирование качества продукции»: ПНСТ 415-2020 Процесс одобрения этапов производства; ПНСТ 426-2020 Определение данных и документация о несоответствиях; ПНСТ 427-2020 Анализ корневых причин и решение проблемы;

ГОСТ Р 52745-2021 Комплексная система контроля качества. Оценка соответствия материалов, полуфабрикатов и иной продукции, используемых при изготовлении изделий авиационной и иной техники гражданского, оборонного и двойного применения, на предприятиях-поставщиках. Общие требования;

ГОСТ Р 56518-2015 Техника космическая. Требования к системам менеджмента качества организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации;

ГОСТ Р 58929-2020 Система обеспечения единства измерений на предприятиях авиационной промышленности. Метрологическое обеспечение изделий авиационной техники;

Проекты национальных стандартов: Проект ГОСТ Р Система менеджмента качества. Требования к организациям технического обслуживания авиационной техники; Проект ГОСТ Р Системы менеджмента качества организаций авиационной и космической отраслей промышленности. Порядок уведомления поставщиков об изменениях.

Задачи повышения конкурентоспособности авиакосмических комплектующих на примере производства кабелей и проводов. Производители кабельно-проводниковой продукции являются поставщиками для отраслей, предъявляющих различные требования, поставляя силовые кабели (подземные, воздушные), автомобильные, бортовые авиационные, телефонные, цифровые, кабели для железнодорожной отрасли. Основными отраслевыми структурами предприятий ОПК являются радиоэлектронный комплекс, авиационный и судостроительный. Во всех структурах велика потребность в качественной кабельно-проводниковой продукции. На настоящий момент наблюдается два основных направления развития кабельного производства: активная замена кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ) на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ); замещение импорта отечественным сырьем.

В авиационной отрасли наиболее актуальным направлением, как показывает отечественный и мировой опыт, являются работы по снижению массы авиационной техники. Наличие большого количества бортовых и монтажных проводов в составе данных изделий, делают эту группу кабельных изделий основным резервом для уменьшения массы бортовой кабельной сети авиационной техники [47-48].

Так как кабельные предприятия имеют опыт развития системы менеджмента для российских и международных предприятий автомобильной и железнодорожной отраслей, предъявляющих высокие требования к системе менеджмента, им будет проще соответствовать развивающимся требованиям авиационной промышленности, чем другим поставщикам авиационной отрасли, работающим в условиях низкой конкуренции только в рамках оборонно-промышленного комплекса России (ОПК).

ЗАО «СКК» – одно из самых динамично развивающихся инновационных производств. Основой конкурентоспособности являются высокие требования потребителей, в том числе требования в области качества и экологии [73]. В то же время наблюдается тенденция к повышению потребности и требований к качеству кабельно-проводниковой продукции не только в автомобилестроении, но и в авиационной отрасли, поэтому перед ЗАО «СКК» поставлена задача освоения производства не только автопроводов, соответствующих требованиям стандартов ведущих автомобильных фирм, но и кабельной продукции авиационного и двойного назначения [73].

1.4 Анализ реализации методологии развертывания функции качества

Особенности методологии робастного проектирования. Как было показано ранее, этап планирования качества и проектирования изделия являются наиболее важными для дальнейшего обеспечения и управления качеством. Качество конструкции в структуре всех факторов, влияющих на качество конечного продукта, составляет 28—32 %, выбор материалов — 8—12 %, совершенство технологического процесса — 56—64 % [10, 52]. При этом важнейшим показателем, характеризующим качество промышленной продукции, является ее надежность. Отдельные факторы влияют на надежность продукции следующим образом: ошибки проектирования и конструирования дают приблизительно 40% отказов при эксплуатации; ошибки, допущенные непосредственно в производственном процессе, — 30% и ошибки эксплуатации — 30 % [10, 52].

Одним из инструментов обеспечения качества на этапе проектирования является подход или методы Г. Тагути, которые с конца 1980-х годов находят

широкое применение как на востоке, так и на западе [10, 53, 54]. Концепция Тагути включает принцип робастного проектирования и функцию потерь качества. Цикл жизни продукта в данной концепции разделяется на две неравные части: разработка и внедрение; производство и эксплуатация. Если начинать заниматься качеством на первом этапе (чем раньше, тем лучше), появляется возможность не ужесточать контроль и не использовать очень точное, дорогое оборудование, а выстроить процессы проектирования и производства продукции так, чтобы ее характеристики были в наименьшей степени подвержены разбросу из-за нестабильности факторов производственного процесса, условий окружающей среды, сырья и других помех, неизбежных при производстве и эксплуатации продукции. Таким образом, сущность робастного проектирования состоит в создании систем, устойчивых к воздействиям с минимизацией изменчивости по объективному критерию робастности под названием «отношение сигнал/шум» [53]. В концепции используется аналитический аппарат статистически планируемых экспериментов, основы которых заложил Шухарт еще в 20-е годы XX столетия [53]. Усовершенствование проектирования и разработки процесса может уменьшить несовершенства производства без увеличения затрат.

Генети Тагути было сформулировано три стадии по установлению номинальных значений параметров изделия и процесса и допусков на них (Таблица 1.3): системное проектирование, параметрическое проектирование и проектирование допусков [10, 53, 54, 180].

Таблица 1.3 - Этапы проектирования и методы обеспечения качества

Этап	Результат	Основные методы
I. Системное проектирование	Выбор наилучшего варианта концепции, определение модели изделия с учетом требований потребителя и условий производства	QFD
II. Параметрическое проектирование	Оптимизация выбранного варианта с учетом погрешности исходных данных (например, по отношению к значению сигнал/шум)	QFD, Robust Design (методы Тагути)
III. Проектирование допусков	Определение допусков для выбранных параметров	Robust Design (методы Тагути)

С точки зрения планирования качества этапы проектирования изделия или производственного процесса включают: системное проектирование для изготовления базового работоспособного опытного образца; параметрическое проектирование для определения таких значений характеристик изделия или параметров процесса, которые уменьшают чувствительность к источникам разбросов; проектирование допусков - выбор экономически обоснованных допусков на управляемые параметры изделия или процесса; для определения значений характеристик изделия (или параметров процесса), которые уменьшают изменчивость выхода, используются статистически планируемые эксперименты [53, 180].

Системное проектирование включает учет требований потребителя и производственных условий [10, 53, 54]. Изделие не может соответствовать требованиям потребителя, если они не учтены на ранних этапах проектирования. Аналогично при разработке процесса изготовления требуется понимание условий производства. Параметрическое проектирование — процесс определения таких значений параметров изделия (или процесса), которые уменьшают чувствительность конструкции к источникам изменения параметров [10, 53, 54]. Проектирование допусков — процесс определения допусков вблизи номинальных значений, которые определены с помощью параметрического проектирования [10, 53, 54]. В промышленной практике допуски назначаются чаще на основе опыта, а не научным путем. Слишком узкие допуски ведут к увеличению производственных затрат, а слишком широкие допуски увеличивают изменчивость выходных данных и могут привести к необходимости последующей селективной сборки изделий. Поэтому проектирование допусков должно основываться на компромиссе между потерями потребителя, которые связаны с вариацией выхода, и увеличенном производственных затрат.

Планируемые эксперименты давно применяются для улучшения процессов и продукции, но в основном в них оптимизируют среднее значение отклика [54-64]. Цель экспериментов по Тагути — уменьшение разброса характеристик изделия, вызванного изменчивостью производственных условий [54-64]. В

производственных процессах управляемая изменчивость значительно важнее, чем управляемость среднего значения, а неуправляемая изменчивость часто является основной причиной высоких производственных затрат.

Выбор наиболее важных характеристик и их целевых значений для дальнейших экспериментов – первостепенная задача планирования качества. Наиболее подходящей методологией принятия решений для разработки и выбора направлений модернизации продукции и услуг на основе модели Кано является методология развертывания функции качества. Развертывание функции качества (Quality Function Deployment, QFD) – это методология систематического и структурированного преобразования пожеланий потребителей в требования к качеству продукции, услуги и процесса. QFD уже давно и с успехом используется различными компаниями в Японии и США, широко внедряется в Европе [4, 5, 8, 10, 24, 32, 33, 47, 48, 54, 60, 70-132].

В России методология QFD получила распространение после появления работ ряда авторов, включая Ю.П. Адлера, Ю.В Брагина [32, 70], которые подчеркивали значительную роль QFD в обеспечении качества продукции и достижения бизнес-целей организации (Рисунок 1.14).

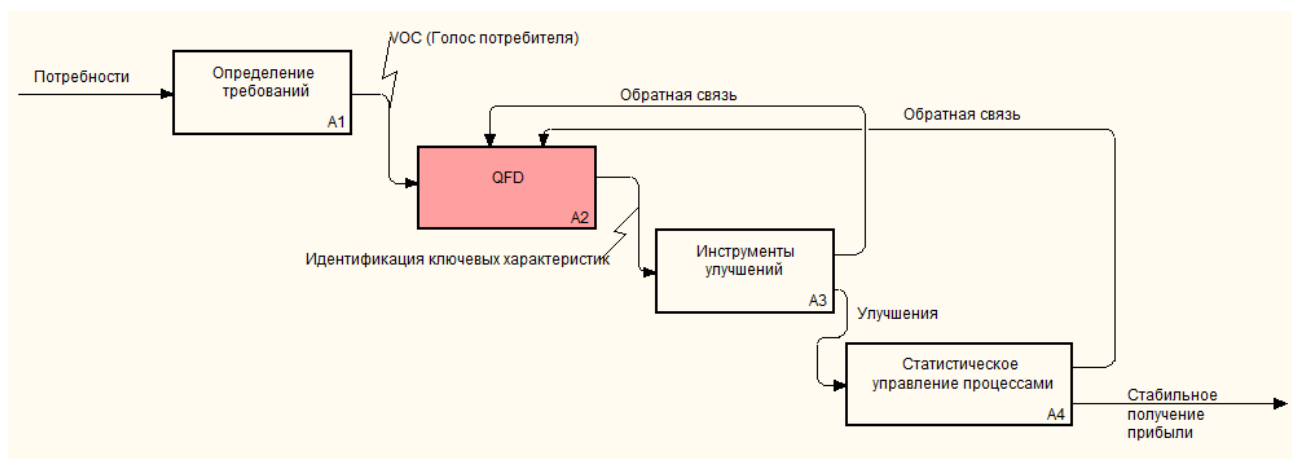
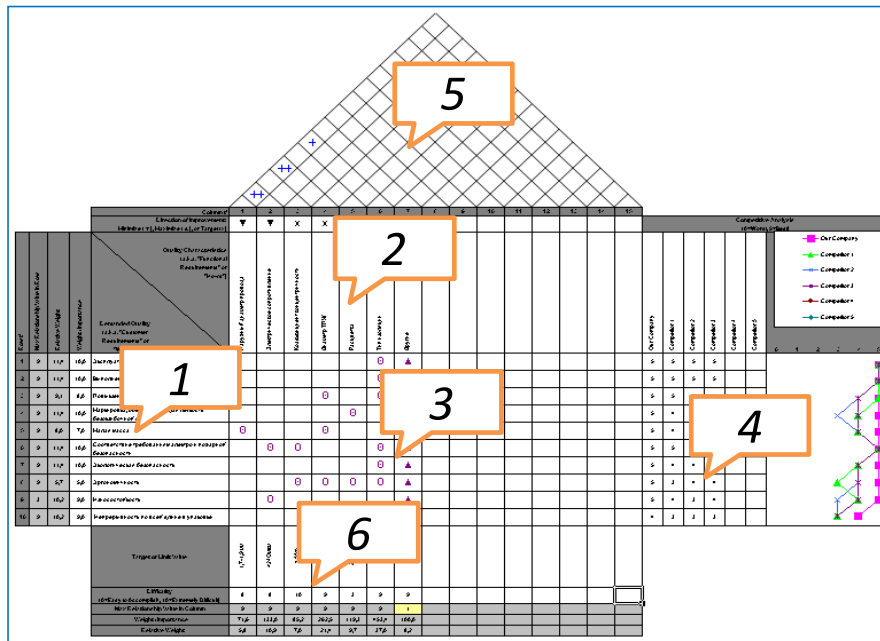


Рисунок 1.14 – QFD в решении задач повышения качества продукции [32]

Развертывание функции качества QFD осуществляется с использованием матричной диаграммы (Рисунок 1.15), названной в соответствии со своей формой «Дом качества» (House of Quality, HoQ) [33, 178].



- 1 – требования потребителя (включая важность требований для потребителя);
 2 – технические характеристики;
 3 – взаимосвязь выполнения требований от технических характеристик;
 4 – бенчмаркинг, оценка выполнения требований (с точки зрения потребителя) для существующей на рынке подобной продукции;
 5 – корреляция между техническими характеристиками;
 6 – технический бенчмаркинг, приоритеты характеристик, целевые значения

Рисунок 1.15 - Структура Дома качества (1 уровень)

Цель QFD – обеспечение такого качества создаваемой продукции на каждом этапе жизненного цикла, которое бы гарантировало получение конечного результата, соответствующего требованиям и ожиданиям потребителя [33, 178]. При проведении QFD используется большое количество экспертиз и привлекаются различные эксперты. Такая серьезная экспертная работа требует методического подхода с использованием знаний квалиметрии. В практике научных исследований получили распространение шкалы нескольких типов: абсолютная шкала, шкала отношений, шкала интервалов, шкала порядка и шкала наименований [133-141]. В QFD, как правило, для расчетов используются шкала отношений (результаты в «подвале» 6, правая комната 4 Рисунок 1.15) и шкала порядка (важность в комнате 1, веса и ранги – комната 3, «крыша» 5). Шкала отношений является количественной, сильной шкалой, показания этой шкалы можно подвергать определенным математическим преобразованиям [33, 178].

Важно участие межфункциональных команд в обсуждении решаемых задач [4, 5, 32, 70]. Классически QFD включает 4 уровня (Рисунок 1.16) и охватывает все этапы создания продукта от изучения потребностей и концептуального проектирования (1 уровень) до организации производства и контроля (4 уровень) [4, 32, 71]. Для каждого уровня планирования качества строится свой «Дом

качества» и определяются наиболее важные характеристики продукта, компонентов, технологических процессов и вспомогательных процессов, включая процессы контроля.

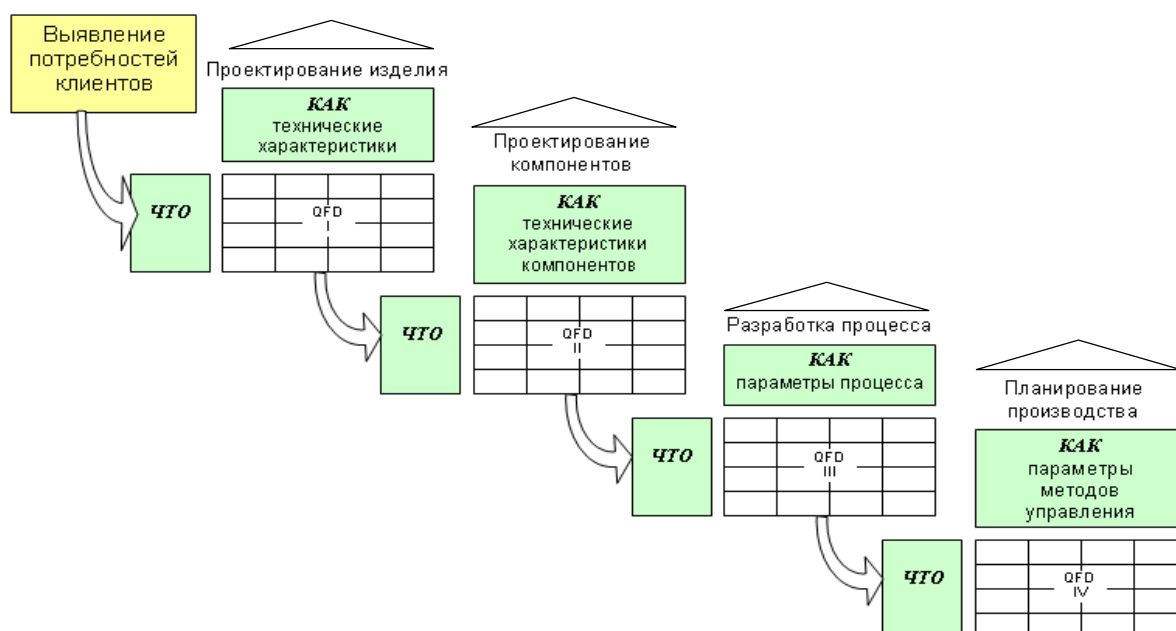


Рисунок 1.16 – Развертывание функции качеств на 4 уровнях [33, 78]

Применение QFD распространено в различных отраслях производства и оказания услуг, таких как автомобилестроение, машино- и приборостроение; производство бумаги; строительство; электротехническая индустрия; туризм; страхование; здравоохранение. Применение метода QFD позволяет отразить ожидания и требования потребителя в конкретных производственных инструкциях и методах контроля, что наиболее важно для проектирования услуг. Применение метода дает и другие существенные преимущества [4, 71, 72, 128]: сокращение времени разработки на 50%; сокращение количества изменений на 50%; снижение затрат на разработку и подготовку и запуск производства 30%; снижение гарантийных затрат до 50%; увеличение удовлетворенности клиентов; систематическое сохранение знаний по разработке продукта, так, что они могут быть легко применены к аналогичным будущим проектам.

Ключевой мотивацией внедрения QFD в США были успехи японских компаний, в первую очередь компании Тойота, которая демонстрировала

сокращение изменений, вносимых в разработку и снижения затрат на стадии подготовки и запуска производства (Рисунок 1.17) [90, 125].

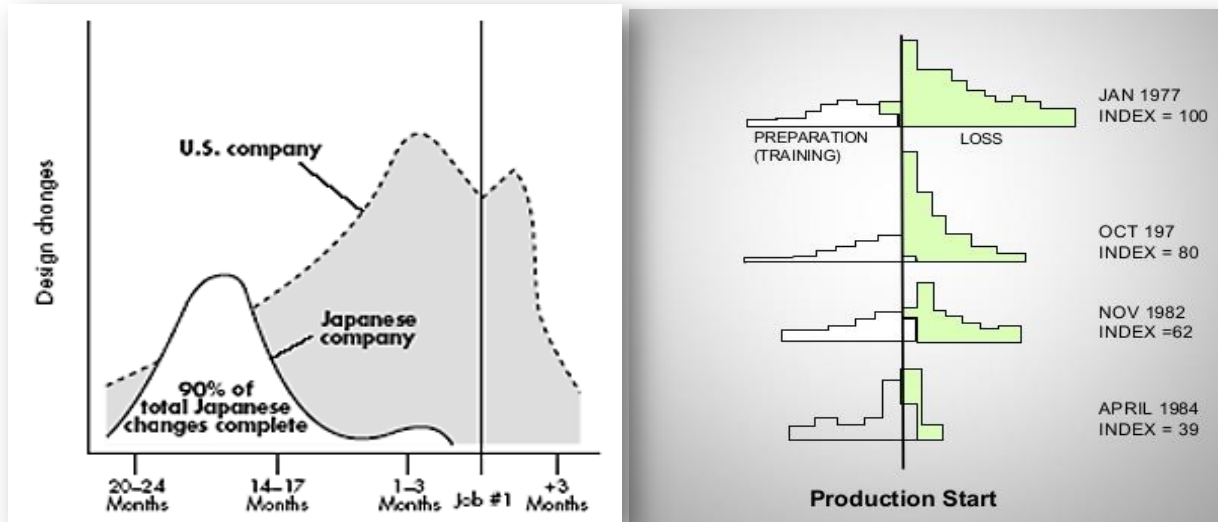


Рисунок 1.17 - Иллюстрация результатов внедрения QFD [90, 125]

В первые два года внедрения QFD (1977-1979 годы) затраты на подготовку и запуск производства были снижены на 20%, к 1984 году, затраты составляли 39% от затрат до внедрения QFD.

В конце прошлого века, ведущие специалисты России по качеству в своем обзоре современных методов отмечали: «Этот метод был разработан в Японии и до недавнего времени был засекречен от американцев и европейцев больше, чем любое конкретное know-how» [79, 143, 144]. В настоящее время, несмотря на малое количество методических публикаций на русском языке, можно воспользоваться англоязычной информацией, в том числе из первоисточника, благодаря информационной открытости института QFD, созданного разработчиком QFD Yoji Акао [4, 129]. Информация о концепции, истории, развитии метода для данной работы взята в основном из материалов института QFD. Katsuyoshi Ishihara ввел принципы создания ценности (Value Engineering), используемые для описания того, как изделие и его компоненты работают [129]. Он расширил его для описания бизнес-функций, необходимых для обеспечения качества самого процесса проектирования. Объединившись с этими новыми идеями, QFD в конечном итоге

стал всеобъемлющей системой проектирования качества и для продукта, и для бизнес-процесса [129].

В США этой методологией из-за гибкости и комплексности были охвачены предприятия, стоящие перед японской конкуренцией и США обогнали Японию в том, что первыми в мире провели симпозиум по QFD в 1989 году [129, 131]. Новые и инновационные применения QFD продолжают появляться, о чем свидетельствуют материалы симпозиума [131]. Япония продолжает расширять горизонты применения QFD посредством исследовательского комитета QFD при Союзе японских ученых и инженеров (Juse) и их ежегодного симпозиума QFD, учрежденного в 1993 году. Японцы провели первый Международный симпозиум по QFD и стали основателями Международного совета по QFD.

В настоящее время QFD продолжает вызывать большой интерес по всему миру, порождая все новые, практиков и исследователей ежегодно. Страны, которые представлены на национальном и международном симпозиуме QFD на настоящий момент включают США, Японии, Швеции, Германии, Австралии, Бразилии, Турции и Китая. QFD применяется практически в каждой отрасли и виде бизнеса: машиностроение, аэрокосмическая отрасль, программное обеспечения, связь, информационные технологии, химическая и фармацевтическая промышленность, транспорт, оборонная промышленность, государственные учреждения, разработка и проектирование (R&D), пищевая промышленность, различные сферы услуг.

Организации, представленные на симпозиуме QFD: 3M, AT&T, Accenture, Boeing, Continental Rehabilitation Hospital, DaimlerChrysler, EDS, Ford, GM, Hayes Brake, Hewlett-Packard, Hughes Aircraft, IBM, Jet Propulsion Laboratory, Kawasaki Heavy Industry, Kodak, Lockheed-Martin, Pratt & Whitney, Motorola, NASA, Nokia, Raytheon, Texas Instrument, Toshiba, United Technologies, U.S. Dept. of Defense, United Technologies, Visteon, Xerox и многие другие компании, входящие в перечень Fortune 500 [72].

Большой интерес и за рубежом, и в России в настоящее время к применению в QFD элементов нечеткой логики (fuzzy logic). В достаточно большом обзоре литературы по применению fuzzy logic в QFD [99, 111, 120] проведен анализ более

70 публикаций по применению fuzzy logic в QFD. В заключение работы [120] упоминается, что наиболее перспективными являются метаэвристические методы, в основном использующие генетический алгоритм и алгоритм искусственных нейронных сетей (genetic algorithm (GA) and artificial neural networks (ANN)), которые сейчас используются в QFD только для определения взаимосвязи характеристик.

В настоящее время QFD содержит множество усовершенствований по сравнению с классическим видом. Изначально QFD опирался на практику 1960-х, когда основным было - соответствие спецификациям, техническим требованиям. Далее методология развивалась и интегрировалась с другими методами менеджмента и разработки новой продукции [157]. В настоящее время наблюдаются три направления развития методологии QFD: применение в различных сферах (машиностроение, авиакосмическая отрасль, медицина, IT, сфера услуг, пищевая промышленность); совместное или интегрированное применение с другими методами (ТРИЗ, Шесть сигма, Бережливое производство, управление рисками FMEA, TPM); математическое моделирование (fuzzy QFD, линейные и нелинейные модели, модели на основе матричного подхода).

В России японские методологии, включая QFD, появились в 1990-е благодаря работам Ю.П. Адлера [70, 143, 144]. Наиболее полное руководство по QFD на русском языке было представлено Ю.В. Брагиным [32]. Тем не менее на настоящий момент широкое распространение в России получило в основном частичное применение первого уровня QFD.

По данным В.Л. Шпера [92] на начало 2015 года при англоязычном поиске информации в сети Интернет по ключевому словосочетанию «Quality Function Deployment», обнаруживается свыше 400 тысяч соответствующих ссылок, в то время как поиск в русскоязычном варианте выдает чуть более 3 тысяч. На октябрь 2020 года при поиске в поисковой системе Google по всему миру обнаруживается 17 млн ссылок, в то время как по словосочетанию «структурирование функции качества» или «развертывание функции качества» - суммарно около 6 млн ссылок. На октябрь 2020 года в РИНЦ зарегистрировано более 250 публикаций с

ключевыми словами, имеющими отношение к QFD, на май 2023 года – более 400 [145], среди одной из первых – методические рекомендации [33].

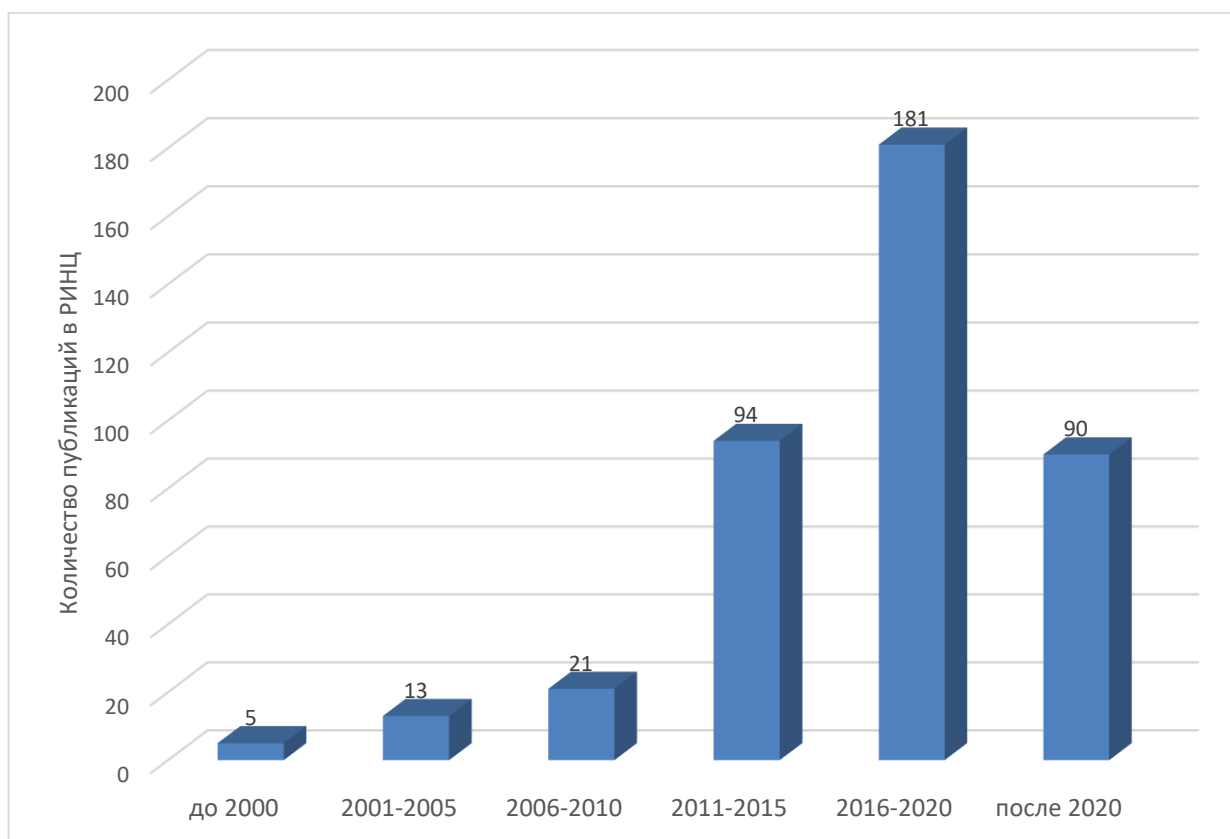


Рисунок 1.18 – Количество публикаций в РИНЦ с ключевым словом QFD

Несмотря на выход международного стандарта ISO/DIS 16355-1 по QFD [71], а также международных стандартов серии ISO 13053 по методам улучшения в проекте «Шесть сигма», включающим QFD [146], наличие методической публикации Брагина Ю.В. [32], стандарта Газпром по QFD [147], за рубежом в меньшей степени, а в России в большей степени QFD остается на настоящий момент сложным методом для практического применения, инструментом для научно-исследовательских работ.

Практически все англоязычные публикации ссылаются на первоисточник, то есть на работы Юојі Акао, в то время как в русскоязычных публикациях на настоящий момент даже не принята единая терминология (встречаются как англоязычное написание названия метода, так и различные вариации переводов: развертывание/структурирование функции/функций качества, структурирование качества по функциям).

В России наряду с термином «развертывание функции качества» большое распространение получил вариант перевода Ю. П. Адлера «структурирование функции качества». «Развертывание функции качества» является буквальным переводом японских слов «hinshitsu kino tenkai», но изначально на английский язык пришел термин «эволюция функции качества». На первом семинаре в Соединенных Штатах Америки Masaaki Imai указал, что термин «эволюция» не совсем уместен, так как подразумевает «перемены» и что лучше использовать термин «развертывание качества» (quality deployment).

Необходимость повышения конкурентоспособности продукции и планирования качества продукции и процессов в соответствии с требованиями потребителей (требования отраслевых стандартов и требований в автомобилестроении и авиастроении (IATF 16949, APQP/CP, ANPQP) определили рост важности использования методов развертывания функции качества QFD, структурирование характеристик продукции и процессов HCPP, в том числе автопроводов. На настоящий момент, с появлением авиационных стандартов по перспективному планированию качества продукции, данные требования будут реализовываться и в авиакосмической отрасли.

Основные достоинства использования QFD [33, 178]:

- позволяет эффективно определить ожидания потребителей, выделить ключевые; обеспечивает гарантии того, что потребители примут и воспользуются новой (модернизируемой) продукцией; обеспечивает увеличение рыночной доли благодаря более раннему появлению на рынке продукции с более высоким уровнем качества;
- сокращает время затраты: затраты времени цикла «Исследование рынка - проектирование - производство - сбыт»; затраты на выпуск опытной партии продукции (на 20-40%), затраты на предварительную разработку продукции - более чем в 5 раз;
- дает организационные улучшения: предоставляет возможность оптимально распределять и эффективно использовать ограниченные ресурсы организации; прививает специалистам процессный стиль работы [33].

Как показывает практика, наблюдаются трудности при внедрении QFD:

- недостаточная коммуникативность потребителей; нестандартность заказов;
- недостаточное внимание к деталям, вынужденные изменения в проектируемой продукции, возникающими вследствие непродуманных целей;
- сложностью и громоздкостью ручных вычислений и анализа; сложностью получения количественного значения целей улучшения технических характеристик или параметров [33].

Существенным недостатком практического применения QFD является то, что даже при полноценном его использовании фактически определяется только приоритетность направлений для совершенствования. Целевые значения характеристик модифицированной продукции определяются субъективно и зависят от уже имеющейся продукции на рынке [176].

Еще одним недостатком современного применения методов определения характеристик качества на основе QFD является сложность учета корреляций («крыша» HoQ) и отрицательных взаимосвязей, трудоемкость вычислений и ограниченность возможных размеров матриц (HoQ). Наиболее часто на практике используется только первый уровень QFD для определения приоритетов совершенствования продукции, при этом отрицательные взаимосвязи практически не используются [176].

Основными недостатками или ограничениями существующих подходов к определению и планированию качества являются:

- при использовании методологии QFD определяются только приоритеты для совершенствования;
- целевые значения характеристик определяются субъективно и зависят от уже имеющейся продукции на рынке;
- не учитываются отрицательные взаимосвязи требований потребителей и характеристик;

- не используется разнообразная информация: взаимосвязь характеристик, наличие рисков, сложность/стоимость изменения технических характеристик, изменчивость рынка, погрешность экспертных оценок;
- высокая трудоемкость вычислений для сложных, многопараметрических объектов. Сложно использовать более 20 характеристик;
- программные продукты в основном направлены не на расчеты, а на визуализацию. Не учтены современные тенденции цифровизации управления качеством продукции [174-176].

Необходима разработка модели и методики планирования качества продукции и определения характеристик продукции с учетом существующих подходов к планированию качества на основе методологии QFD.

1.5 Выводы по главе 1

Основными факторами, определяющими конкурентоспособность в авиационной промышленности, являются качество и своевременность вывода продукции на рынок, в том числе в условиях импортозамещения. Реализация концепции «Big Q», развивающей TQM с применением методологии QFD позволяет повысить результативность системы менеджмента. Однако применение метода QFD позволяет определить только важность характеристик продукции. Исследований по использованию метода QFD для определения целевых значений практически не встречается. Практическая реализация QFD зачастую основана на малодостоверных данных маркетинга. При общепринятом подходе применение метода QFD часто ограничено первым и вторым уровнем из-за громоздкости расчетов.

Необходима разработка модели и методики определения не только приоритетов, но и целевых значений характеристик продукции/компонентов и параметров технологических процессов.

В итоге на основе анализа сформулированных проблем разработки и управления качеством инновационной продукции сформулированы задачи

исследования. В связи с особенностями задачи и современными возможностями компьютерной обработки результатов предлагается для решения использовать метод решения матричного уравнения на основе методологии QFD, позволяющий учитывать не только взаимосвязи требований и характеристик, но другую имеющуюся информацию: взаимосвязь характеристик, относительные изменения признаков состояния системы (важности требований и ожиданий потребителей), результаты анализа рисков.

2 Разработка усовершенствованной модели планирования качества авиационной продукции

2.1 Определение математических моделей

В основном для определения закономерностей работы объекта и формирования математической модели проводятся эксперименты. Однако в некоторых случаях объект исследования либо принципиально недоступен для наблюдения, либо проведение такого эксперимента дорого.

С точки зрения соотношения причина-следствие задачи математического моделирования условно делятся на два больших класса: прямые задачи (известны причины x , необходимо найти следствия y , формула 2.1) и обратные (известны следствия, нужно найти причины) [149].

$$Y = f(X) \quad (2.1)$$

К прямым задачам относятся механические расчеты, когда свойства и конфигурация известны. К обратным относят задачи определения некоторых свойств объектов в зависимости от координат или в виде функций других параметров [149].

Существующие методики планирования качества продукции (APQP/CP, ANPQP) в основном базируются на организационном подходе и имеют ряд ограничений, которые не позволяют адекватно смоделировать взаимосвязь характеристик продукции с удовлетворенностью потребителей. Привлечение экспертов для оценки продукции часто демонстрирует низкую корреляцию оценки экспертов с оценкой потребителей. Низкая согласованность оценок потребителя и эксперта значительно снижает конкурентоспособность продукции: продукция, выпуск которой основан на высокой оценке качества экспертами, не находит своего покупателя по причине низкой оценки качества продукции с точки зрения потребителя [162].

Определение (идентификацию) систем, как предмет построения математических моделей на основе наблюдений, связывают с работой Карла

Фридриха Гаусса, в которой он использовал разработанный им метод наименьших квадратов [150-152], который впоследствии нашёл применение для построения математических моделей управляемых объектов, используемых в автоматизации. Л. Льюнг ввел понятие смещения и ошибки дисперсии для оценивания передаточных функций объектов методом наименьших квадратов [150-153]. На основе понимания влияния условий эксперимента, структуры модели и критерия, основанном на смещении и дисперсии ошибки, возможно так подобрать эти переменные синтеза к объекту, чтобы получить наилучшую модель в данном классе моделей [150-152].

Для построения математической модели необходимы: 1) набор данных, полученных в результате нормальной работы изучаемого объекта либо при целенаправленном эксперименте; 2) вход-выходная информация обычно записывается в течение заранее спланированного эксперимента, во время которого исследователь может выбрать какие сигналы измерять, когда их измерять и какие входные сигналы использовать; 3) множество моделей-кандидатов для использования [150-152].

Модели, построенные не на основе известных физических законов и имеющие параметры, изменяя которые можно добиться приближения к изучаемому объекту, называются моделями черного ящика. Модели же имеющие настраиваемые параметры и опирающиеся на известные физические законы называются серыми ящиками. Критерием для выбора модели является её способность повторять данные, полученные из эксперимента, т.е. соответствовать поведению изучаемого объекта. Тем не менее, модель никогда не сможет быть принята как «истинное» описание объекта из-за своей природной приближенности [150-152].

При определении систем обычно предполагается экспериментальное изучение и сопоставление входных и выходных процессов, и задача определения системы состоит в выборе соответствующей математической модели. Модель должна быть такой, что ее реакция и реакция объекта на один и тот же входной сигнал должны быть, в известном смысле, близкими. Результаты решения задачи

определения системы являются исходными данными для проектирования систем управления, оптимизации, анализа параметров систем и т. д. [149-155].

Сложности определения моделей действующих систем определяют ориентированный на широкое использование подход к моделированию объектов, заключающийся в выборе вида математической модели в виде уравнения и последующего определения параметров, либо непараметрической идентификации модели. Модель считается адекватной, если оценка заданного критерия адекватности, вычисленная как зависимость невязки модели от экспериментальных данных находится в допустимых пределах. То есть в общем виде определение модели состоит в отыскании по входным и выходным сигналам некоторой системы (Рисунок 2.1), эквивалентной действующей [149-155].

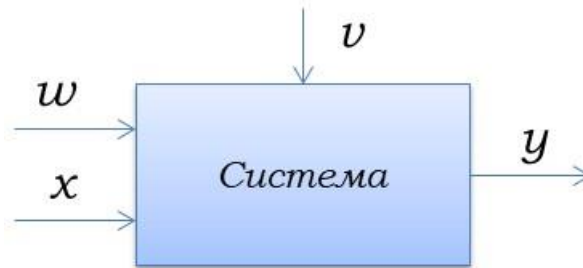


Рисунок 2.1 – Система с выходным сигналом y , входным сигналом x , измеряемой помехой w и не измеряемой помехой v [150-152]

Задачи планирования качества можно рассматривать как обратные в случае, если для известной степени необходимых улучшений (следствию, y) необходимо определить наилучший вариант изменения неизвестных влияющих параметров (x). На рисунке 2.2 представлено отличие прямой и обратной постановки задачи.

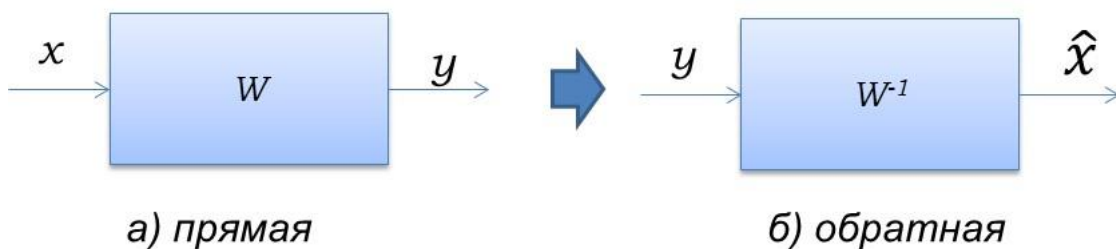


Рисунок 2.2 – Прямая (а) и обратная (б) постановка задачи

Расчетные оценки \hat{x} могут быть в дальнейшем подтверждены экспериментальным путем.

2.2 Современные методы оценивания неизвестных параметров в задаче определения математической модели

К настоящему времени разработан ряд алгоритмов определения (идентификации) непрерывных систем [150-155]. В случае возможности получения экспериментальных данных применяется эталонная модель (Рисунок 2.3).

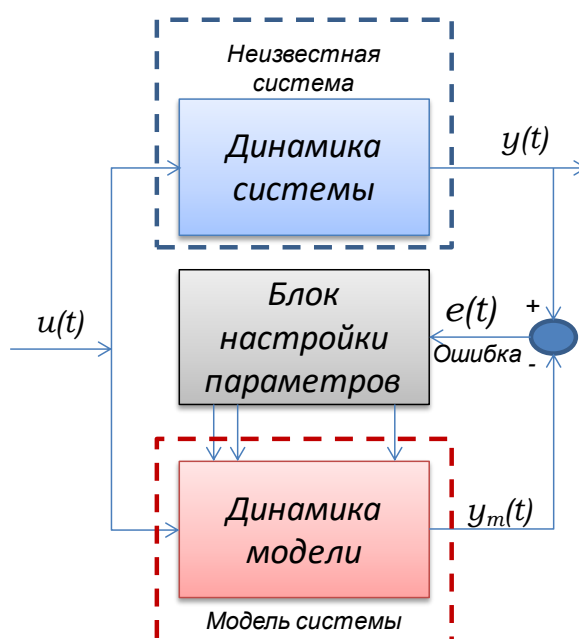


Рисунок 2.3 - Эталонная модель, используемая для определения системы

Распространенные методы параметрического определения систем [150-155]: метод наименьших квадратов (МНК); метод вспомогательных переменных (ВП); обобщенный метод наименьших квадратов (ОМНК); расширенный метод наименьших квадратов (РМНК); метод максимального правдоподобия (ММП); метод эталонной модели; расширенный фильтр Калмана; метод, основанный на вычислении ошибки предсказания.

Используемые в настоящее время методы определения объектов управления базируются в основном на классических статистических методах, например таких, как методы наименьших квадратов, максимального правдоподобия. Выделяются

следующие критерии и методы для определения неизвестных параметров (Таблица 2.1): метод наименьших квадратов (МНК); Чебышевский минимаксный критерий; метод наименьших модулей [150-155].

Таблица 2.1 – Приемлемость методов

Метод (критерий)	Приемлемость оценок	
	Нормальное распределение помехи 	Равномерное распределение помехи 
метод наименьших квадратов (МНК)	Оптимально (+)	Неудовлетворительно (-)
Чебышевский минимаксный критерий	Значительные ошибки (-)	Оптимально (+)
метод наименьших модулей	Небольшие ошибки	Небольшие ошибки

МНК дает оптимальные по критерию наибольшего правдоподобия оценки при нормально распределенной помехе, но при равномерно распределенной помехе результаты определения системы могут оказаться неудовлетворительными. По Чебышевскому минимаксному критерию оценки получаются оптимальными для равномерно распределенной помехи, а при наличии выбросов (например, когда помеха имеет нормальное распределение) возможны значительные ошибки в определении параметров. То есть при неизвестном вероятностном распределении помехи всегда существует возможность получить неудовлетворительные результаты при идентификации по первому и второму критериям [150-155].

Метод наименьших модулей более помехоустойчив, при неизвестном законе распределения помехи получаются меньшие ошибки. То есть обычно задача достигается наилучшим образом при известном законе распределения помехи, что не всегда реально на практике.

Для оценки используются:

- 1) данные – результаты измерений $\{x_i, y_i\}$ и их погрешности $\{\sigma_i\}$
- 2) модель $y = f(x | \theta_1, \theta_2, \dots)$ – параметрическое описание исследуемой зависимости, где θ – набор параметров модели.
- 3) Процедура построения оценки параметров по измеренным данным:

$$\theta \approx \hat{\theta}(\{x_i, y_i, \sigma_i\})$$

Отклонения результатов серии измерений от теоретической модели обозначим как

$$\Delta y_i = y_i - f(x_i|\theta), \quad i = 1 \dots n . \quad (2.2)$$

Метод минимума хи-квадрат (метод Пирсона) заключается в подборе такого θ , для которого минимальна сумма квадратов отклонений от теоретической модели, нормированных на ошибки измерений:

$$\chi^2(\theta) = \sum_i \left(\frac{\Delta y_i}{\sigma_i}\right)^2 \rightarrow \min . \quad (2.3)$$

Для метода наименьших квадратов, когда $\sigma_i = \text{const}$, множитель $1/\sigma^2$ выносится за скобки и оценка параметра сводится к нахождению минимума суммы квадратов отклонений:

$$S(\theta) = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i|\theta))^2 \rightarrow \min . \quad (2.4)$$

Для повышения устойчивости модели планирования качества в дальнейшем, с привлечением специалистов по прикладной математике возможна разработка универсального устойчивого математического аппарата идентификации качества продукции.

2.3 Разработка усовершенствованной модели планирования качества авиационной продукции и процессов на основе развертывания функции качества

Задача планирования качества является обратной, в которой необходимо определить характеристики проектируемой продукции или услуги (причину) по выявленной удовлетворенности (следствие). Анализ существующих моделей и разработке усовершенствованной модели планирования авиационной продукции и процессов на основе QFD посвящена работа [176]. Стандартная четырехуровневая модель QFD и связанные с ее применением сложности приведены в разделе 1.4.

Международный стандарт по методологии QFD ISO 16355 [71] в большей степени уделяет внимание принципам, анализу голоса потребителя (VOC) и

содержит три модели: основная, модель немецкого института QFD и модель блиц QFD (рисунки 2.4-2.6).

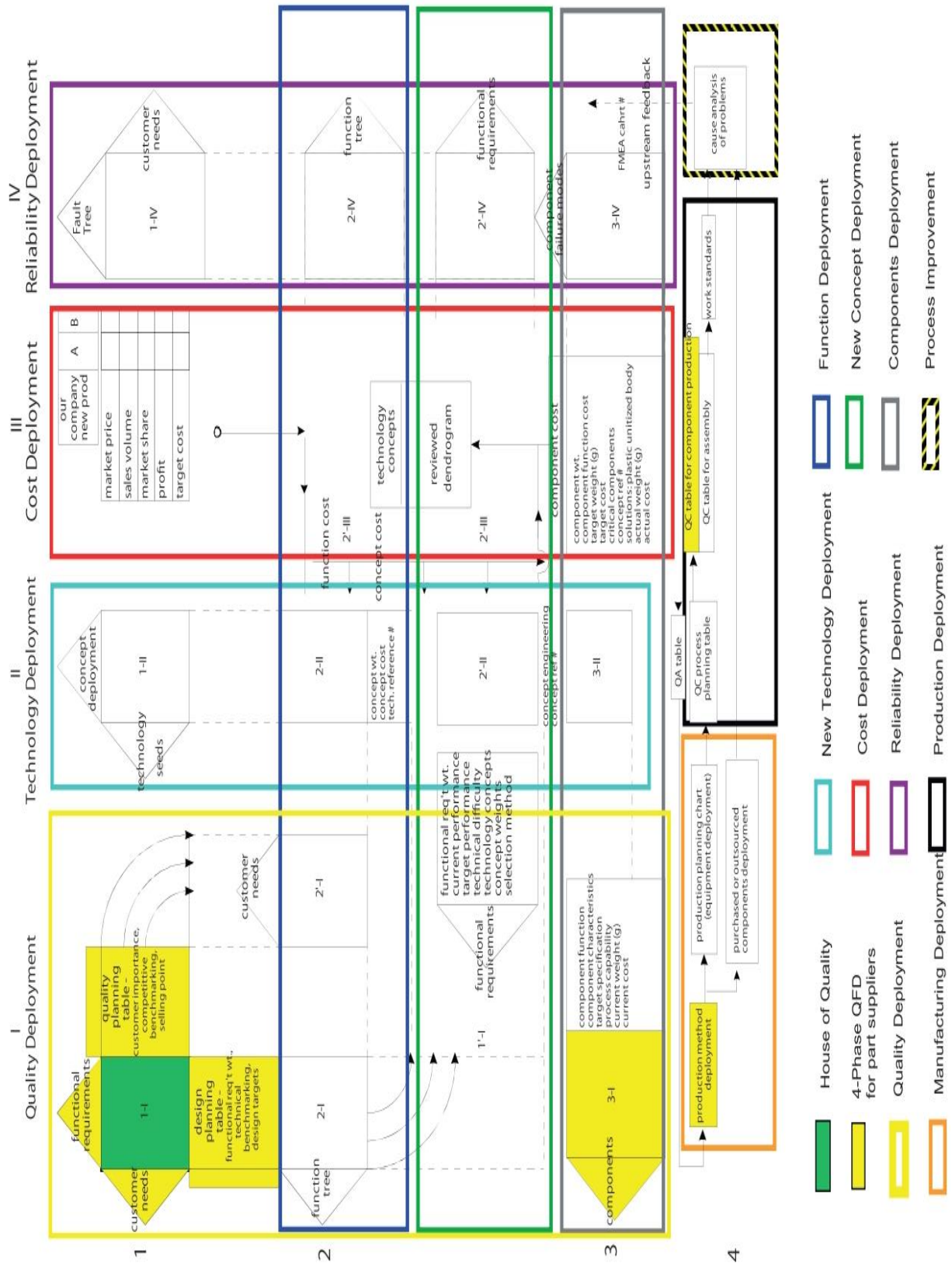


Рисунок 2.4 – Основная модель QFD [66]

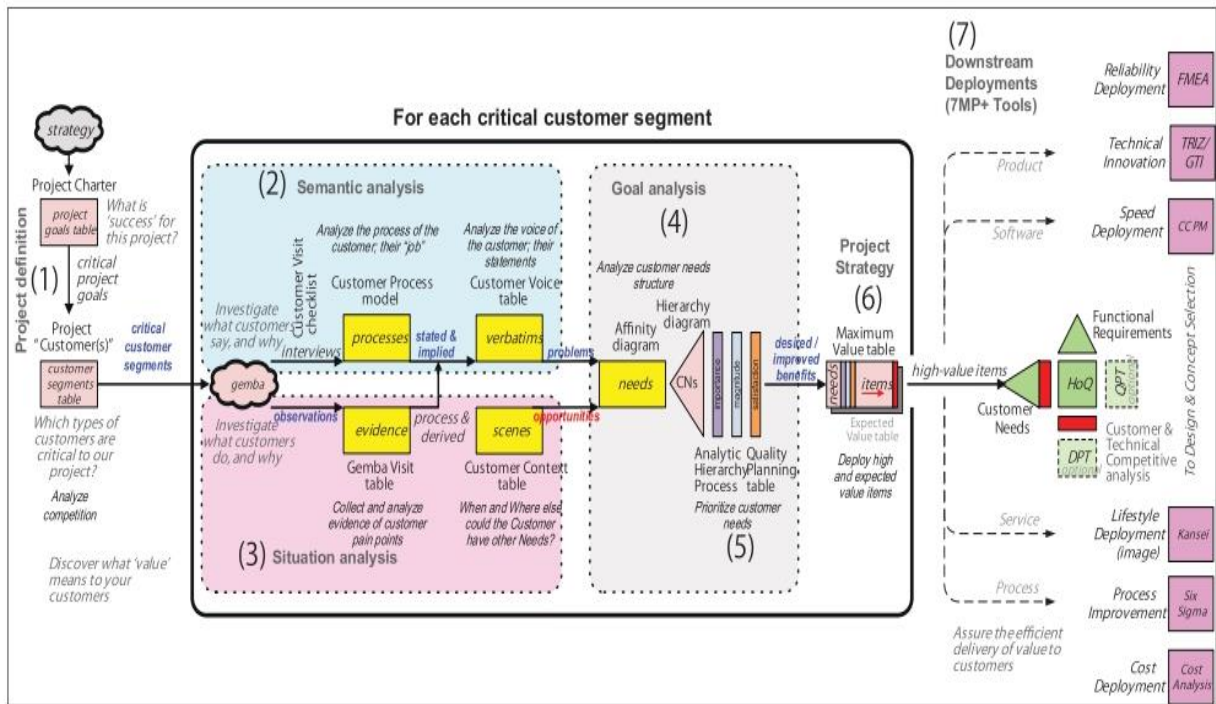


Рисунок 2.5 – Модель Блиц-QFD [66]

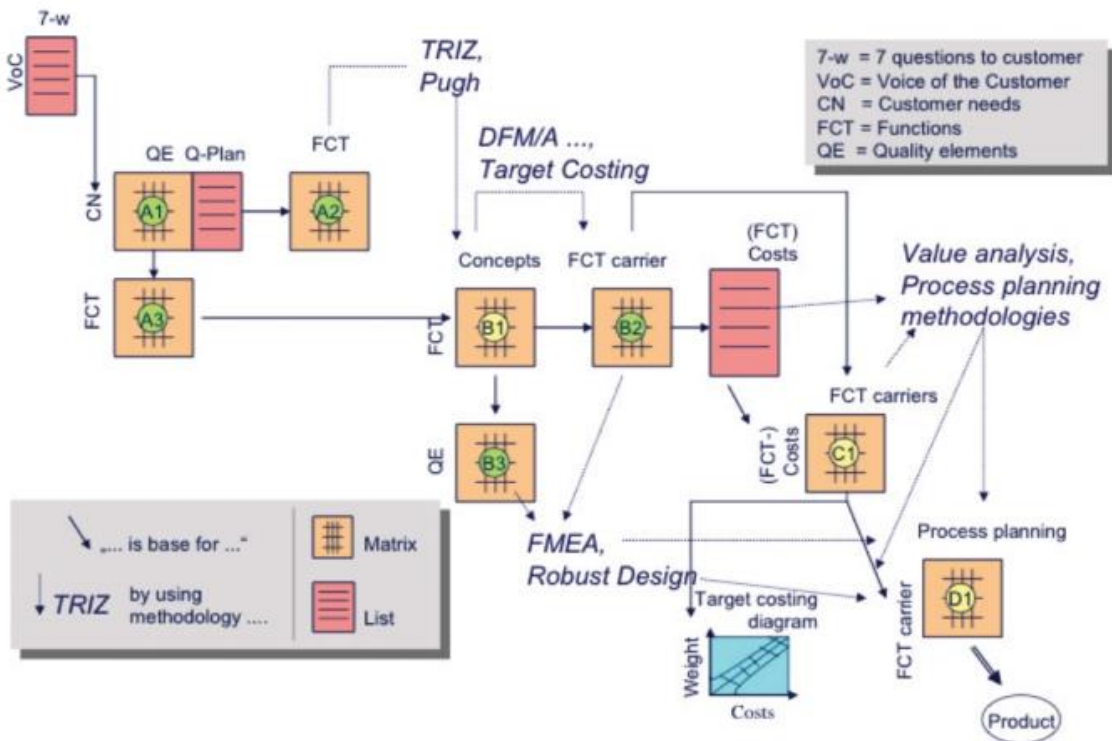


Рисунок 2.6 – Модель немецкого института QFD [66]

Основная модель QFD является системной и включает 4 уровня. Модель достаточно сложная для восприятия, предполагает отдельные структурные элементы при развертывании с ориентацией на качество, технологичность, стоимость или надежность. Блиц-QFD применим для частных случаев модернизации продукции, с возможностью взаимодействия с потребителем и выходом в эксплуатацию. Практически вся модель состоит из инструментов анализа голоса потребителя и разработки таблицы ценностей. Немецкая модель QFD фактически содержит взаимосвязь методов и подходов, которые необходимо использовать при планировании качества продукта - FMEA, ТРИЗ, таблица голоса потребителя (VOCT). Большое внимание уделяется планированию стоимости.

Представленные в стандарте [66] модели носят в основном теоретический характер и недостаточно детализированы. Их применение получило некоторое распространение среди специалистов по управлению качеством и результаты докладываются на ежегодных конференциях по QFD [72].

В стандарте также упоминается более 100 различных инструментов качества. Но однозначной методики не представлено. Это порождает большую вариабельность и является ограничением применения.

QFD остается обобщенной методологией. Изучение и применение представленных моделей недостаточно структурированы. Результатами реализации данных моделей являются только приоритеты характеристик, требующих внимания без указания степени их изменений.

Невозможна эффективная разработка новых решений и модернизация существующих продуктов без использования имеющихся знаний и научного подхода. Основная задача онтологического подхода – упорядочение знаний путем 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 [176]. Методология онтологического инжиниринга позволит оптимизировать процесс проектирования продукции с учетом не только

требований и ожиданий потребителей, но и накопленной базы знаний разработчика.

Как было показано ранее и в работах [156-177], в развернутом виде модель QFD включает четыре уровня, и на каждом из них строится свой Дом качества (House of Quality, HoQ). Структура реализации QFD включает постоянное обращение к базе знаний разработчика (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Структура реализации QFD

Стандартный подход к проектированию продукции подразумевает выбор концепции и определение технических характеристик продукции. При этом

зачастую автором технического задания на проектирование является сам разработчик. Необходимо учитывать базу знаний, которая будет содержать взаимосвязанные классы «Требования потребителя» и «Концепция продукции», который имеет в свою очередь атрибуты «Характеристики продукции» [176].

Требования потребителей определяются на основе анализа голоса потребителей и описываются перечнем требований (в соответствии с моделью Н.Кано), важностью требований (например, по 10-балльной шкале) и оценкой конкурентоспособности продукции (с учетом данных бенчмаркинга) (рисунок 2.8). Таким образом, результатом проектирования на первом уровне QFD являются концепция продукции и характеристики продукции, которые в свою очередь описываются перечнем технических характеристик, взаимосвязью и значением характеристик. При этом целью проектирования является не только «разработка» или «модификация» продукции, но и разработка или модификация продукции с учетом взаимосвязи характеристик и данных бенчмаркинга таким образом, чтобы достичь необходимого уровня конкурентоспособности продукции [176].

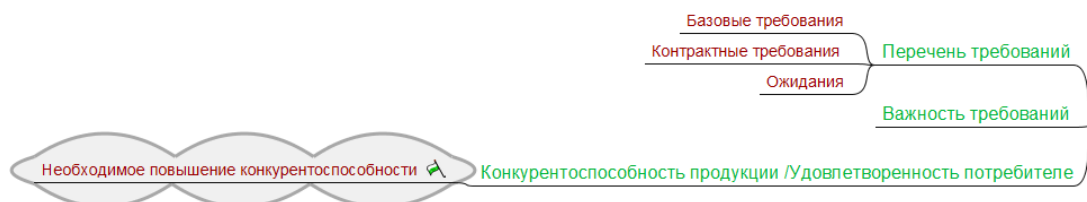


Рисунок 2.8 – Цель проектирования в Онтологической модели проектирования качества продукции на основе метода QFD (1 уровень)

В случае проектирования продукции, состоящей из отдельных компонентов, большое внимание необходимо уделить проектированию качества компонентов. Производители сложных технических систем утверждают, что итоговое качество продукции на 80% зависит от качества компонентов, что в свою очередь определяется не только техническими характеристиками компонентов, но и качеством технологических процессов и условий производства. Таким образом, онтологическая модель планирования качества продукции на основе метода развертывания функции качества QFD включает 4 уровня проектирования

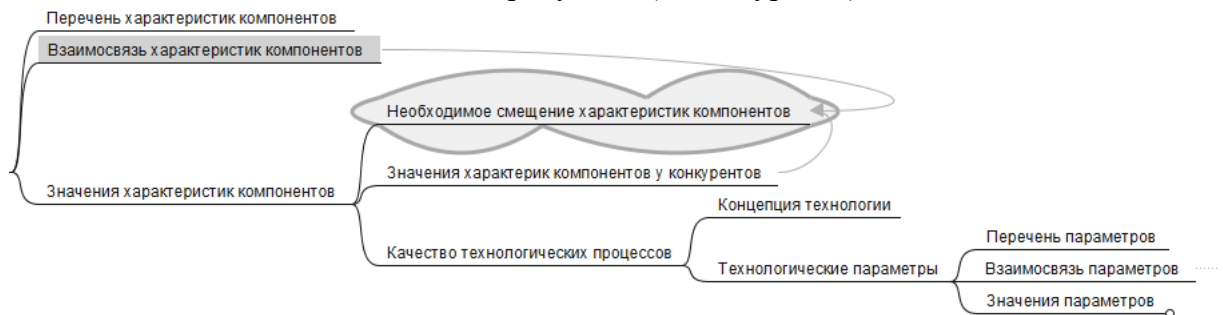
(продукция, компоненты, технология, производство), при этом каждый из уровней описывается рядом взаимосвязанных атрибутов (рисунок 2.9).



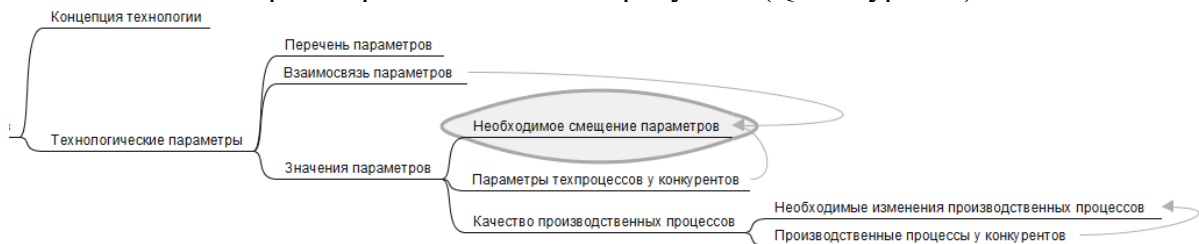
а) Онтологической модель планирования качества продукции в свернутом виде (QFD 1 уровня)



б) Проектирование качества компонентов в Онтологической модели проектирования качества продукции (QFD 2 уровня)



в) Проектирование качества технологических процессов в Онтологической модели проектирования качества продукции (QFD 3 уровня)



г) Проектирование качества производственных процессов в Онтологической модели проектирования качества продукции (QFD 4 уровня)

Рисунок 2.9 – Онтологическая модель планирования качества продукции, компонентов, технологических процессов и производства на основе метода QFD

Полученная онтологическая модель, представленная и используемая также в работах [79, 156-177] демонстрирует масштабы исходных данных (базы знаний),

трудоемкость вычислений при использовании стандартного математического аппарата и, в то же время, возможность и необходимость использования дополнительной информации: риск, погрешность исходной информации и т.д. (рисунок 2.10).

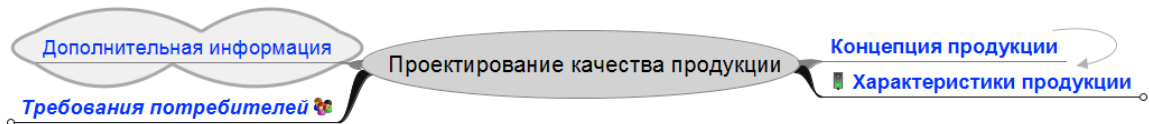


Рисунок 2.10 – Использование дополнительной информации в Онтологической модели проектирования качества продукции на основе метода QFD

На основе предложенной онтологической модели с использованием инструмента Protégé, который включает редактор онтологий, позволяющий проектировать онтологии, разворачивая иерархическую структуру абстрактных и конкретных классов, была разработана базовая онтология проектирования качества продукции с использованием методологии QFD (Рисунок 2.11) [79].

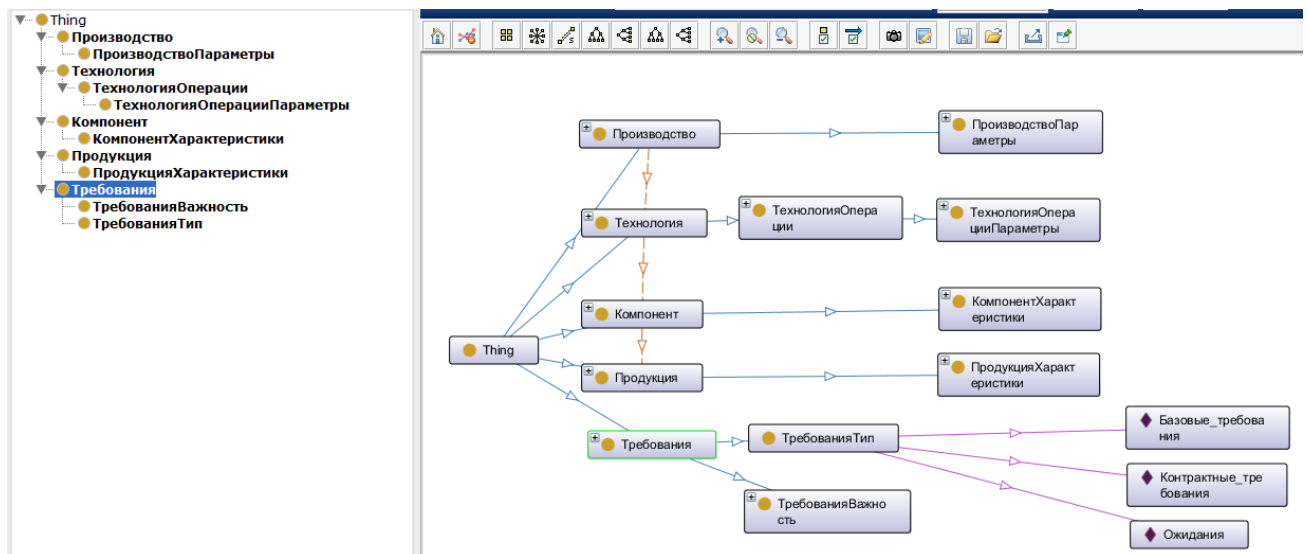


Рисунок 2.11 – Онтологическая модель проектирования качества продукции на основе методологии QFD в системе Protégé

Структура онтологии аналогична иерархической структуре каталога. На основе сформированной онтологии сгенерированы формы получения знаний для дополнения экземпляров классов и подклассов процесса планирования качества

продукции. На рисунках 2.11-2.12 приведены примеры подклассов и взаимосвязанных атрибутов в разработанной базовой онтологии.

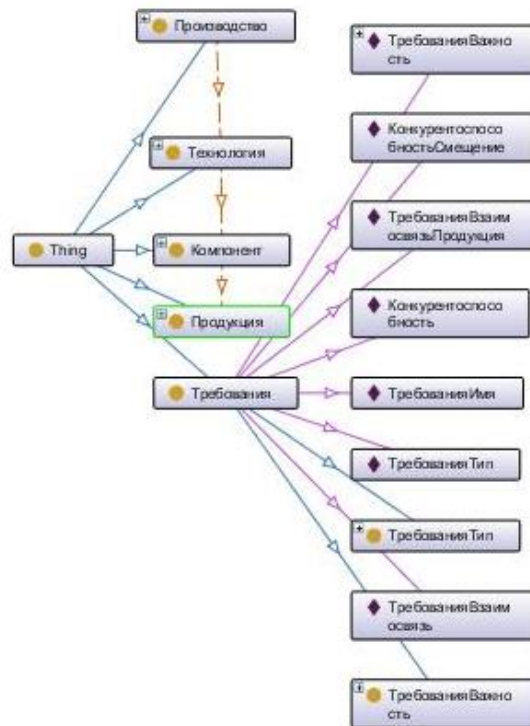


Рисунок 2.12 – Подклассы и атрибуты класса «Требования» в онтологии на основе методологии QFD

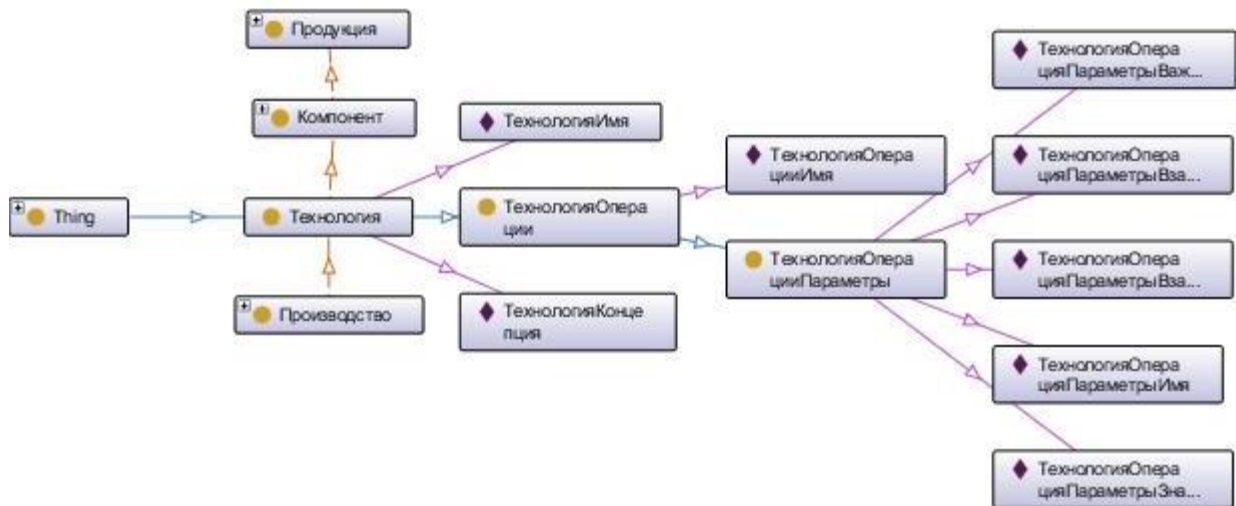


Рисунок 2.13 – Подклассы и атрибуты класса «Технология» в онтологии на основе методологии QFD

С учетом требований в авиационной отрасли к управлению конфигурацией, онтологическая модель может быть не только основой базы данных для проектирования новой и модернизированной продукции и инструментом

управления конфигурацией. Пример разработки онтологической модели для разработки конкретной авиационной продукции на основе базовой модели приведен в разделе 4.3.

Обобщая изученные модели, можно представить результаты методологии QFD, необходимые для перспективного планирования качества продукции в виде следующей модели (рисунок 2.14). При последовательной реализации методологии, использовании необходимых данных и баз знаний, разработчики получают информацию о наиболее значимых элементах, характеристиках, процессах. Имеется опыт применения интегрированного метода определения приоритетов преобразований с учетом результатов анализа рисков FMEA [68].

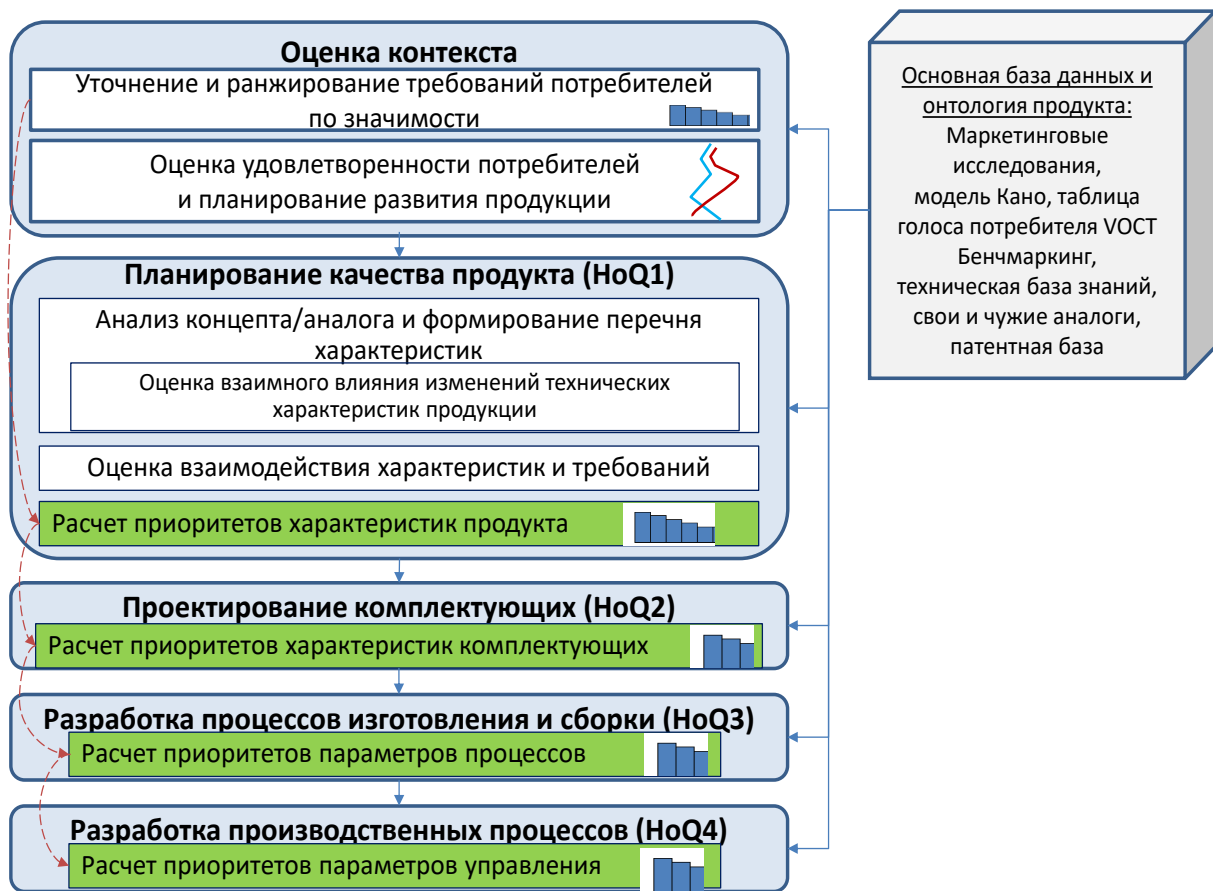


Рисунок 2.14 – Обобщенная модель методологии QFD

Таким образом, сильная сторона методологии QFD – налаживание коммуникаций и повышение осведомленности в рамках проекта. Для отлаженных проектных процессов в рамках постоянного совершенствования продукта этого

может быть достаточно. Более подробно сильные и слабые стороны методологии QFD приведены в разделе 1.4.

Понимание задачи планирования качества, как решения обратной задачи может развить достоинства методологии и предоставить разработчику не только оценку приоритетов (важности) элементов, но и предложить конкретный вариант для внесения изменений в продукт/ компонент/ процесс. Предлагаемая модель планирования качества продукции на основе методологии QFD с учетом дополнительной информации представлена на рисунке 2.15.

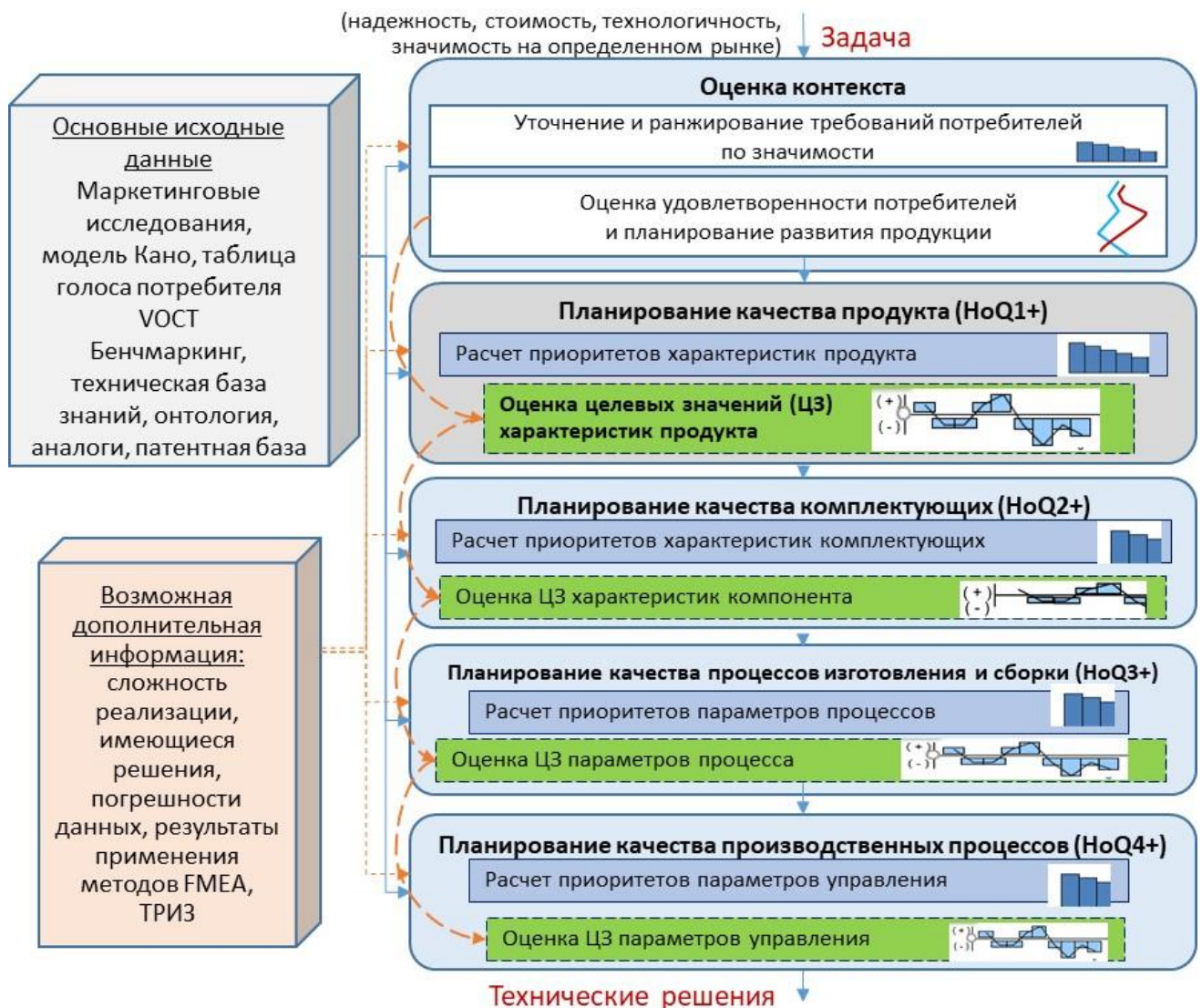


Рисунок 2.15 – Предлагаемая модель системного планирования качества на основе QFD

Модель, по аналогии с классической схемой разворачивания QFD, включает условно 4 уровня планирования качества: разработка продукта/концепции,

разработка компонентов, разработка технологического процесса, планирование производственных и контрольных операций. Применяя модель параметрического определения систем с использованием приемлемых методов, приведенных в разделах 2.3-2.4 возможно получение не только приоритетов, но и целевых значений характеристик продукции и параметров процессов, в том числе с учетом результатов анализа рисков и другой дополнительной информации уже в математическом аппарате определения приоритетов и целевых значений характеристик.

2.4 Процессная модель системного планирования качества

На основе усовершенствованной модели разработана процессная модель методики системного планирования качества МТ QFD в нотации IDEF0, которая включает 4 классические подпроцесса планирования качества QFD (рисунки 2.16-2.22). Модель предусматривает использование как основной, так и дополнительной информации.

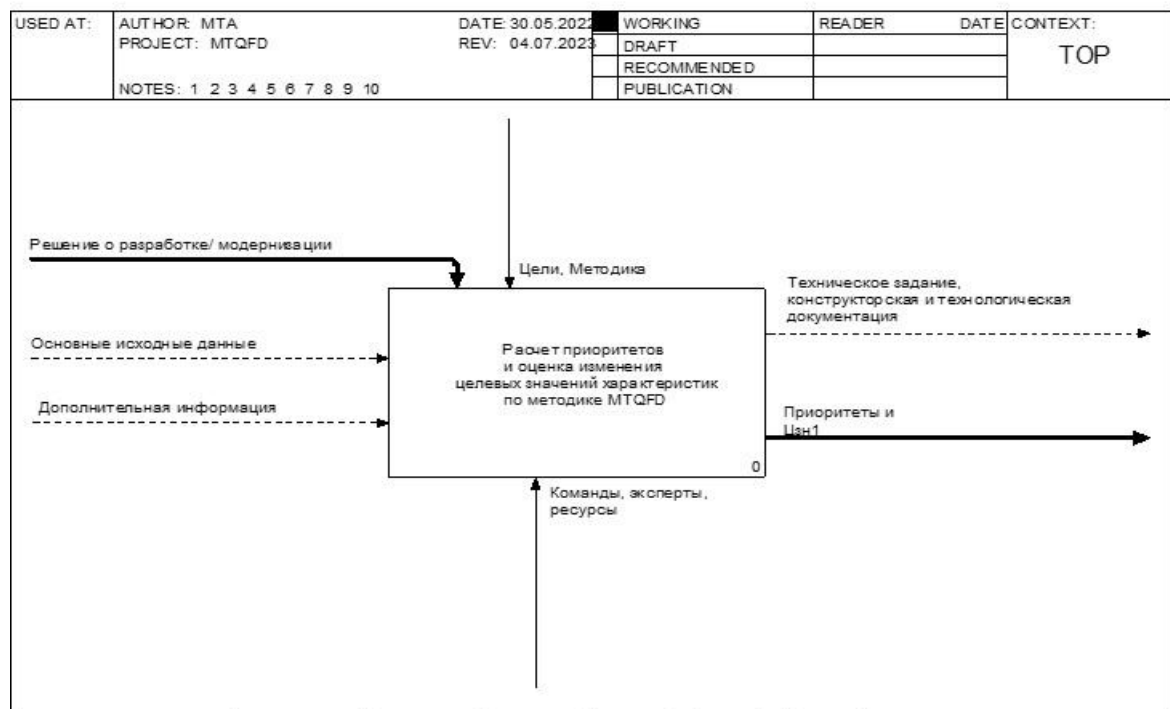


Рисунок 2.16 – Процессная модель системного планирования качества МТ QFD

Дерево подпроцессов представлено на рисунке 2.17. С учетом сложности объекта может быть использовано необходимое количество уровней развертывания: для объекта, его систему, узлов, сборочные единиц и так далее. На каждом уровне определяются и приоритеты и целевые значения характеристик и параметров.

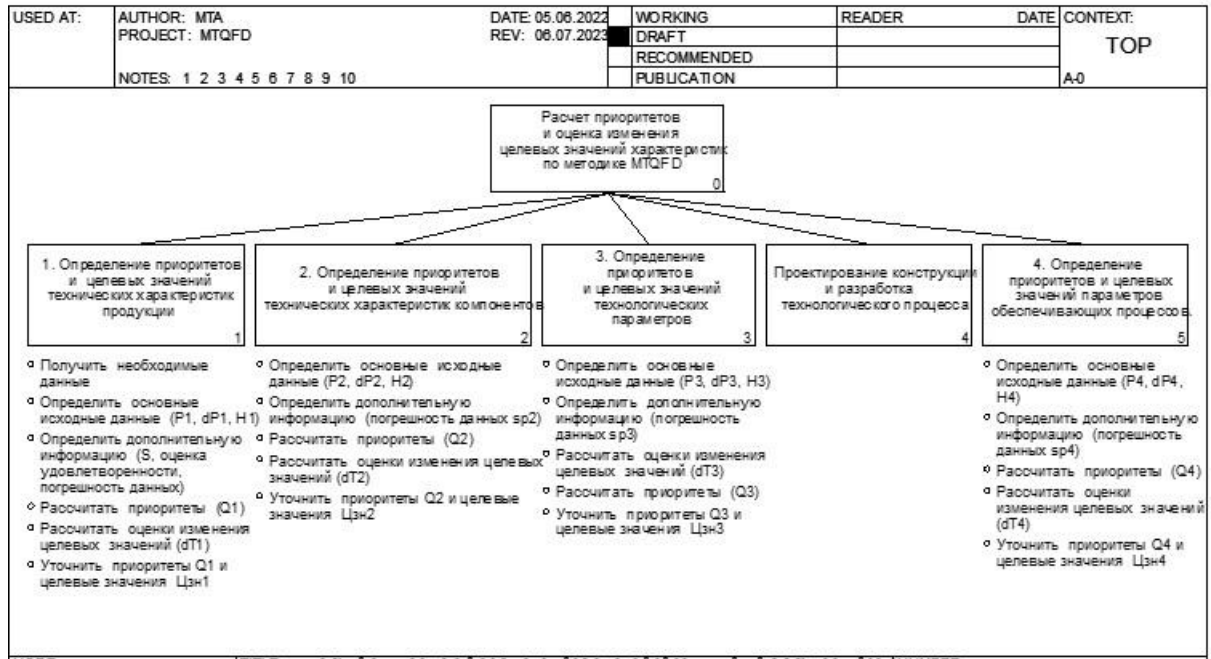


Рисунок 2.17 – Процессная модель системного планирования качества MT QFD

Детализация процесса приведена на рисунках 2.18-2.22. Подпроцессы для 3-4 уровня отличаются от подпроцессов 1-2 уровня отсутствием анализа голоса потребителя. Предполагается, что на этих уровнях уже стоит конкретная техническая задача.

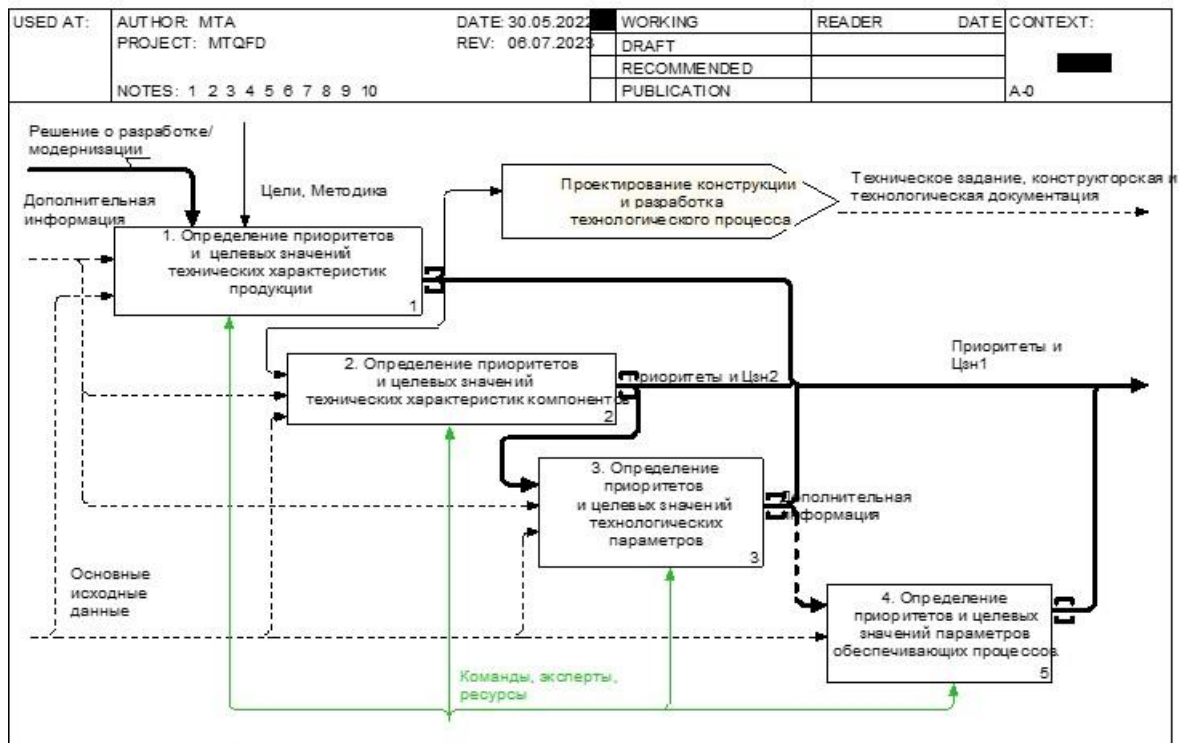


Рисунок 2.18 – Детализация процессной модели системного планирования качества MT QFD

На 1 и 2 уровне (рисунки 2.19, 2.20) определяются приоритеты и целевые значения характеристик продукта и компонентов.

Первым уровнем считается ситуация, когда необходимо использовать необработанную, нечеткую информацию, называемую «голос потребителя». В таком случае необходимо определиться с сегментом потребителей, рынком, конкурентами, источниками маркетинговой и дополнительной информации. На 1 уровне привлекаются дизайнеры, определяющие облик продукта.

Для авиастроения этим этапом можно считать этап концептуального проектирования. Ошибки на этом уровне могут дорого стоить, когда на рынок выйдет невостребованный или коммерчески неуспешный продукт и придется создавать обновленную модификацию.

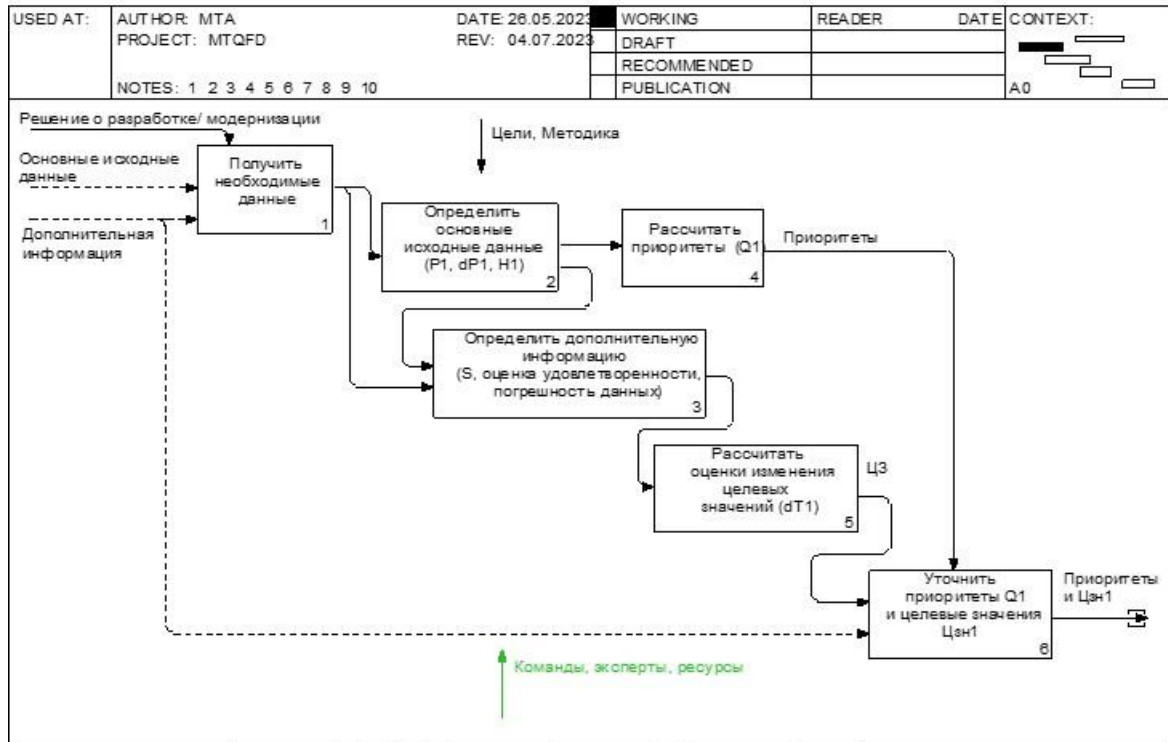


Рисунок 2.19 – Детализация уровня 1 процессной модели системного планирования качества продукта

Вторым уровнем (рисунок 2.19) можно считать любой этап проектирования технического объекта (системы, узла, агрегата, компонента, детали), когда известны функционал, условия эксплуатации и другие технические требования, обычно указываемая в техническом задании за исключением непосредственно характеристик объекта.

На этом уровне определяются ключевые характеристики (на основе приоритетов и дополнительной информации, например, по результатам анализа рисков FMEA) и целевые значения, которые необходимы для достижения установленного улучшения.

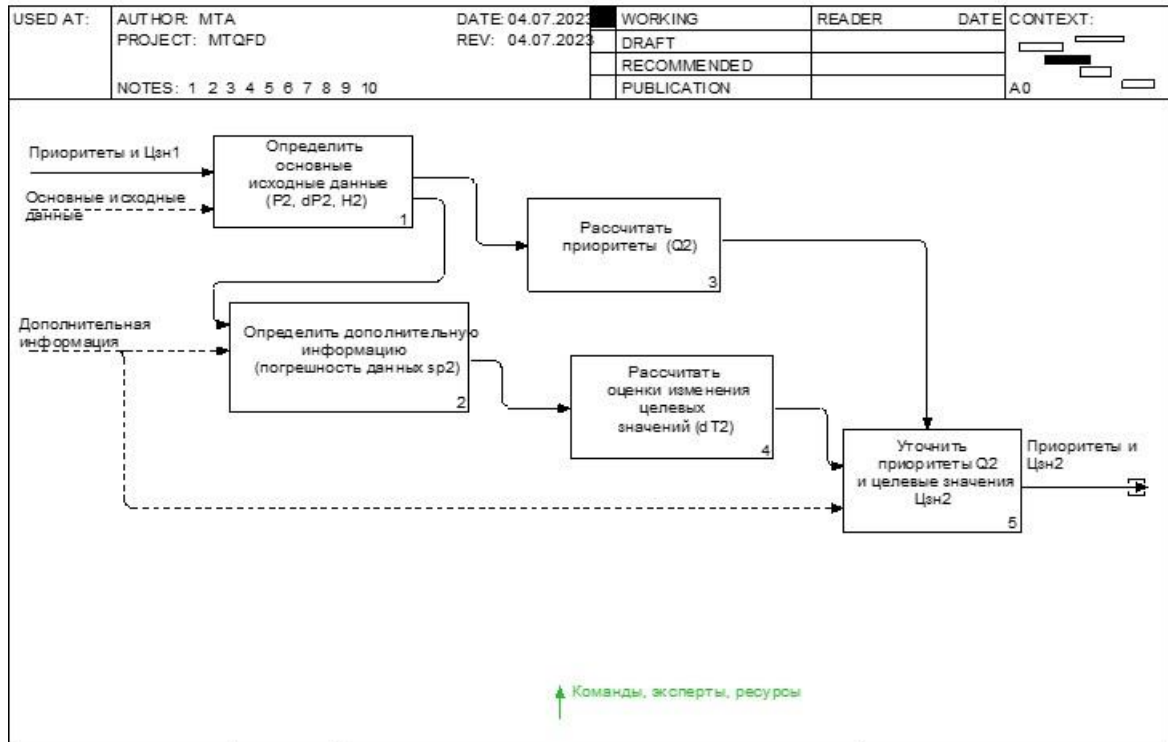


Рисунок 2.20 – Детализация уровня 2 процессной модели системного планирования качества компонентов

К третьему уровню относятся задачи разработки технологического процесса или отдельных технологических операций/ переходов для изготовления технического объекта в случае, когда известны приоритеты или необходимые улучшения этого объекта.

На этом уровне есть возможность использовать не экспертные оценки взаимосвязи, принятые в QFD, а коэффициенты корреляции между параметром технологического процесса и получаемой технической характеристикой (например, подача резца – размер детали).

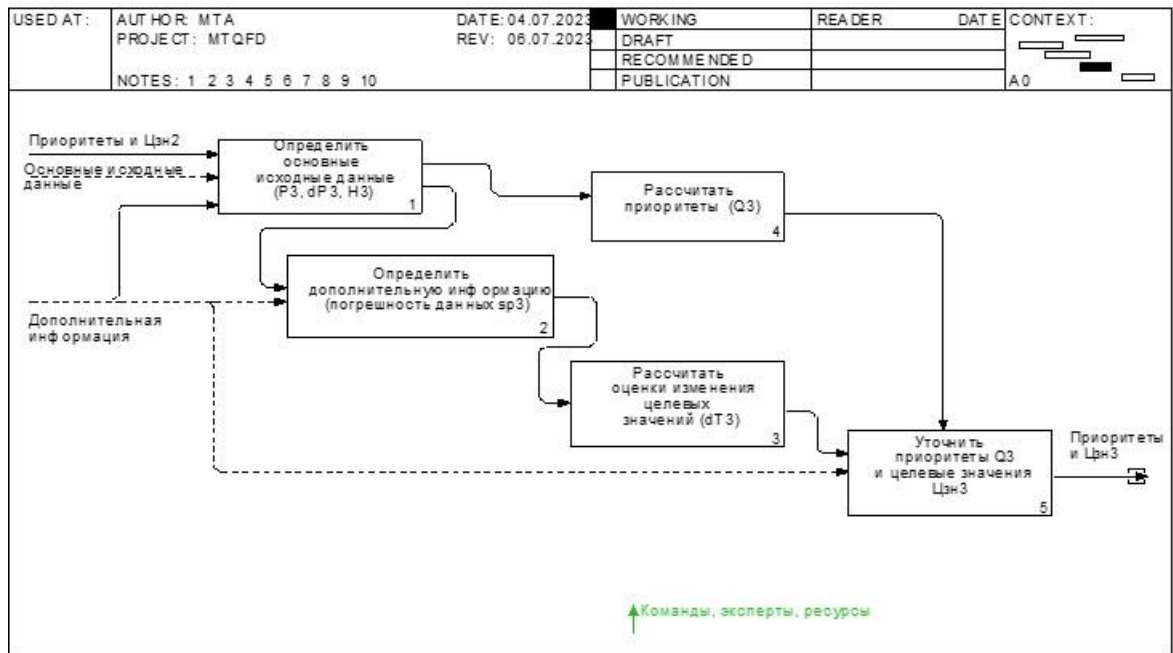


Рисунок 2.21 – Детализация уровня 3 процессной модели системного планирования качества технологического процесса

Для 4 уровня характерно использование информации о важности параметров технологического процесса для обеспечения качества в производственном процессе за счет контрольных и вспомогательных операций и действий, которым обычно не уделяется достаточно внимания, так как нет достаточного понимания о влиянии на конечный продукт.

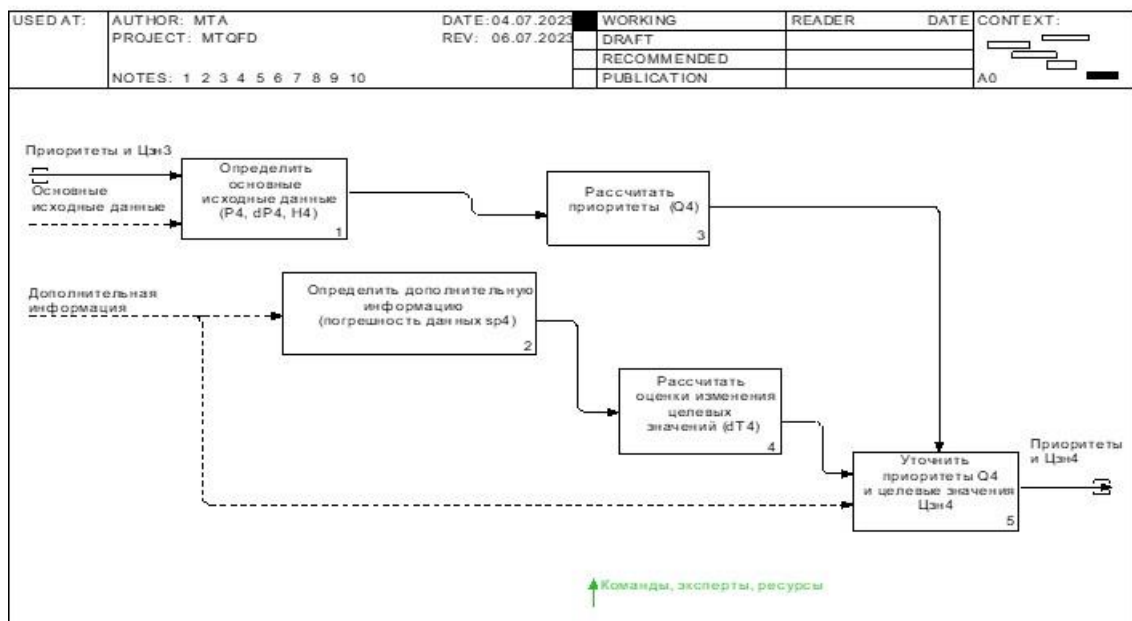


Рисунок 2.22 – Детализация уровня 4 процессной модели системного планирования качества производственного процесса

В соответствии с усовершенствованной моделью планирования качества на основе QFD, на каждом этапе планирования может быть использована полученная ранее информация и использоваться значения приоритетов и оценки изменения, полученные на предыдущих этапах.

Таким образом, модель обеспечивает и получение значений приоритетов для выбора ключевых характеристик и параметров, и позволяет оценить целевые значения характеристик для достижения установленной цели повышения качества продукции, удовлетворенности потребителя, снижения себестоимости и так далее.

2.5 Выводы по главе 2

Задача планирования качества является обратной, для решения которой необходимо привлечение математического аппарата, хорошо зарекомендовавшего себя в технических науках при решении подобных задач. Возможно применение распространенных методов, таких как метод наименьших квадратов (МНК). Простые методы могут иметь ограничения применения и приводить к трудности при интерпретации полученного решения. В этом случае требуется совершенствование математического аппарата.

На основе известных моделей методологии QFD и проектов перспективного планирования качества продукции APQP разработана базовая онтология и предложена комплексная многоуровневая модель системного планирования качества продукции и технологических процессов. В модели определяются целевые значения и приоритеты характеристик продукции и параметров процессов.

3 Разработка методики определения целевых значений и приоритетов характеристик продукции/компонентов и параметров технологических процессов

3.1 Разработка математической модели развертывания функции качества с использованием матричных вычислений

Основным элементом методологии QFD является развертывание требований потребителя для совершенствования ключевых характеристик, отвечающих ожиданиям потребителя. То есть речь в данном случае идет о подготовке производства к выпуску нового изделия. Традиционным решением задачи планирования качества продукции и услуг в рамках методологии QFD является последовательное ранжирование характеристик в соответствии с полученным приоритетом (результат) с учетом важности требований потребителя (исходные данные) [32].

В этом случае абсолютное значение приоритета характеристики Θ_j на первом уровне QFD (Рисунок 3.1) рассчитывается по формуле:

$$\Theta_j = \sum_{i=1}^{i=k} (P_i \cdot H_{ij}), \quad (3.1)$$

где H_{ij} – коэффициент взаимосвязи характеристики j и требования i , P_i – важность i -того требования для потребителя, k – количество требований потребителя, n – количество характеристик.

В развернутом виде, абсолютное значение приоритета j -ой характеристики продукции на первом уровне QFD рассчитывается по формуле:

$$q1_j = \sum_{i=1}^n (p1_i \cdot h1_{ij}) = p1_1 h1_{1j} + p1_2 h1_{2j} + \dots + p1_n h1_{nj}, \quad (3.2)$$

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.

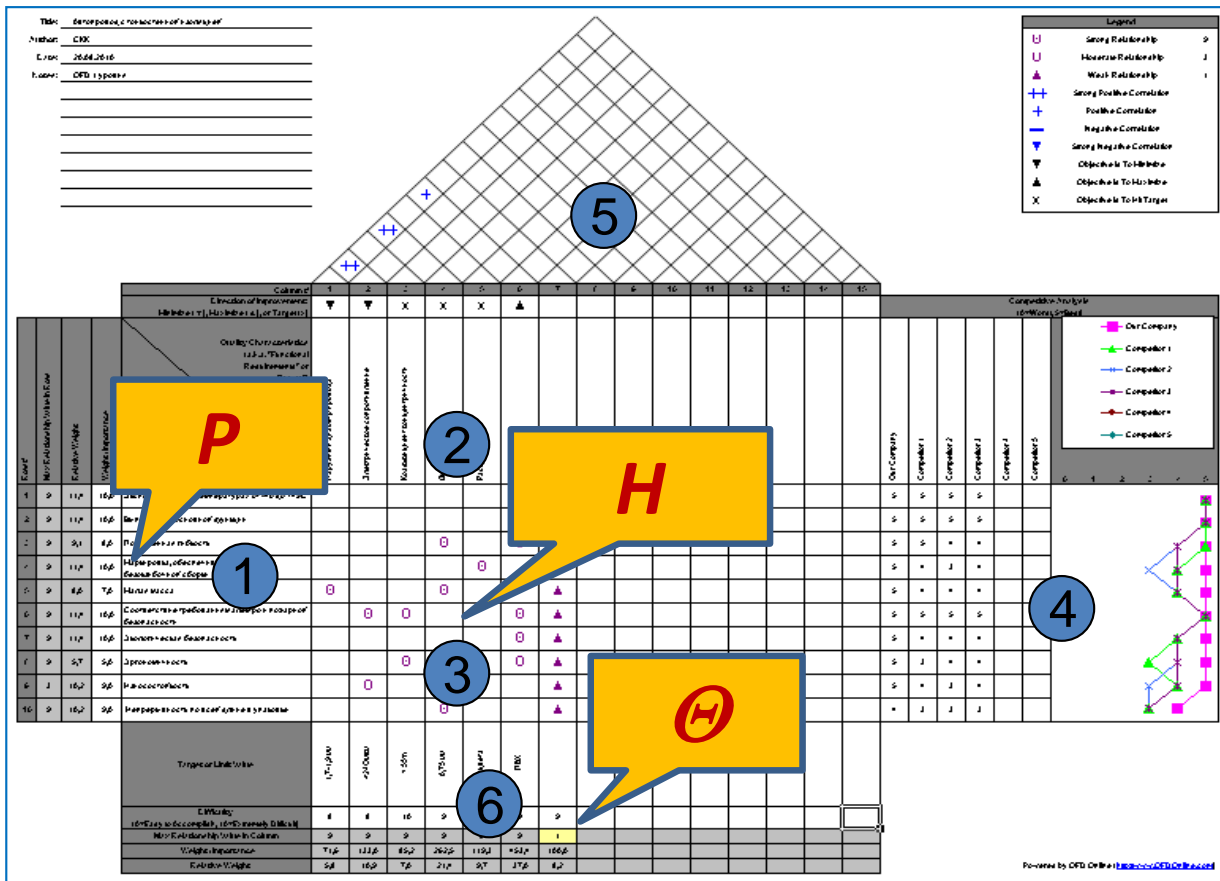


Рисунок 3.1 – Элементы математической модели QFD на основе структуры дома качества HoQ

Абсолютное значение приоритета j -ой обобщенной характеристики продукции с учетом конкурентной среды рассчитывается по формуле:

$$qI^{**j} = \sum_{i=1}^n (p1_i \cdot k_i \cdot h1_{ij}) = p1_1 k_1 h1_{1j} + p1_2 k_2 h1_{2j} + \dots + p1_n k_n h1_{nj} , \quad (3.3)$$

где k_i – относительное значение важности i -го требования для конкурентоспособности.

На 2-4 уровнях QFD расчет повторяется по формуле 3.2, так как информация о конкурентной среде используется только на 1 уровне. При этом в качестве столбца p выступают значения приоритетов, полученные на предыдущем этапе.

Используя матричное преобразование результат, получаемый по формуле (3.1), может быть получен по формуле:

$$\Theta = H^T \cdot P. \quad (3.4)$$

где H^T – транспонированная матрица взаимосвязей требований и обобщенных характеристик, P – вектор относительных значений важности требований потребителей.

Абсолютное значение приоритета j -ой обобщенной характеристики продукции на 1 уровне QFD с использованием матричных преобразований рассчитывается по формуле:

$$\Theta_1 = H_1^T \cdot P. \quad (3.5)$$

где H_1^T – транспонированная матрица взаимосвязей требований и обобщенных характеристик, размером $m \times n$, P – n -мерный вектор относительных значений важности требований потребителей, n – количество требований потребителей, m – количество обобщенных характеристик продукции.

С учетом конкурентной среды вектор абсолютных значений приоритетов обобщенных характеристик продукции в матричном виде рассчитывается по формуле:

$$Q_1^* = H_1^T (\text{diag}(K) \cdot P), \quad (3.6)$$

где K – n -мерный вектор потребности к изменению на основе оценки конкурентоспособности.

Далее расчет повторяется с учетом важности (необходимости) для организации увеличения степени выполнения конкретного требования исходя из данных о профилях конкурентов, полученных в результате бенчмаркинга, а на следующем этапе – с учетом технической возможности изменения характеристик.

Аналогично проводится расчет на 2, 3, 4 уровне QFD:

$$\Theta_u = H_u^T \cdot \Theta_{u-1}, \quad (3.7)$$

где H_u^T – транспонированная матрица взаимосвязей на u -том уровнях 2, 3, 4 QFD, Θ_{u-1} – вектор приоритетов, полученные на 1, 2, 3 уровнях QFD.

В базовом варианте QFD имеется возможность использования дополнительной информации в ручном режиме при корректировке/уточнении приоритетов, однако точность и достоверность оценок зависит от точности и достоверности привносимой информации. В качестве подобной дополнительной

информации рассматривается: сложность изменения характеристик, взаимосвязь характеристик, информация технического бенчмаркинга.

Как уже было сказано в разделах 1.4, 2.5, имеются попытки использовать при реализации QFD дополнительную информацию. Так, например, в интегрированном методе [43, 44, 68] совместного использования QFD и FMEA используется вектор абсолютных значений приоритетов обобщенных характеристик продукции с учетом риска и конкурентной среды, который на первом этапе интегрированного метода рассчитывается по формуле:

$$Q_1 = \text{diag}(R_1) \cdot (H_1^T \cdot (\text{diag}(K) \cdot P)), \quad (3.8)$$

где R_l – m -мерный вектор оценки риска выполнения требований обобщенными характеристиками продукции.

Данная модель является единой для расчетов при реализации метода на всех уровнях и упрощает математическое восприятие и реализацию интегрированного метода структурирования и развертывания функции качества с учетом риска.

Так как данные о конкурентной среде используются только на первом этапе метода (QFD 1 уровня), векторы абсолютных значений приоритетов на последующих этапах метода (Q_2, Q_3, Q_4) рассчитываются по формуле (3.9).

Вектор абсолютных значений приоритетов характеристик компонентов продукции с учетом риска рассчитывается на 2-4 этапах метода по формуле:

$$Q_u = \text{diag}(R_u) \cdot (H_u^T \cdot \bar{Q}_{u-1}), \quad (3.9)$$

где H_u^T – транспонированная матрица взаимосвязей на 2, 3, 4 уровнях QFD, \bar{Q}_{u-1} – вектор относительных значений приоритетов, рассчитанных на 1, 2, 3 уровнях QFD, R_u – вектора оценки риска для 2, 3, 4 уровней QFD.

Совместное использование QFD и FMEA дает возможность для структурирования качества с учетом анализа рисков и охватывает все этапы разработки продукции, компонентов и технологического процесса, и включает анализ всех действий на рабочем месте, которые могут повлиять на качество конечной продукции. Однако, другая дополнительная информация, а также погрешность исходных данных не учитывается.

В настоящее время ведутся исследовательские работы по включению использования положений нечеткой логики (fuzzy logic) в QFD [99, 111, 120]. Наиболее широкое применение пока находят исследования в части оценки удовлетворенности потребителей и важности требования для конкурентоспособности (более подробно в главе 1). В то же время особенностью QFD является допущение того, что исходная информация является достоверной при том, что:

1) коэффициент взаимосвязи характеристики j и требования i в основной матрице H_{ij} дома качества проставляется командой с использованием шкалы 0, 1, 3, 9. В литературе встречается использование 7-точечной шкалы -9, -3, -1, 0, 1, 3, 9, однако в этом случае расчет приоритетов по формулам (3.1)-(3.3) придется корректировать: учитывать значения коэффициентов по модулю и затем принимать решение о знаке. В любом случае оценка взаимосвязи характеристик и требований по критериям «сильная», «средняя», «слабая» может не отражать реальную взаимосвязь и зависеть от компетентности эксперта/команды;

2) важность i -того требования для потребителя P_i устанавливается по 10-балльной или даже 5-балльной шкале, что в случае небольшого количества требований приводит к уравниванию важности. Невозможность полноценного маркетингового исследования, недостаточное количество потребителей в выборке может приводить к погрешности или изменчивости оценок до 30%.

3) Аналогично предыдущему пункту относительное значение важности i -го требования для конкурентоспособности k_i , а также техническая бенчмаркингвая информация не всегда обладает необходимой достоверностью несмотря на то, что достоверность является базовым принципом проведения бенчмаркинга и бенчмаркинг должен проводиться на основе точных фактических данных, точного анализа и точного изучения процесса, а не на базе интуиции.

4) При заполнении матрицы H дома качества 2, 3, 4 уровня теоретически лучше использовать знание о физических моделях взаимосвязи характеристик и параметров, однако на практике она заполняется командой или экспертом

аналогично матрице на 1 уровне (пункт 1). При этом информация о взаимосвязи существенно огрубляется.

5) Дополнительную информацию возможно в ручном режиме использовать при корректировке/уточнении приоритетов, однако точность и достоверность оценок зависит от точности и достоверности привносимой информации.

3.2 Разработка методики системного планирования качества на основе развертывания функции качества

Как было показано ранее (разделы 2.3, 2.4) в предлагаемой модели при использовании различного рода дополнительной информации достигается повышение точности получаемых результатов развертывания функции качества как в части оценки приоритетов, так и в части оценки целевых значений характеристик продукции и параметров процессов

На каждом этапе используется необходимая информация, привлекаются необходимые эксперты и ресурсы. Разработка инновационной продукции и технологий проводится единой командой (или взаимосвязанными командами) с использованием всей доступной информации, включая данные таблицы голоса потребителей (VOCT), собственную инженерную базу знаний, информацию по аналогам, бенчмаркингу, результаты экспериментов и т.д. На каждом этапе учитывается доступная дополнительная информация.

Предлагаемая методика системного планирования качества MTQFD реализуется параллельно с процессом проектирования конструкции и разработки технологического процесса. Тем самым обеспечивается взаимное использование результатов MTQFD и процесса проектирования и разработки.

На рисунках 3.2-3.5 последовательно представлены этапы реализации методики. Организационные вопросы, связанные с формированием команд, первоначальным определением необходимых ресурсов и экспертов, сбором и обработкой информации также решаются на первом этапе MTQFD. При формировании межфункциональной команды учитывается профессионализм и

типологические особенности экспертов [37, 57]. Алгоритм многоуровневой методики MTQFD приведен в приложении Б и отталкивается от проведенного анализа и существующих практик (73, 79, 176, 178-180).

На первом этапе MTQFD (Рисунок 3.2, Приложение Б1) изучается голос потребителя и определяются приоритеты технических характеристик продукции методом QFD 1 уровня с учетом различного рода дополнительной информации.

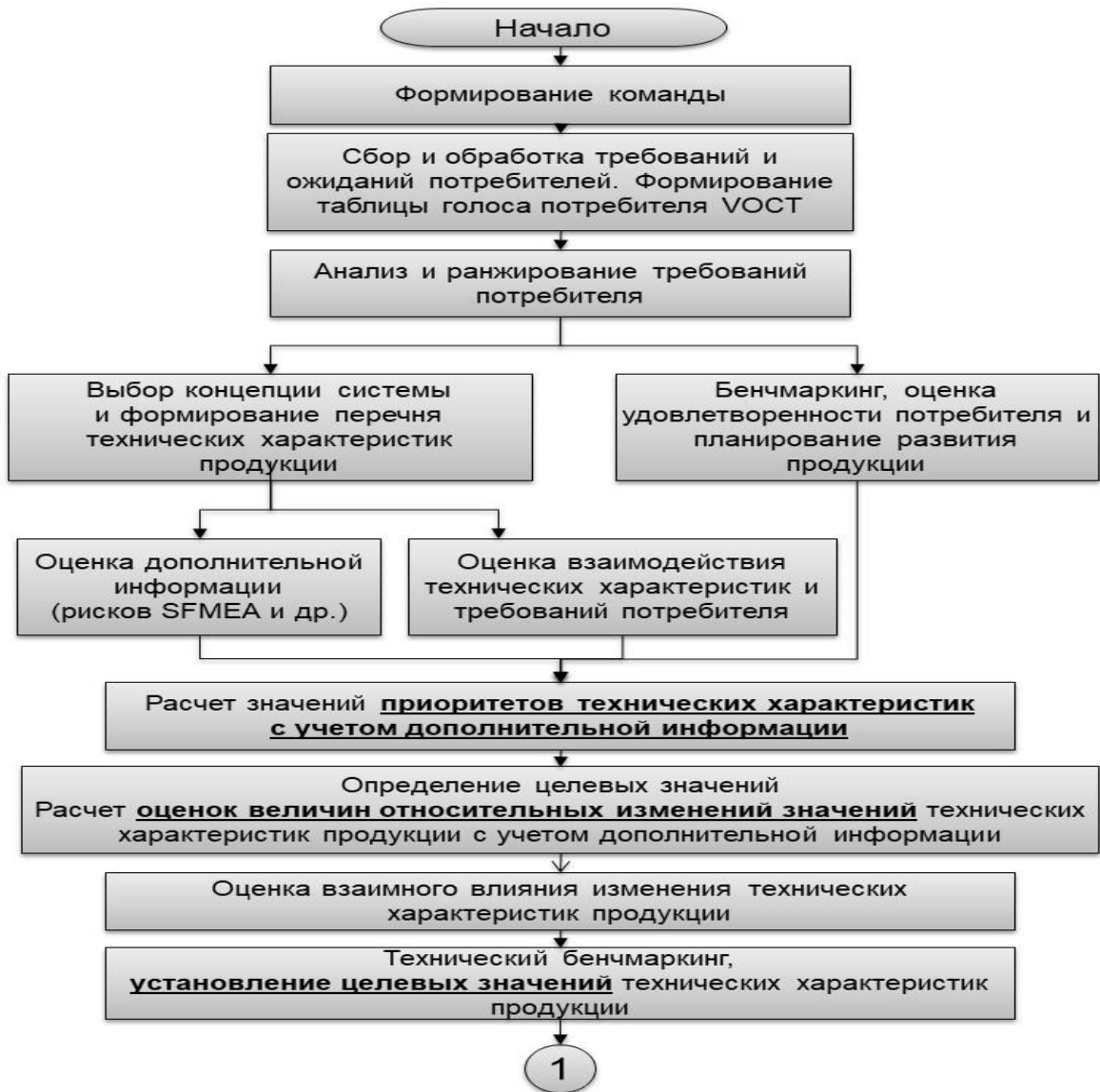


Рисунок 3.2 - Первый этап MTQFD. Определение приоритетов и целевых значений технических характеристик продукции с учетом дополнительной информации

Формирование таблицы голоса потребителя VOST, ранжирование требований, бенчмаркинг и оценка удовлетворенности потребителя осуществляется на основе модели Кано с учетом различий требований для разных

сегментов рынка. Концепция конструкции и обобщенные характеристики предлагаются командой экспертов.

При расчете приоритетов обобщенных характеристик продукции в методе учитывается важность требования потребителя, влияние характеристик на требования, результаты бенчмаркинга и анализа конкурентной среды (QFD 1 уровня) и дополнительная информация о возможности и необходимости изменения величин технических характеристик, о погрешности исходных данных, о взаимосвязи характеристик и т.д. На основе полученных приоритетов и оценок величин относительных изменений значений технических характеристик, обобщенные характеристики продукции ранжируются и устанавливаются их целевые значения для общего технического задания на проектирование продукции.

На втором этапе MTQFD (Приложение Б2) структурируются и определяются приоритеты технических характеристик компонентов (систем/подсистем) с учетом дополнительной информации. Команда экспертов разрабатывает уточненную конструкцию продукции и соответствующий перечень компонентов и характеристик, которые реализуют определенные на первом этапе обобщенные характеристики продукции.

При расчете приоритетов характеристик компонентов учитываются приоритеты обобщенных характеристик продукции, влияние характеристик компонентов на обобщенные характеристики продукции (QFD 2 уровня) и дополнительная информация о погрешностях исходных данных, возможности и необходимости изменения характеристик компонентов, взаимосвязи характеристик компонентов. На основе полученных приоритетов, характеристики компонентов ранжируются и устанавливаются их целевые значения для технического задания на проектирование компонентов продукции.

На третьем этапе MTQFD (Приложение Б3) структурируются технологические операции и определяются приоритеты параметров технологических операций с учетом дополнительной информации. Команда экспертов разрабатывает технологический процесс и перечень параметров

технологического процесса, которые реализуют определенные на первом и втором этапах характеристики компонентов продукции и конечной продукции.

При расчете приоритетов параметров операций технологического процесса в MTQFD учитываются приоритеты характеристик компонентов продукции, влияние параметров операций технологического процесса на характеристики компонентов продукции (QFD 3 уровня) и дополнительная информация. На основе приоритетов, параметры технологического процесса ранжируются и устанавливаются их целевые значения для технического задания на разработку технологического процесса.

На четвертом этапе MTQFD (Приложение Б4) решается задача повышения качества на рабочих местах, структурируются операции обеспечивающих процессов и определяются приоритеты и целевые значения параметров обеспечивающих процессов на рабочих местах с учетом дополнительной информации. Команда экспертов разрабатывает вспомогательные (обеспечивающие) процессы и действия, осуществляемые на рабочих местах (деятельность не только операторов, но и наладчиков, контролеров, ремонтников и других вспомогательных служб). Формируется перечень параметров действий, осуществляемых на рабочих местах (и не входящих в технологический процесс), которые обеспечивают выполнение параметров операций технологического процесса, определенные на третьем этапе и реализацию технических характеристик компонентов продукции и продукции в целом.

При расчете приоритетов параметров обеспечивающих действий, осуществляемых на рабочих местах, учитываются приоритеты параметров вспомогательных процессов, влияние параметров действий на параметры операций технологического процесса (QFD 4 уровня) и дополнительная информация. На основе приоритетов, параметры действий, осуществляемых на рабочем месте, ранжируются и устанавливаются их целевые значения, разрабатываются мероприятия по улучшению рабочих мест, оптимизируются действия, осуществляемые на рабочем месте, которые не добавляют изделию ценность, без

потери выполнения требований и без риска образования несоответствующей продукции.

Общий алгоритм методики MTQFD состоит из 6 основных блоков (Рисунок 3.3) и включает определение приоритетов с использованием расчетов, общепринятых в QFD (блок 4) и расчет оценок относительных изменений характеристик и параметров (блок 5).



Рисунок 3.3 – Алгоритм методики MTQFD определения приоритетов и целевых значений характеристик и параметров

Алгоритм включает подготовительный шаг получения данных, шаги ввода исходной и дополнительной информации, классический расчет приоритетов, расчета оценок изменения характеристик и возможность при необходимости

учесть дополнительную информацию. Алгоритм соответствует разработанной процессной модели и требованиям возможности автоматизации.

3.3 Разработка математической модели блока определения целевых значений предлагаемой методики системного планирования качества

В реальных рыночных, производственных и конкурентных условиях в методике необходимо использовать большое количество требований и ожиданий, а также характеристик продукции и параметров процессов. Конструкторская и технологическая документация на разработку авиационной техники включает тысячи характеристик и параметров. Поэтому в алгоритме используется матричное исчисление [82, 162].

Первоначальный расчет приоритетов в разработанном методе реализуется с использованием матричных вычислений и охватывает все этапы разработки продукции, компонентов и технологического процесса, и включает анализ всех действий на рабочем месте, которые могут повлиять на качество конечной продукции.

В связи с особенностями поставленной задачи и современными возможностями компьютерной обработки результатов предлагается для решения использовать метод решения матричного уравнения (3.10).

$$\bar{H} \cdot \delta\Theta = \delta\bar{P}, \quad (3.10)$$

где $\delta\Theta$ – n-мерный вектор относительных отклонений параметров состояния, $\delta\bar{P}$ – k-мерный вектор относительных отклонений признаков состояния, \bar{H} – матрица размером (k×n) коэффициентов взаимосвязи признаков состояния и параметров состояния.

На первом уровне MTQFD признаками состояния является информация об удовлетворенности потребителей по результатам бенчмаркинга конкурентоспособности, параметрами состояния являются обобщенные

технические характеристики продукции, реализующие установленные требования/ влияющие на удовлетворенность потребителей.

На втором уровне MTQFD признаками состояния является вектор относительных отклонений параметров состояния 1 уровня, параметрами состояния являются технические характеристики компонентов продукции, влияющие на реализацию обобщенных технических характеристик продукции и в итоге удовлетворенность потребителей.

На третьем уровне MTQFD признаками состояния является вектор относительных отклонений параметров состояния 2 уровня, параметрами состояния являются параметры технологического процесса, реализующие влияющие на реализацию технических характеристик компонентов и обобщенных технических характеристик продукции и в итоге удовлетворенность потребителей.

На четвертом уровне MTQFD признаками состояния является вектор относительных отклонений параметров состояния 3 уровня, параметрами состояния являются параметры вспомогательных производственных процессов, влияющие на реализацию параметров технологического процесса, тем самым влияющие на реализацию технических характеристик компонентов и продукции и в итоге удовлетворенность потребителей.

Используя матричные преобразования и распространенный метод наименьших квадратов по формуле (3.11) получаем не только принятые в QFD оценки приоритетов изменения технических характеристик, но и другие оценки направлений дальнейшего совершенствования.

$$\delta\Theta = (H^T sp \cdot H)^{-1} H^T sp \cdot \delta P, \quad (3.11)$$

где sp – весовая матрица погрешностей признаков состояния.

Таким образом, подход к определению характеристик продукции, услуг (QFD 1-2 уровня) и параметров процессов (QFD 3-4 уровня), основанный на матричном подходе позволяет существенно упростить решение практической задачи планирования качества и повысить достоверность и устойчивость результатов к погрешностям исходных данных и практически получить основу для цифровых двойников продукта, комплектующих, технологических и

производственных процессов. Разработанный метод необходим конструкторам, технологам и специалистам по качеству для быстрой и эффективной реализации требований потребителей к разрабатываемой и выпускаемой продукции.

Алгоритм разработанного метода, реализованный в программном модуле в среде MathCAD и Python, приведен в подразделе 3.3.

Точность МНК-оценки зависит от структуры матрицы H , количественных характеристик P . В условиях существенных погрешностей коэффициентов ЛММ (матрица взаимосвязей H), которые могут составлять до 10..20% (в связи с заменой физической модели взаимосвязи экспертными оценками), МНК-оценка смещена и сильно разбросана. Разброс МНК-оценки может превосходить само значение относительного изменения параметра состояния. Кроме того, в условиях существования реальной возможности грубых ошибок в измерениях признаков состояния (для первого уровня QFD погрешность маркетинговых данных может составлять 10..50% при малых выборках) применение МНК требует использования специальных методов предварительной отбраковки.

В случаях, когда количество характеристик превышает количество требований, целесообразно использовать алгоритм повышения устойчивости с учётом информации о погрешностях, а также дополнительной информации о возможных значениях относительных изменений параметров состояния (характеристик) с учётом рисков, корреляционных взаимосвязей характеристик («крыша» НоQ).

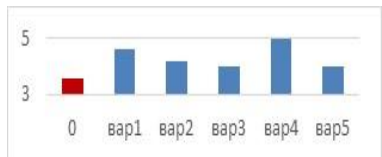
Проведены тестовые расчеты оценок необходимых изменений характеристик методом МНК. Исходные данные и полученные результаты представлены в Таблице 2.2.

Смоделирована матрица взаимосвязи характеристик и требований H в шкале 0-0,1-0,3-0,9.

Смоделированы исходные оценки удовлетворенности P_0 и 5 вариантов желаемых результатов $P_1..P_5$ по 5-балльной шкале. Вектора $dP_1..dP_5$ получены как степень изменения исходной оценки удовлетворенности.

Таблица 3.1 - Пример расчетов оценки изменений характеристик для повышения удовлетворенности потребителей

Требование	H				Исх. оценка удовлетв	Желаемая оценка удовлетворенности, варианты					Желаемое изменение				
						1	2	3	4	5	dP1	dP2	dP3	dP4	dP5
треб1	0,1	0,9	0	0,1	4	5	4	4	5	4	0,25	0	0	0,25	0
треб2	0	0,3	0,1	0	3	4	4	3	5	4	0,33	0,33	0	0,67	0,33
треб3	0,3	0,1	0	0,9	5	5	5	5	5	4	0	0	0	0	-0,2
треб4	0	0,9	0,1	0,1	3	4	4	3	5	4	0,33	0,33	0	0,67	0,33
треб5	0,9	0,1	0	0,9	3	5	4	5	5	4	0,67	0,33	0,67	0,67	0,33
Средняя оценка					3,6	4,6	4,2	4	5	4					
Изменения характеристики		хар1	хар2	хар3	хар4										
	1	1,1269	0,17354	2,49254	-0,4008										
	2	0,54701	-0,0285	3,5921	-0,176										
	3	0,9401	-0,0569	0,51754	-0,3519										
	4	1,1269	0,17354	5,82587	-0,4008										
	5	0,87372	-0,0182	3,69567	-0,5057										




Был проведен расчет с преобразованиями в Excel и в MathCad. Использование матричных вычислений и специализированной программы в разы упрощает решение задачи.

Ниже приведен расчет для 1 варианта желаемого улучшения.

$$\underline{H} := \begin{pmatrix} 0.1 & 0.9 & 0 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.1 & 0 & 0.9 \\ 0 & 0.9 & 0.1 & 0.1 \\ 0.9 & 0.1 & 0 & 0.9 \end{pmatrix} \quad P0 := \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \\ 5 \\ 3 \\ 3 \end{pmatrix} \quad P1 := \begin{pmatrix} 5 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \quad dP1 := \frac{P1 - P0}{P0}$$

$$dP1^T = (0.25 \ 0.333 \ 0 \ 0.333 \ 0.667)$$

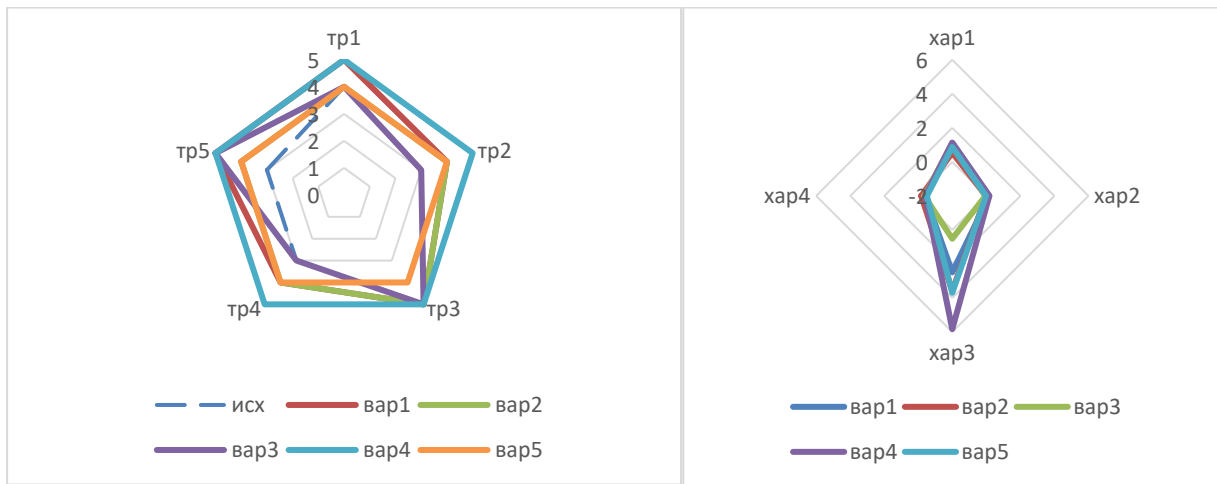
$$d\Theta := (H^T H)^{-1} H^T dP1$$

$$d\Theta^T = (1.127 \ 0.174 \ 2.493 \ -0.401)$$

Для получения необходимых изменений удовлетворенности изменения характеристик должны иметь значения $d\theta$. То есть требуется увеличить характеристики 1-3 и уменьшить характеристику 4.

Дополнительной возможностью применения матричных вычислений для оценки изменения характеристик является возможность быстрой проработки нескольких альтернативных решений.

На рисунке 3.4 представлена визуализация вариантов удовлетворенности и соответствующих изменений характеристик. Во всех случаях наибольшее значение имеет характеристика 3.



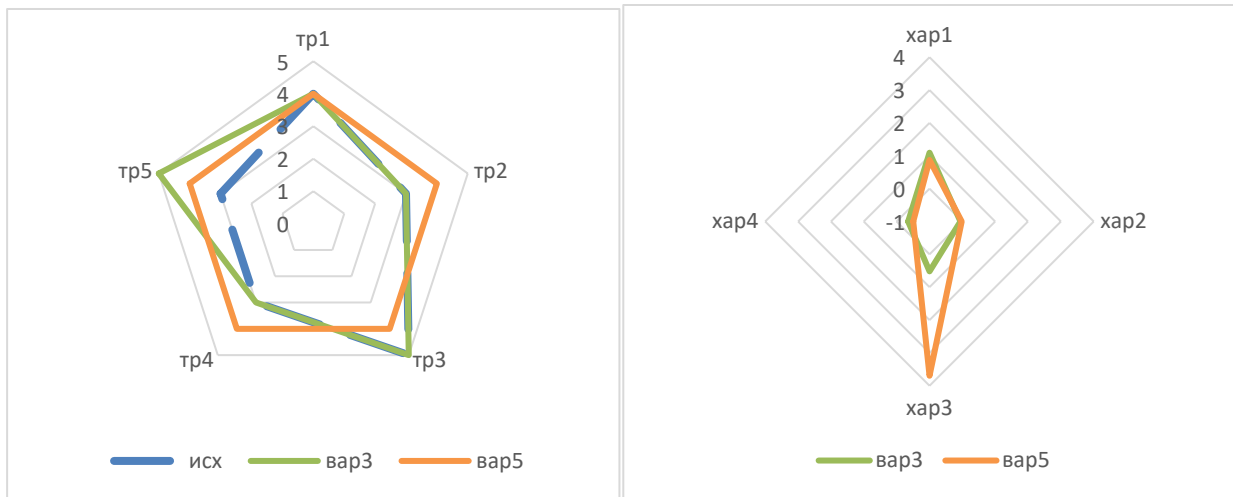
а) профиль качества

б) оценка изменений характеристик

Рисунок 3.4 – Визуализация изменения оценок удовлетворенности и оценки целевых значений характеристик методом МНК для всех вариантов

В приведенных выше вариантах 3 и 5 рассматривается улучшение средней оценки удовлетворенности с исходной 3,6 до 4. В варианте 3 это планируется за счет прорывного улучшения по требованию 5, а в варианте 5 за счет равномерного улучшения по требованиям 2, 4, 5 при отступлении в выполнении требования 3.

Данное улучшение восприятия потребителем возможно различными усилиями с точки зрения изменения характеристик (таблица 3.1, рисунок 3.4). В варианте 5 необходимо значительное увеличение характеристики 3 и небольшие изменения характеристик 1 и 4. В варианте 3 не требуется такого изменения характеристики 3. Это знание может быть полезно в случае отсутствия технических решений по изменению характеристики или в случае большой стоимости этого изменения.



а) профиль качества

б) оценка изменений характеристик

Рисунок 3.5 – Визуализация изменения оценок удовлетворенности и оценки целевых значений характеристик методом МНК для вариантов 3 и 5

Таким образом, показаны возможности и преимущества применения матричных вычислений для оценки целевых значений характеристик.

3.4 Разработка программного модуля предлагаемой методики системного планирования качества

Для реализации представленной методики MTQFD разработан прототип и программный модуль в системах Mathcad и Python. Преимуществом реализации метода в данных системах является открытость используемых данных и получаемых результатов: данные и результаты представляются непосредственно на экране в режиме реального времени [176]. 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 [176]. Описание программного модуля приведено ниже. Возможности использования данного модуля в качестве элемента гибридной экспертной системы приведено в разделе 4.4.

При параметрической диагностике выбор методов определения показателей, последовательность применения методов и эффективность приложения их в целом в значительной степени зависят от информации о параметрах состояния, в частности о значительно изменившихся параметрах состояния.

На рисунках 3.6-3.7 приведены выдержки из прототипа в Mathcad и программного модуля на python.

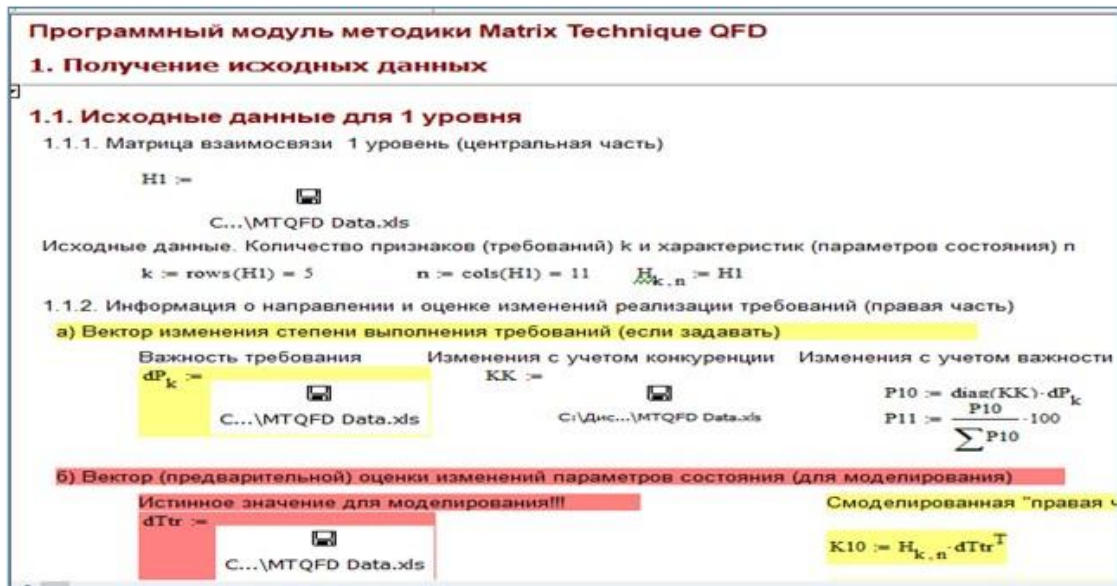


Рисунок 3.6 – Прототип программного модуля методики MTQFD (выдержка)

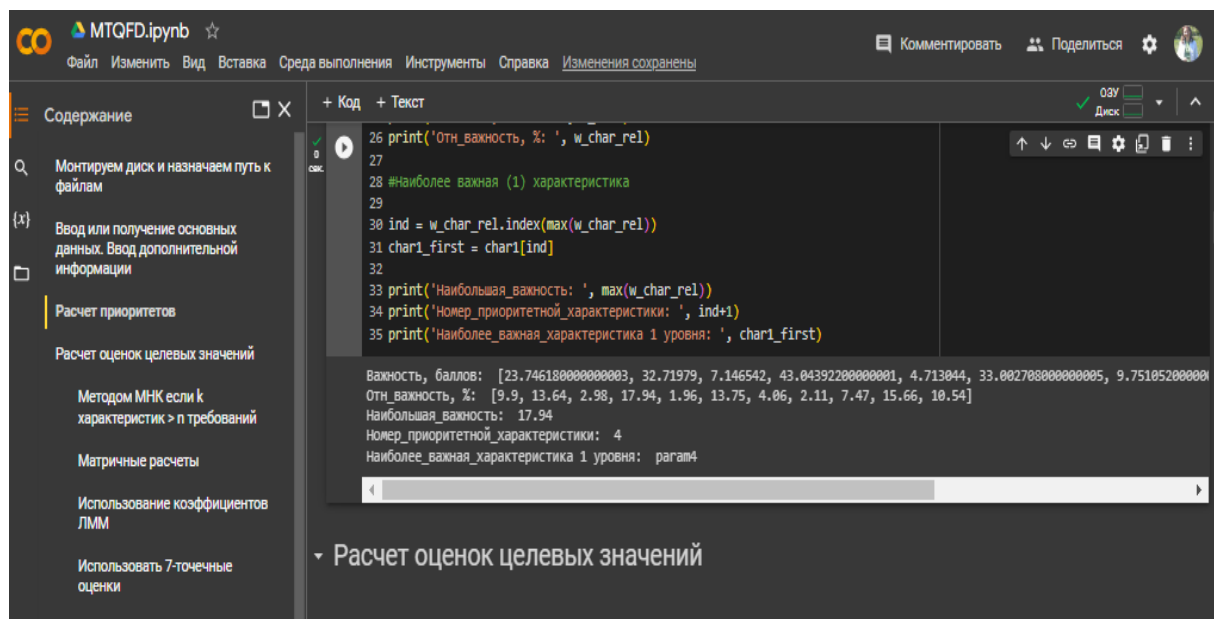


Рисунок 3.7 – Программный модуль методики MTQFD (выдержка)

Листинг программного модуля реализации методики MTQFD приведен в Приложении В.

3.5 Выводы по главе 3

1. Проведен анализ математической модели развертывания функции качества QFD, определены ограничения использования дополнительной информации и невозможность использования информации о погрешности исходных данных. Показано, что математическая модель QFD не учитывает погрешности исходной информации. Метод помогает командной работе, обучению, повышению понимания процесса, однако точность и достоверность результатов зависит от многих факторов.

2. Разработана методика системного планирования качества продукции на основе развертывания функции качества, определяющая необходимые источники информации (базы знаний).

3. Разработана методика планирования качества MTQFD, предусматривающая как расчет приоритетов стандартным образом, так и расчет оценок целевых значений характеристик и уточнения приоритетов с учетом различного рода дополнительной информации (возможные изменения характеристик, погрешности в исходных данных).

4. Разработана математическая модель методики MTQFD с использованием матричных вычислений.

5. Разработан прототип и программный модуль реализации методики MTQFD с использованием матричных вычислений.

4 Оценка адекватности и исследование разработанной методики в авиационной промышленности

4.1 Оценка адекватности разработанной методики на примере авиационного двигателя

Адекватность разработанного метода была исследована на примере существующей широко используемой модели технической системы:

- 1) объект исследования – турбовальный авиационный двигатель (ТВД);
- 2) тип двигателя ТВД ТВ-7-117.

Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) является одним из наиболее сложных и ответственных элементов летательного аппарата. ГТД является подклассом воздушно-реактивных двигателей, которые работают на топливе, для сжигания которого используется кислород атмосферного воздуха. В современной авиации применяются различные схемы ГТД, одной из которых является турбовальный двигатель со свободной турбиной ТВ 7-117С для ближнемагистрального пассажирского самолета ИЛ-114.

Основные достоинства ГТД: низкий удельный расход топлива на всех эксплуатационных режимах, малый удельный вес, высокая надежность, большой ресурс, низкий уровень эмиссии загрязняющих воздух веществ, простота обслуживания и низкая стоимость ремонта.

Математическое моделирование и результаты испытаний ГТД широко используются для создания цифровых двойников и решения задач: доводка ГТД по основным данным и термогазодинамическим параметрам, диагностика состояния ГТД, идентификация динамических характеристик ГТД, контроль и отладка режимов работы двигателя и т.д. [179-183].

Для исследования выбрана линейная математическая модель (ЛММ) ГТД ТВ 7-117С, разработанная Самарским университетом и ОДК Климов. Модель содержит коэффициенты влияния на максимально продолжительном режиме (таблица 4.1).

Признаки и параметры состояния, учитываемые в выбранной ЛММ ГТД ТВ 7-117С приведены в таблицах 4.2, 4.3.

Таблица 4.1 - Линейная математическая модель (коэффициенты влияния) ГТД ТВ 7-117С на максимально продолжительном режиме

	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
przn1	0,033	0,059	-0,001	0,062	0,000	0,874	0,002	0,002	0,106	0,037	0,003
przn2	-0,877	-1,187	0,011	-1,595	-0,001	0,414	-0,054	-0,089	0,194	1,360	-0,793
przn3	-1,404	-1,899	-1,093	-2,560	-0,002	1,538	0,585	-0,139	-0,383	2,350	-1,275
przn4	-0,288	-0,505	-0,009	-0,531	0,000	1,080	-0,018	-0,027	-0,950	-0,328	-0,261
przn5	-1,169	-1,520	-0,022	-2,077	-0,948	2,044	1,112	0,661	-1,337	1,929	-1,831

Таблица 4.2 - Признаки состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С

№	Измеряемый параметр (признак состояния)	Название в ЛММ
1	Gvx – приведенный расход воздуха на входе в двигатель	przn1
2	Tz – приведенная заторможенная температура газов перед свободной турбиной	przn2
3	G – приведенный часовой расход топлива	przn3
4	П – степень сжатия воздуха в компрессоре	przn4
5	Ne – приведенная мощность на валу	przn5

Таблица 4.3 - Параметры состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С

№	Параметр состояния	Название в ЛММ
1	S – коэффициент восстановления полного давления в затурбинном диффузоре	param1
2	Nu – КПД компрессора	param2
3	Skc - коэффициент восстановления полного давления в камере сгорания	param3
4	Nutk - КПД турбины компрессора	param4
5	Nust - КПД силовой турбины	param5
6	Agk - коэффициент изменения приведенного расхода воздуха на входе в компрессор	param6
7	Svx - коэффициент восстановления полного давления во входном устройстве	param7
8	Sвых - коэффициент восстановления полного давления на выходе	param8
9	Vокс ст - коэффициент отбора воздуха из-за осевой части компрессора для охлаждения турбины	param9
10	Vктк - коэффициент отбора воздуха из кожуха камеры сгорания для охлаждения турбины компрессора	param10
11	Gzст - пропускная способность сопловых аппаратов турбин	param11

Отклонения признаков состояния (таблица 4.5) смоделированы с учетом информации о возможных отклонениях параметров состояния, СКО параметров состояния и СКО признаков состояния (таблицы 4.4, 4.5)

Таблица 4.4 - Дополнительная информация о параметрах состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С

Параметр	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
Отклонение	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	-10
СКО	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3	0,5	3

Таблица 4.5 - Дополнительная информация о признаках состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С

Признак состояния	Отклонение признака состояния	СКО
przn1	1.03	0,5
przn2	9.87	0,5
przn3	8.92	0,3
przn4	-6.89	0,3
przn5	4.94	0,3

По выбранной модели произведен расчет стандартным методом QFD и разработанным методом. Результаты расчета стандартным методом QFD на основе выбранной ЛММ и отклонений признаков состояния приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Определение приоритетов параметров состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С с использованием стандартных расчетов QFD

Оценки	param 1	param 2	param 3	param 4	param 5	param 6	param 7	param 8	param 9	param1 0	param1 1
Приоритет	-24.94	-32.62	-9.69	-45.12	-4.71	21.36	10.3	1.34	-1.45	46.21	-26.44
Модуль приоритет а	24.94	32.62	9.69	45.12	4.71	21.36	10.3	1.34	1.45	46.21	26.44
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	1	4
Знак	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-

В результате выявлены параметры с наибольшими приоритетами: 2, 4, 10. Полученные результаты не отражают смоделированных отклонений. Значение имеет сама линейная модель, в то время как смоделированные отклонения признаков в стандартном расчете QFD не проявили себя.

Расчет разработанным методом проведен с использованием разработанного программного модуля.

Результаты расчетов, полученные с использованием разработанного метода представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Определение приоритетов и целевых значений параметров состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С с использованием MTQFD

Оценки	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
Отклонение	0,28	0,541	0,429	0,552	-0,603	0,262	0,503	0,521	9,558	0,386	-9,31
Модуль отклонения	0,28	0,541	0,429	0,552	0,603	0,262	0,503	0,521	9,558	0,386	9,31
Приоритет, %	0,01	0,32	0,59	0,05	1,06	0,41	0,96	0,87	47,92	1,82	45,98
Ранг	10	5	8	4	3	11	7	6	1	9	2
Знак	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-

Наибольшие приоритеты получены для параметров 9, 11 (сумма относительных приоритетов данных параметров составляет более 90%). Полученные отклонения этих параметров отражают смоделированные значения с учетом влияния линейной модели и других параметров.

Для анализа адекватности метода при использовании экспертной модели со шкалой, принятой в QFD, было проведено дополнительное исследование.

Изначальная линейная модель технических взаимосвязей (таблица 4.1) преобразована к виду, принятому в QFD, с 7-точечной шкалой, учитывающей отрицательные значения взаимосвязей (таблица 4.8).

Таблица 4.8 - Экспертная модель взаимодействия ЛММ ГТД ТВ 7-117С на основе коэффициентов влияния

	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
prizn1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
prizn2	-0,3	-0,3	0,0	-0,3	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,3	-0,3

prizn3	-0,3	-0,9	-0,3	-0,9	0,0	0,3	0,3	-0,1	-0,1	0,9	-0,3
prizn4	-0,1	-0,3	0,0	-0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	-0,3	-0,1	-0,1
prizn5	-0,3	-0,3	0,0	-0,9	-0,3	0,9	0,3	0,3	-0,3	0,9	-0,9

По разработанной экспертной модели произведен расчет стандартным методом QFD и разработанным методом.

Результаты расчета стандартным методом QFD на основе экспертной ЛММ и отклонений признаков состояния приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Определение приоритетов параметров состояния разработанной экспертной ЛММ ГТД ТВ 7-117С с использованием стандартных расчетов QFD

Оценки	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
Приоритет	-4,978	-7,042	-6,882	-10,012	-4,693	5,504	2,589	0,070	1,135	13,229	-7,948
Модуль приоритета	4,978	7,042	6,882	10,012	4,693	5,504	2,589	0,070	1,135	13,229	7,948
Приоритет, %	7,77	10,99	10,74	15,62	7,32	8,59	4,04	0,11	1,77	20,64	12,40
Ранг	7	4	5	2	8	6	9	11	10	1	3
Знак	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-

Наибольшие приоритеты получили параметры 4, 10. В этом случае, так же, как и при расчете стандартным методом QFD с использованием ЛММ, содержащей коэффициенты взаимосвязи параметров и признаков состояния, не сильно сказалось влияние смоделированных отклонений.

При расчете разработанным методом MTQFD, результаты полностью отражают смоделированные отклонения.

Таблица 4.10 - Определение приоритетов и целевых значений параметров состояния экспертной ЛММ ГТД ТВ 7-117С с использованием MTQFD

Оценки	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
Отклонение	-0,475	-1,371	-0,729	-1,194	0,599	-0,373	0,088	-0,422	26,664	2,339	-10,733
Модуль отклонения	0,475	1,371	0,729	1,194	0,599	0,373	0,088	0,422	26,664	2,339	10,733
Приоритет, %	0,81	1,62	3,21	1,65	0,05	0,28	0,77	0,40	57,33	3,53	30,35
Ранг	8	4	6	5	7	10	11	9	1	3	2
Знак	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-

Рисунок 4.6 демонстрирует возможность принятия экспертной модели со шкалой QFD (индекс 1 соответствует результатам, полученным с использованием ЛММ на основе коэффициентов влияния, индекс 2 – с использованием экспертной ЛММ на основе 7-точечной шкалы). Разница в получаемых приоритетах небольшая.

Данные в Таблице 4.11 также демонстрируют адекватность применения метода для технической системы как с использованием ЛММ на основе коэффициентов влияния, так и с использованием ЛММ на основе экспертной шкалы. В отличие от результатов, полученных стандартным расчетом QFD (несколько характеристик имеют большие приоритеты), результаты, полученные разработанным методом, однозначно указывают на увеличение параметра 9 на 8-15% и на уменьшение параметра 11 на 8-10 % для достижения необходимых отклонений признаков состояния.

Таблица 4.11 - Оценка приоритетов, направления и величины изменения 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	1	4
MTQFD*	Оценка изменения 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
	Оценка изменения цз2	-0.475	-1.371	-0.729	-1.194	0.599	-0.373	0.088	-0.422	26.6	2.339	-10.73
	Ранг 2	8	4	6	5	7	10	11	9	1	3	2

*индекс 1 соответствует результатам, полученным с использованием ЛММ на основе коэффициентов влияния, индекс 2 – результатам, полученным с использованием экспертной ЛММ на основе 7-точечной шкалы, принятой в QFD

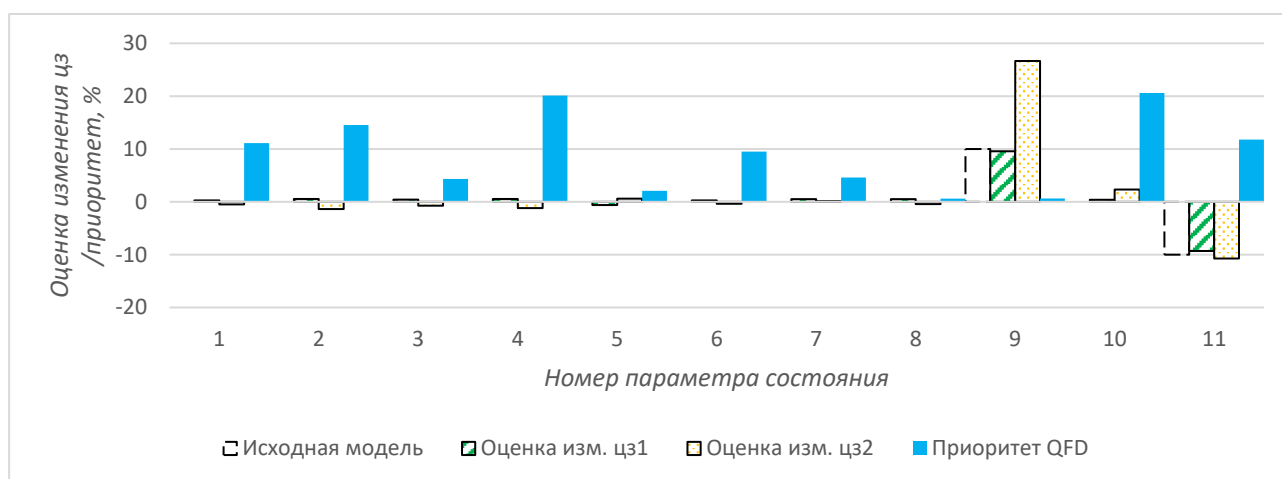


Рисунок 4.1 – Визуализация результатов оценки приоритета параметров состояния для ЛММ ГТД ТВ 7-117С

Таким образом, разработанный метод позволяет не только определить приоритет характеристик для матрицы взаимодействия, учитывающей отрицательные взаимосвязи, но и оценить направление и величину изменения характеристик.

Исследование устойчивости разработанной методики. Для оценки устойчивости метода, были смоделированы случайные погрешности правой части математической модели с использованием встроенной функции Mathcad на основе нормального закона распределения. Листинг формирования погрешностей приведен на рисунке 4.2.

Для полученных 100 вариантов признаков состояния проведен эксперимент и получены значения изменений параметров состояния встроенной функцией MathCad Isolve и разработанной методикой MTQFD. Полученные значения изменений параметров состояния приведены в Приложении Г.

Получение случайной погрешности признаков состояния

Вектор СКО признаков состояния

```
spk :=
... \MTQFD Data.xls
```

```
H1 :=
... \MTQFD Data.xls
```

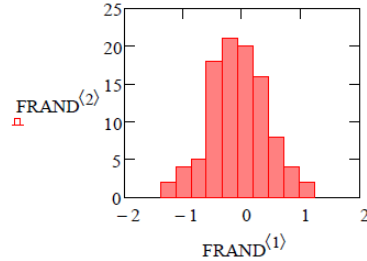
```
ORIGIN := 1
```

```
k := rows(H1) = 5
```

```
RAND :=
for i ∈ 1..k
  Xi ← (norm(100, 0, spki))
X
```

```
FRAND := histogram(10, RAND1)
```

```
MRAND :=
Y ← RAND1
for i ∈ 2..k
  Y ← (augment(Y, RANDi))
Y
```



```
rows(MRAND) = 100 cols(MRAND) = 5
```

```
... \MRAND_GTD_100.xls
```

```
MRAND|
```

Рисунок 4.2 – Моделирование погрешности признаков состояния ЛММ ГТД ТВ 7-117С

В таблице 4.12 приведены основные результаты оценки устойчивости метода для смоделированных 100 вариантов признаков состояния.

Таблица 4.12 - Основные результаты оценки устойчивости к погрешностям признаков состояния на примере ЛММ ГТД ТВ 7-117С

Значение	Параметр состояния										
	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
Среднее Isolve	-0.393	0.196	2.658	-0.611	-0.751	0.172	-0.670	0.549	6.371	4.821	-1.124
СКО Isolve	0.099	0.178	0.423	0.183	0.104	0.495	0.301	0.089	0.449	0.200	0.088
Без погрешности Isolve	-0.379	0.227	2.717	-0.583	-0.778	0.238	-0.672	0.572	6.449	4.86	-1.137
Среднее MTQFD	-0.086	-0.104	-0.058	-0.156	-0.006	-0.002	0.039	-0.004	7.596	0.228	-7.584
СКО MTQFD	0.029	0.035	0.018	0.052	0.007	0.016	0.012	0.006	0.333	0.072	0.310
Модель	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	-10
СКО задано	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	3.0	0.5	3.0
Ожидание	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Без погрешности MTQFD	-0.050	-0.061	-0.036	-0.091	-0.002	0.002	0.022	-0.004	7.645	0.130	-7.914

Гистограммы распределения оценок параметров состояния №9 и №11, полученных при исследовании устойчивости метода MTQFD представлены на рисунке 4.3.

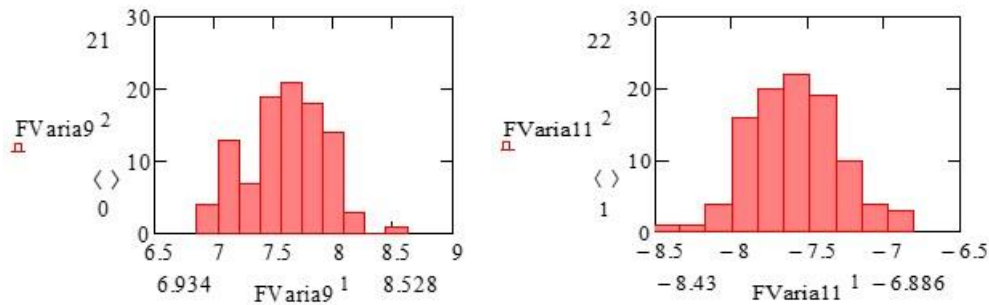


Рисунок 4.3 – Гистограммы распределения оценок параметров состояния №9 и №11, полученных при исследовании устойчивости метода MTQFD

Применение МНК имеет свои ограничения. Дальнейшее повышение эффективности определения целевых значений ключевых характеристик возможно за счет вовлечения специалистов по прикладной математике и разработке устойчивого метода решения обратной задачи планирования качества с использованием различной дополнительной информации.

4.2 Пример реализации предлагаемой методики системного планирования качества в кабельном производстве

Потребителями кабельно-проводниковой продукции могут являться как конечные пользователи, осуществляющие эксплуатацию, так и промежуточные потребители (производители жгутов, сборщики транспортных средств и т.д.) [73].

На основе анализа требований ГОСТов, технических условий в соответствии с моделью Кано разработана обобщенная структура требований потребителей кабельно-проводниковой продукции., которая является элементом онтологии качества проектирования кабельно-проводниковой продукции (рисунок 4.4). Базовыми, подразумеваемыми требованиями к продукции кабельной промышленности относятся такие как: соответствие требованиям электро-,

пожаро- и экологической безопасности (провода должны быть стойкими к повышению напряжения, не должны распространять горение, изоляция должна обладать тепловой стабильностью и т.д.) [176].

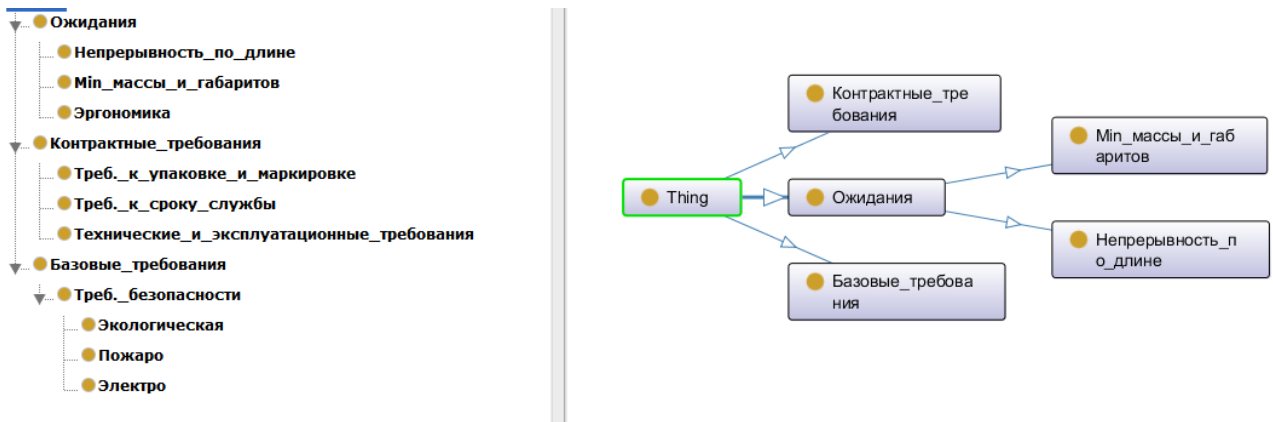


Рисунок 4.4 – Онтология на основе структуры требований и ожиданий потребителей кабельной продукции в соответствии с моделью Н.Кано

К контрактным относятся требования, сформулированные заказчиком в договоре на поставку или ТУ и включают конкретные технические и эксплуатационные требования, требования к сроку службы, упаковке и маркировке и т.д. Невысказанными зачастую остаются ожидания по эргономике, снижению массы и габаритов, непрерывности по длине и другие ожидания. При проведении исследования возможности реализации методики для кабельной продукции двойного назначения учитывались особенности продукции и разработанные ранее модели взаимосвязи QFD на 4 уровнях для провода ПВАМ-75 [43, 44, 68-70].

Провод – комплектующее изделие транспортной техники в составе жгутов, поэтому необходимо учитывать интересы (требования и ожидания) потребителей трех уровней: производитель жгутов проводов, сборочное предприятие, конечный потребитель [73]. Провод рассматривается как система, состоящая из компонентов: токопроводящая жила (ТПЖ), двухслойная изоляция с комбинированной расцветкой. Тара также рассматривалась как элемент системы провода, поставляемого потребителю, и учтены характеристики, определяющие выполнение требований к упаковке. Если необходимо учесть особые требования к упаковке, возможно рассматривать провод как систему – полностью упакованный провод в специальных контейнерах на поддонах.

Использованы математические модели, полученные совместно с Самарской кабельной компанией [43, 44, 68-70], включающие 14 требований, 21 характеристика провода (1 уровень), 28 характеристик компонентов (2 уровень), 41 параметр технологического процесса (3 уровень), 24 параметра производственного процесса (4 уровень) (Приложение Д). Работы, проведенные ранее с использованием разработанных моделей, в том числе в соавторстве, направлены на определение приоритетов при реализации классической методологии QFD, интеграции методологии QFD и анализа рисков FMEA и разработку решений для преобразования рабочих мест [47, 48, 73, 74, 75, 81, 85, 86].

Для реализации методики MTQFD определения целевых значений наибольший интерес представляют 1-3 уровни.

Для оценки и уточнения величин относительных изменений характеристик продукции на первом уровне MTQFD, кроме информации об изменчивости требований потребителей была задана дополнительная информация о возможности изменения целевого значения характеристик провода: увеличение срока службы, стойкости к тепловой усадке, деформации и повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке провода (ориентировочно на 10%) и снижения наружного диаметра, электрического сопротивления (ориентировочно на -10%).

Получен вектор оценок изменений целевых значений характеристик провода:

$$dT1 = [[-0.5 \quad 0.13 \quad 0.18 \quad 0.31 \quad -0.71 \quad 3. \quad -0.02 \quad -0.9 \quad -0.05 \quad -0.03 \quad -0.03 \quad \mathbf{2.96} \quad \mathbf{2.91} \quad \mathbf{2.91} \quad 0.77 \quad -0.73 \quad 1.11 \quad \mathbf{2.31} \quad \mathbf{-2.22} \quad \mathbf{-2.5} \quad -0.75]]$$

Для достижения необходимых изменений выполнения требований с учетом рыночной позиции и возможностей, следует улучшить характеристики провода: расцветка, стойкость к тепловой усадке, стойкость к деформации, стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке (+3% каждая). А также возможны изменения целевых значений характеристик строительная длина проводов (+2,3%), прилегание изоляции к ТПЖ (-2,2%), отделение изоляции от ТПЖ (-2,5%) (таблица 4.13).

Таблица 4.13 - Оценки изменения целевых значений характеристик провода

№ п/п	Характеристика продукции	Предполагаемые изменения характеристик на основе приоритетов, %	Оценка изменений целевых значений характеристик, %
1	Наружный диаметр провода	-10	
2	Электрическое сопротивление	-10	
3	Тип ТПЖ	0	
4	Тип изоляции	0	
5	Коэффициент концентричности	0	
6	Расцветка	0	3
7	Радиус эксплуатационного и монтажного изгиба	0	
8	Срок службы	10	
9	Динамическая прочность проводов на изгиб	0	
10	Напряжение переменного тока	0	
11	Повышение напряжения переменного тока 1 кВ в соляном растворе	0	
12	Стойкость к тепловой усадке	10	3
13	Стойкость к деформации	10	3
14	Стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке	10	3
15	Стойкость к пониженной температуре окружающей среды	0	
16	Длительность горения при одиночной прокладке	10	
17	Тип тары	0	
18	Строительная длина проводов	0	2,3
19	Прилегание изоляции к ТПЖ	0	-2,2
20	Отделение изоляции от ТПЖ	0	-2,5
21	Деформация изоляции при взаимодействии с тарой	0	

На основе полученных ранее приоритетов [68] предполагалась потребность изменения целевых значений характеристик: наружный диаметр провода, электрическое сопротивление (-10%) и срок службы, стойкость к тепловой усадке, стойкость к деформации, стойкость к повышенной рабочей температуре и тепловой перегрузке, длительность горения при одиночной прокладке (+10%).

На основе предлагаемой методики возможно повышение конкурентоспособности продукта за счет более малых изменений целевых значений.

При исследовании второго уровня на основе полученных ранее приоритетов и предположений необходимых изменений, получен вектор оценок изменений целевых значений характеристик компонентов провода:

$$dT2 = [[-1.03 \ -1.18 \ 1.45 \ 3.5 \ 0.26 \ -1.43 \ \mathbf{-3.85} \ -2.51 \ -1.38 \ -1.9 \ 1.31 \ \mathbf{3.92} \\ 1.46 \ 0.23 \ 3.11 \ -0.01 \ 1.33 \ 0.81 \ -1.43 \ 0.95 \ 0.86 \ 0.59 \ -1.5 \ -1.89 \\ 0.32 \ -1.09 \ -1.09 \ -1.5 \]]$$

Выполнение требований к продукту возможен в первую очередь за счет снижения количества выпучивания проволок (-3,85%) и повышения тепловой стабильности изоляции (+3,92%) (таблица 4.14).

Таблица 4.14 - Оценки изменения целевых значений характеристик компонентов провода

№ п/п	Характеристика компонента	Предполагаемые изменения характеристик на основе приоритетов, %	Оценка изменений целевых значений характеристик, %
1	Электрическое сопротивление ТПЖ	0	
2	Число проволок	0	
3	Количество пучков	0	
4	Диаметр проволок	0	
5	Шаг скрутки	0	
6	Относительное удлинение проволоки в скрутке	0	
7	Отсутствие выпучивания проволок	0	-3,85
8	Количество сварок, диаметр и длина сварного шва ТПЖ	0	
9	Толщина изоляции	5	
10	Электрическая прочность изоляции	0	
11	Удельное объемное эл.сопротивление изоляции	0	
12	Тепловая стабильность изоляции	10	3,92
13	Стойкость изоляции к истиранию	10	
14	Количество полос вспомогательного цвета	0	
15	Тип и стойкость красителя	0	
16	Габариты тары	0	
17	Максимальная длина провода на таре	0	
18	Плотная, рядовая намотка, отсутствие запутывания, западания витков	0	
19	Сочетание основного цвета и цвета полос	0	
20	Ширина полосы вспомогательного цвета	0	
21	Суммарная ширина полос расцветки	0	
22	Количество красителя в изоляции	0	
23	Диаметр проволок грубого волочения	0	
24	Относительное удлинение проволок волочения	0	
25	Диаметр медной катанки	0	
26	Относительное удлинение медной катанки	0	
27	Предел прочности медной катанки	0	
28	Удельное сопротивление медной катанки при 20С	0	

При исследовании третьего уровня на основе полученных ранее приоритетов и предположений необходимых изменений, получен вектор оценок изменений целевых значений параметров технологического процесса:

$$dT3 = [[-0. \quad 0. \quad -0. \quad -0. \quad -0. \quad -0. \quad 0. \quad -0.01 \quad -0. \quad -0. \quad 0.08 \quad -0.83 \\ 0.06 \quad -0.05 \quad \mathbf{2.8} \quad -0.93 \quad -0.93 \quad -0.18 \quad 0.2 \quad -0.31 \quad 0.13 \quad 0.03 \quad -0.01 \quad -0.05 \\ -0.05 \quad -0.05 \quad -0.02 \quad -0.02 \quad -0.02 \quad -0.02 \quad -0.09 \quad -0.09 \quad \mathbf{1.28} \quad \mathbf{1.27} \quad -0.01 \quad -0. \\ -0.02 \quad -0.01 \quad 0.03 \quad -0.14 \quad 0.03]].$$

Необходимы изменения параметров «повышение стабильности размеров глазков и роликов» (+2,8%), «стабильность размеров направляющих роликов» (+1,3%), «чистота материала (качество фильтрации)» (+1,3%) (таблица 4.15).

Таблица 4.15 - Оценки изменения целевых значений параметров процесса

№ п/п	Операция. Параметр технологического процесса	Предполагаемые изменения параметров на основе приоритетов, %	Оценка изменений целевых значений параметров, %
035. Грубое волочение.			
1	035. Стабильность размера волок		
2	035. Диаметр устанавливаемых волок		
3	035. Стабильность работы раскладчика		
4	035. Стабильность размеров тары		
5	035. Стабильность диаметра роликов		
6	035. Стабильность работы оборудования		
7	035. Температура СОЖ		
045. Многопроволочное волочение.			
8	045. Количество волок		
9	045. Стабильность размера волок		
10	045. Диаметр устанавливаемых волок	+10	
11	045. Стабильность свойств катанки		
12	045. Усилие намотки	+10	
13	045. Точность установки параметров оператором		
075. Скрутка.			
14	075. Натяжение на компенсаторе отдатчика	+10	
15	075. Провисание в пучке		
16	075. Стабильность размеров глазков и роликов		2,8
17	075. Стабильность размеров втулок на таре		
18	075. Точность установки параметров оператором		
19	075. Усилие намотки на приемный барабан		
20	075. Технологическая точность оборудования		
21	075. Шаг скрутки		
22	075. Стабильность размеров тары		
155. Наложение изоляции на ТПЖ.			
23	155. Натяжение на приемнике линии	+10	
24	155. Соотношение цвета и толщины слоев изоляции		
25	155. Точность установки цвета и рецептуры		
26	155. Стабильность системы контроля красителя		
27	155. Чистота экструдера после переналадок		
28	155. Стабильность системы управления линией		
29	155. Температура нагрева пластиката		
30	155. Температура охлаждения загрузочной зоны		
31	155. Температура охлаждения провода		
32	155. Стабильность размеров матрицы	+10	
33	155. Стабильность размеров направляющих роликов	+10	1,3
34	155. Чистота материала (качество фильтрации)	+10	1,3
35	155. Диаметр матрицы и дорна		
36	155. Стабильность размеров дорна		
37	155. Равномерность движения ТПЖ		
38	155. Соответствие скорости экструдера и тяги		
39	155. Равномерность подачи массы		
40	155. Стабильность влажности	+10	

При исследовании четвертого уровня на основе полученных ранее приоритетов и предположений необходимых изменений, получен вектор оценок изменений целевых значений параметров технологического процесса:

$$[[0.08 \ 0.19 \ \mathbf{1.87} \ 0.64 \ -0.41 \ \mathbf{2.31} \ -0.04 \ -0.2 \ 0.02 \ -0.17 \ \mathbf{1.16} \ -0.15 \\ -0.17 \ 0.23 \ 0. \ -0.19 \ -0.19 \ 0.01 \ 0. \ 0. \ 0. \ 0. \ 0. \ 0.7]]$$

Таблица 4.16 - Оценки изменения целевых значений параметров производства

№ п/п	Параметр действий, осуществляемых на рабочем месте	Предполагаемые изменения параметров на основе приоритетов, %	Оценка изменений целевых значений параметров, %
1	Оператор. Чистка или замена дорна и матрицы. Температура чистки	10	
2	Оператор. Чистка или замена дорна и матрицы. Разница температур дорнодержателя и дорна при сборке	10	
3	Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Количество и порядок установки сеток	10	2
4	Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Тип соединения сеток	10	
5	Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Зажатие хомута адаптора		
6	Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Материал сетки	10	2,3
7	Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Периодичность чистки экструдера		
8	Оператор. Заправка устройства Plasticolor, смена красителя. Время продувки		
9	Оператор. Заправка устройства Plasticolor, смена красителя. Тип оснастки для продувки		
10	Наладчик. Подготовка ванн охлаждения, чистка форсунок. Количество заправленных ручьев многоходовой ванны	5	
11	Наладчик. Подготовка ванн охлаждения, чистка форсунок. Вид заправляемого провода		1,2
12	Наладчик. Подготовка ванн охлаждения, чистка форсунок. Периодичность чистки форсунок		
13	Наладчик. Чистка шнеков и цилиндров экструдеров. Скорость шнека		
14	Наладчик. Чистка шнеков и цилиндров экструдеров. Направление воздуха	5	
15	Наладчик. Чистка шнеков и цилиндров экструдеров. Температура подсоединения экструдеров		
16	Наладчик. Контроль диаметра дорна и матрицы. Сходимость и воспроизводимость системы измерения	10	
17	Наладчик. Контроль диаметра дорна и матрицы. Оценка стабильности диаметров	10	
18	Контроль готового провода. Сходимость и воспроизводимость системы измерения		
19	Контроль готового провода. Квалификация и подготовка контролеров		
20	Контроль готового провода. Освещенность в зоне контроля		
21	Контроль готового провода. Доступ к готовой продукции		
22	Контроль готового провода. Зажим измеряемого образца		
23	Контроль готового провода. Чистота контактов измерительной системы		
24	Другие		

Таким образом, изменения, предполагаемые на основе полученных ранее приоритетов, соответствуют расчетным по направлению, однако для достижения запланированных качественных изменений необходимо другое сочетание и величина вносимых изменений в характеристики компонентов и параметры процесса.

В соответствии с идеологией Дж.Джурана и правилом Парето, возможно достижение результата за счет усилий в малом количестве направлений, влияющих на общий результат.

В случае исходной наибольшей важности требований: маркировка, обеспечивающая легкость безошибочной сборки и использования; непрерывность по всей длине в упаковке; особые условия эксплуатации (рабочая температура до 105°C, напряжение до 60В), получены следующие результаты.

На первом уровне 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%).

На 4 уровне необходимо внимание организации действий оператора и наладчика: Оператор. Замена сеток в головке экструзионной линии. Количество и порядок установки сеток, Материал сетки; Наладчик. Подготовка ванн охлаждения, чистка форсунок. Вид заправляемого провода.

4.3 Оценка экономической эффективности

Как показано в работах [47, 48, 73, 74] в кабельном производстве стоимость материалов как правило на порядок превышает трудозатраты на производство

кабелей и проводов. В то же время, по правилу 10-кратного увеличения, затраты на доработку и совершенствование продукции на этапах производства и эксплуатации в тысячи раз превосходят средства, которые были бы затрачены на внесение изменений на ранних стадиях жизненного цикла изделия.

В результате проведенных исследований определена модель и методики системного планирования качества продукции, максимально соответствующей требованиям потребителей. Использование предлагаемой методики определять целевые значения показателей качества продукции и технологических процессов на основе желаемых изменений уровня удовлетворенности, что позволяет снизить затраты на доработки и внесение изменений в конструкцию, технологию, организацию рабочего места после начала выпуска серийной продукции. При этом достигается повышение конкурентоспособности продукции и предприятия.

Для оценки экономического эффекта от внедрения разработанной методики MTQFD в ЗАО «СКК» были выбраны следующие параметры:

Нразр - количество участвующих в разработке,

Зразр - средний уровень зарплаты,

Тразр - длительность разработки нового продукта,

Тмод – длительность участия разработчиков в модификации продукта,

Знс – затраты на отклоненную несоответствующую продукцию,

Звозвр – затраты на возвращенную продукцию,

Зорг – затраты на организационно-технические мероприятия по модернизации технологических процессов.

Информация по затратам в производстве проводов ЗАО СКК в течение 5 лет представлена в Таблице 4.17 [73].

Таблица 4.17 - Затраты в течение 5 лет

Вид затрат	Затраты по годам, тыс. руб.					Среднее
	1	2	3	4	5	
Знс	218,22	422,47	404,92	159,71	457,89	332,642
Звозвр	121,73	234,69	225,60	86,04	252,22	184,056
Зорг	2 500	2 850	2 305	240	630	1705

Для расчета оценочных значений экономического эффекта выбраны значения основных параметров, указанные в таблице 4.17.

Таблица 4.18 - Основные параметры, определяющие затраты на разработку и модернизацию

Параметр	Исходное значение до внедрения методики	Оценочное значение после внедрения методики
Нразр, чел	5	5
Зразр, тыс. руб.	60	60
Тразр, мес.	7	5
Тмод, мес.	3	2

В разработке и модификации основное участие принимают 5 членов межфункциональной команды, средняя зарплата 60 тыс.руб.

Снижение годового фонда оплаты труда (ФОТ) на разработку и модификацию продукции за счет сокращения времени разработки с 7 до 5 месяцев составит $Эфот = ФОТ_{исх} - ФОТ_{нов} = 780$ тыс. рублей.

Расчет экономического эффекта за счет сокращения срока разработки и сокращения затрат на организационные и технические мероприятия на разработку новой продукции на 30% представлен в таблице 4.19.

Таблица 4.19 - Экономический эффект для разработки 1 типа новой продукции в год

Модель расчета	Нразр	Зразр	Тразр	ФОТ	Знс	Звозвр	Зорг
Исходная	5	60	7	2730	332	183	1705
Новая	5	60	5	1950	221	122	1136
Экономический эффект	Эфот1			780	Эорг		568

Экономический эффект от сокращения ФОТ и организационно-технических затрат 1 типа новой продукции составляет:

$$Энов = Эфот1 + Эорг = 1348 \text{ тыс. руб.}$$

В модификации продукции обычно участвует 2 ведущих специалиста со средней заработной платой в размере 60 тысяч рублей. Длительность работы над модификацией продукции составляет в среднем 3 месяца.

Оценка экономического эффекта при сокращении сроков и основных затрат при модификации одного типоразмера продукции представлена в таблице 4.20.

Таблица 4.20 - Экономический эффект для модернизации 1 типоразмера продукции в год

Модель расчета	Нразр	Зразр	Тразр	ФОТ	Знс	Звозвр	Зорг
Исходная	2	60	3	468	332	183,6	1705
Новая	2	60	2	312	221	122	1136,667
Экономический эффект	Эфот2			156	Эорг		568

Экономический эффект от сокращения ФОТ и организационно-технических затрат при модификации 1 типоразмера продукции составляет:

$$Э_{мод} = Э_{фот1} + Э_{орг} = 724 \text{ тыс. руб.}$$

На практике, в некоторые годы не ведется разработка новой продукции, но проводится модификация 5-6 типоразмеров.

В данном случае экономический эффект может составить от

$$5 \times Э_{мод} = 3621 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, 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, который может составить до 170 тыс. рублей в год.

Коэффициент эффективности исследования можно оценить на основе расчета коэффициента эффективности:

$$K_{эф} = \text{Экономический эффект} / \text{Затраты на внедрение.}$$

Для расчета используем случай получения наименьшего экономического эффекта, при модернизации 1 типоразмера Э_{мод}. В качестве затрат на внедрение учтем затраты исследователя в течение 5 лет на 0,1 ставке (*Зиссл*), затраты на разработку стандарта организации (*Зстпн*) и затраты на обучение разработчиков (*Зобуч*).

Затраты на исследование составили:

$$Z_{иссл} = 0,1 \times 30 \times 12 \times 5 = 180 \text{ тыс. руб.}$$

Для разработки СТП нужно полмесяца работы одного разработчика:

$$Z_{стп} = 0,5 \times Z_{разр} = 0,5 \times 60 = 30 \text{ тыс. руб.}$$

На обучение 5 разработчиков в течение 1 недели понадобится

$$Z_{обуч} = 0,2 \times Z_{разр} \times 5 = 0,2 \times 60 \times 5 = 60 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, коэффициент экономической эффективности с учетом только затрат на внедрение составит

$$K_{эф} = 724 / (30 + 60) = 724 / 90 = 8.$$

Коэффициент экономической эффективности с учетом затрат на исследование составляет

$$K_{эф} = 724 / (180 + 30 + 60) = 724 / 270 = 2,7.$$

Таким образом, исследования с целью поиска более результативного планирования качества и, в частности, данное исследование можно считать эффективными.

4.4 Стандартизация и разработка экспертных систем

Планирование преобразований предусматривает использование приоритетов и оценок изменения целевых значений характеристик продукции и параметров процессов, полученных с использованием метода MTQFD. При разработке стандарта предприятия учитывался опыт работы межфункциональных команд ЗАО «СКК», разработанный общий алгоритм метода (раздел 3.2) и наличия программного модуля (раздел 3.3).

Последовательность применения методики MTQFD в соответствии с разработанным стандартом представлена на рисунке 4.5.

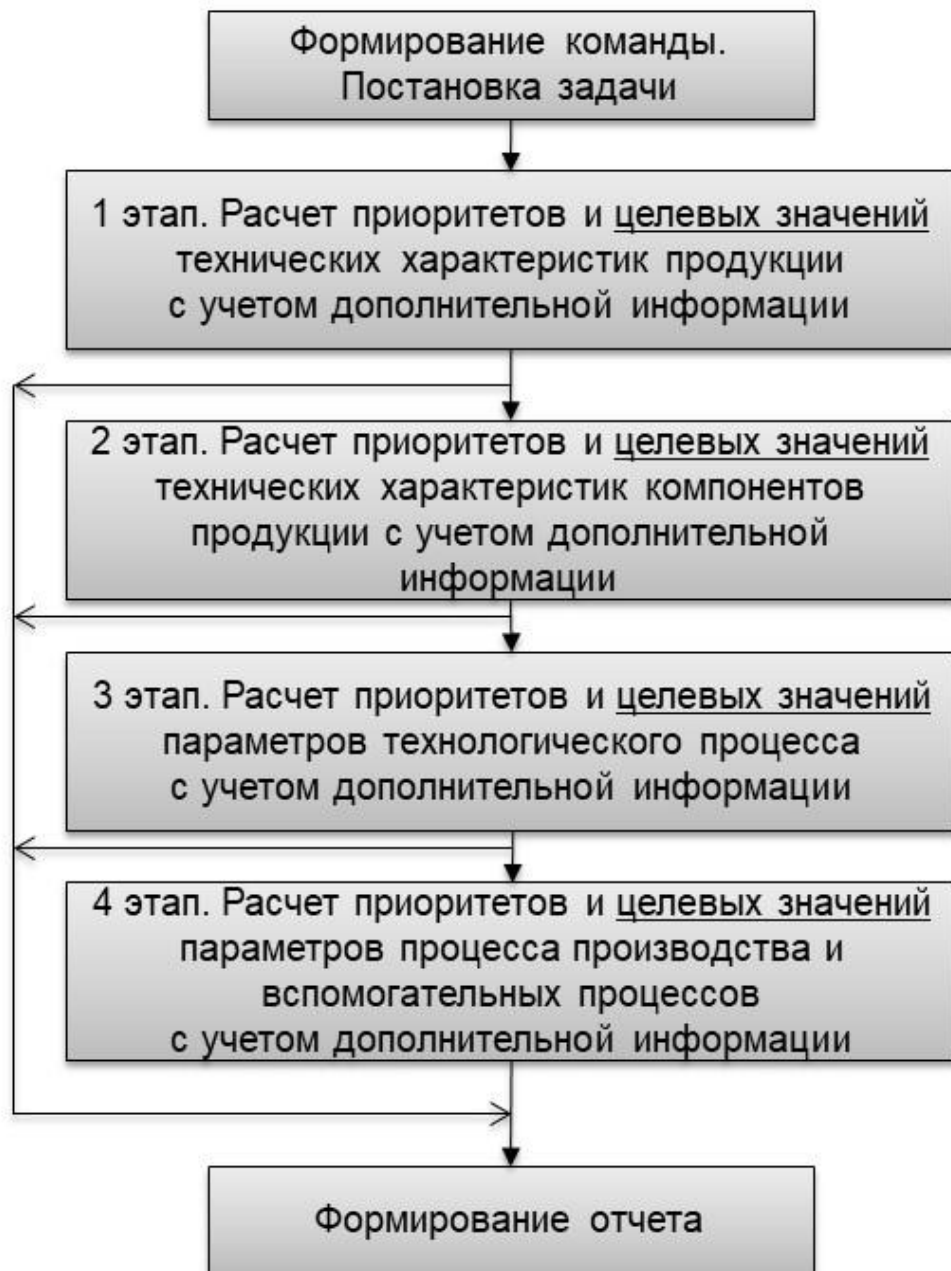


Рисунок 4.5 – Последовательность работы с применением метода MTQFD

Данная последовательность устанавливает порядок применения метода MTQFD, зафиксированный в проекте стандарта предприятия СТП 1.055-13 «Применение матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов» ЗАО «СКК» (Приложение Е).

Планирование качества с использованием разработанной методики предлагается осуществлять с использованием гибридной экспертной системы, включающей, кроме стандартных элементов: математические модели на четырех

уровнях и программный модуль определения приоритетов и целевых значений характеристик. Используемые базы знаний должны опираться на онтологическую модель планирования качества продукции (раздел 2.3). Разработка программного модуля описана в разделе 3.4.

Экспертная система - это система искусственного интеллекта, построенная на основе глубоких специальных знаний о некоторой предметной области (полученных от экспертов-специалистов этой области) [61]. Экспертные системы – один из немногих видов систем искусственного интеллекта, которые получили широкое распространение и нашли практическое применение. Существует множество экспертных систем и то, что они остаются весьма сложными, дорогими, а главное, узкоспециализированными программами, сдерживает их еще более широкое распространение, в том числе для применения в области качества [61, 136, 156].

В начале восьмидесятых годов в исследованиях по искусственному интеллекту сформировалось самостоятельное направление, получившее название "экспертные системы" (ЭС). Цель исследований по ЭС состоит в разработке программ, которые при решении задач, трудных для эксперта-человека, получают результаты, не уступающие по качеству и эффективности решениям, получаемым экспертом. Исследователи в области ЭС для названия своей дисциплины часто используют также термин "инженерия знаний", введенный Е.Фейгенбаумом как "привнесение принципов и инструментария исследований из области искусственного интеллекта в решение трудных прикладных проблем, требующих знаний экспертов" [156].

Экспертные системы и системы искусственного интеллекта отличаются от систем обработки данных тем, что в них в основном используются символьный (а не числовой) способ представления, символьный вывод и эвристический поиск решения (а не исполнение известного алгоритма). Технология экспертных систем является одним из направлений новой области исследования, которая получила наименование искусственного интеллекта (Artificial Intelligence — AI) [61, 156].

Экспертные системы создаются для решения разного рода проблем, но они имеют схожую структуру. Не всякую систему, основанную на знаниях, можно рассматривать как экспертную. Экспертная система должна также уметь каким-то образом объяснять свое поведение и свои решения пользователю так же, как это делает эксперт-человек. В связи с этим в экспертных системах следует предусматривать дружественное взаимодействие с пользователем, которое делает для пользователя процесс рассуждения системы "прозрачным" [61,156].

Часто к экспертным системам предъявляют дополнительное требование - способность иметь дело с неопределенностью и неполнотой. Информация о поставленной задаче может быть неполной или ненадежной; отношения между объектами предметной области могут быть приближенными. Структура экспертных систем включает элементы: база знаний; механизм вывода; механизм приобретения знаний; механизм объяснения знаний; интеллектуальный интерфейс. Экспертные системы обладают многими привлекательными особенностями: доступность, низкие издержки, постоянство, сохранность экспертных знаний, возможность подробного объяснения, быстрый отклик, правильный полный ответ без эмоций, возможность использовать для обучения или применения в качестве интеллектуальной базы данных [61,156].

В настоящее время сложилась определенная технология разработки ЭС, которая включает следующие шесть этапов: идентификация, концептуализация, формализация, выполнение, тестирование, опытная эксплуатация. На всех этапах разработки инженер по знаниям играет активную роль, а эксперт - пассивную. По мере развития самообучающихся свойств экспертных систем роль инженера по знаниям уменьшается, а активное поведение заинтересованного в эффективной работе экспертной системы пользователя-эксперта возрастает. Процесс создания экспертной системы, как сложного программного продукта, обычно выполняется методом прототипного проектирования, сущность которого сводится к постоянному наращиванию базы знаний, начиная с логической стадии [61, 136, 156].

Классическая экспертная система воплощает в себе знания, которые должны быть получены от эксперта с помощью обширных интервью, проводимых инженером по знаниям в течение длительного периода времени. Инженерией знаний называют получение знаний от эксперта-человека или из других источников и последующее представление знаний в экспертной системе [61].

Целью создания экспертной системы проектирования качества продукции на основе методики MTQFD является повышение качества продукции за счёт: автоматизированного хранения способов повышения конкурентоспособности продукции и удовлетворенности потребителей за счет изменения характеристик продукции, компонентов, параметров процессов или производства; разработки математической модели процесса определения качества продукции; формализации представления знаний экспертов; создания режимов консультации, обучения и приобретения новых знаний [156].

Экспертная система опирается на существующие разработки в автомобилестроении, имеет стандартную структуру базы знаний (описание проблемной области, процедурные знания, декларативные знания, атрибуты и исходные данные консультации) [8] и обеспечивает решение неформализованных задач на основе неточных знаний, представляющих опыт экспертов при проектировании продукции и разработке технологических и производственных процессов.

База знаний кроме конкретной информации о требованиях потребителей и характеристиках продукции содержит модели проблемной области для компонентов, технологических и производственных процессов, включающие собственно описание этой области и знания о порядке решения задач (сценарий консультации). Экспертная система обеспечивает решение задач на основе базы знаний, включающей знания из различных классификаторов, а также опыт экспертов при проектировании продукции и разработке технологических процессов. Экспертная система ориентирована на определение качества продукции на этапах разработки продукции, компонентов, технологических и производственных процессов (все 4 уровня QFD) [156].

Разрабатываемая экспертная система обеспечивает решение неформализованных задач на основе неточных знаний, представляющих опыт экспертов при проектировании продукции и разработке технологических и производственных процессов [61, 156]. В общем виде модель экспертной системы и структура знаний, используемых при решении поставленной задачи, изображена на рисунке 4.6.

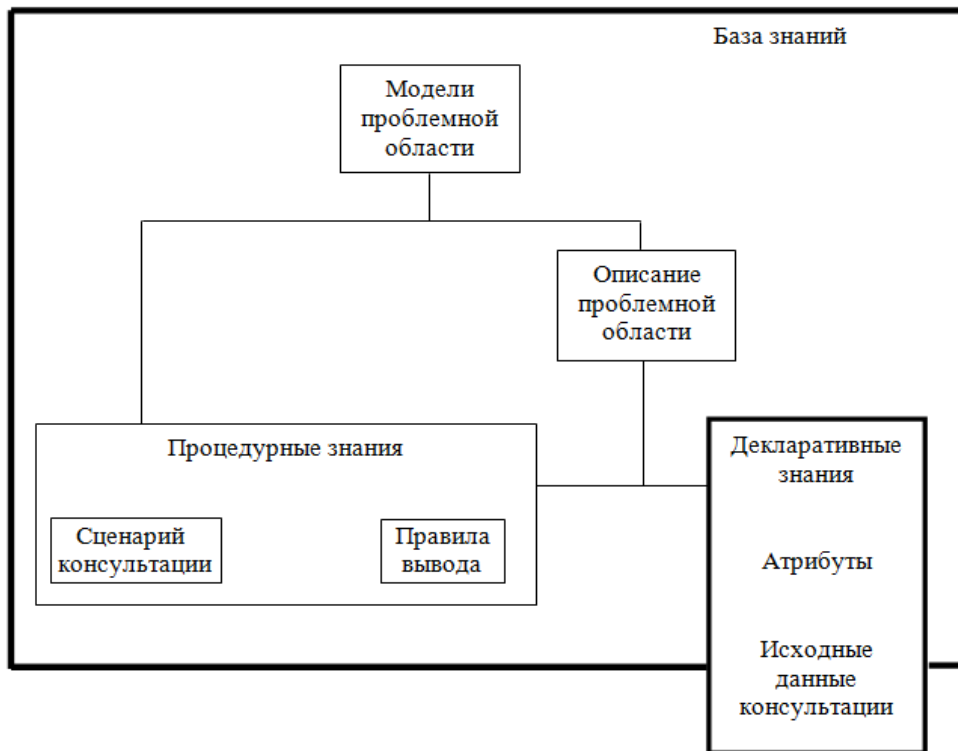


Рисунок 4.6 – Стандартная модель экспертной системы и структура знаний

База знаний кроме конкретной информации о требованиях потребителей и характеристиках продукции содержит модели проблемной области для компонентов, технологических и производственных процессов, включающие собственно описание этой области и знания о порядке решения задач (сценарий консультации). Желательно минимизировать число моделей, а в идеале иметь общую модель для отдельного вида продукции, что позволило бы переносить опыт на другие виды продукции [61, 156].

Описание проблемной области должно состоять из описаний атрибутов и правил вывода. Атрибуты используются для описания состояния проблемной

области, например, атрибуты «ВажностьТребования», «ТипТребования» и т.д. Описание проблемной области должно содержать описания всех атрибутов, которые будут использоваться при решении задачи. Описание атрибута включает область определения этого атрибута, а также некоторую лингвистическую информацию, необходимую для ведения диалога с конечным пользователем во время консультации [61, 156].

Значения атрибутов и сведения об истинности утверждений о состоянии проблемной области либо запрашиваются в ходе консультации у конечного пользователя (исходные данные), либо вычисляются по правилам вывода на основе исходных данных. Неточная определённость правил может представляться с использованием формул нечёткой логики, формулы Байеса, а также произвольных эвристических формул, задаваемых экспертами. Сценарий консультации указывает, значения каких атрибутов должны быть получены в результате консультации, в каком порядке их следует выводить, каким образом сообщать о полученных знаниях и т.д. Решение задач осуществляется в режиме диалога конечного пользователя с разработанными программными средствами. В ходе решения пользователь должен иметь возможность получать объяснения, для чего требуются те или иные запрашиваемые у него данные и как получено решение задачи. Должна быть предусмотрена трассировка хода решения задачи для облегчения, как отладки программных средств, так и для возможности получения пользователем нового знания, не предусмотренного сценарием [61, 156].

Экспертная система обеспечивает решение основных задач на основе базы знаний, включающей знания из различных классификаторов, а также опыт экспертов при проектировании продукции и разработке технологических процессов. Экспертная система ориентирована на определение качества продукции на этапах разработки продукции, компонентов, технологических и производственных процессов (все 4 уровня QFD) [61, 156].

Наполнение базы знаний проводится с помощью описания правил вывода, заполнения классификаторов и форм анализа рисков. Классификаторы реализованы в экспертной системе в виде подсистемы «Кодификаторы». Она дает

возможность получить, занести, отредактировать данные различных классификаторов. Знания о правилах вывода отражены в связях между характеристиками продукции и удовлетворенностью потребителей.

Таким образом, экспертная система «Проектирование качества продукции» по проектированию продукции и разработке технологических и производственных процессов позволяет обеспечить единство информационного обмена и управления на этапе проектирования [156].

Гибридная экспертная система планирования качества продукции с использованием разработанной методики соответствует установленным требованиям и включает, кроме стандартных элементов: математические модели на четырех уровнях и программный модуль определения приоритетов и целевых значений характеристик (рисунок 4.7).

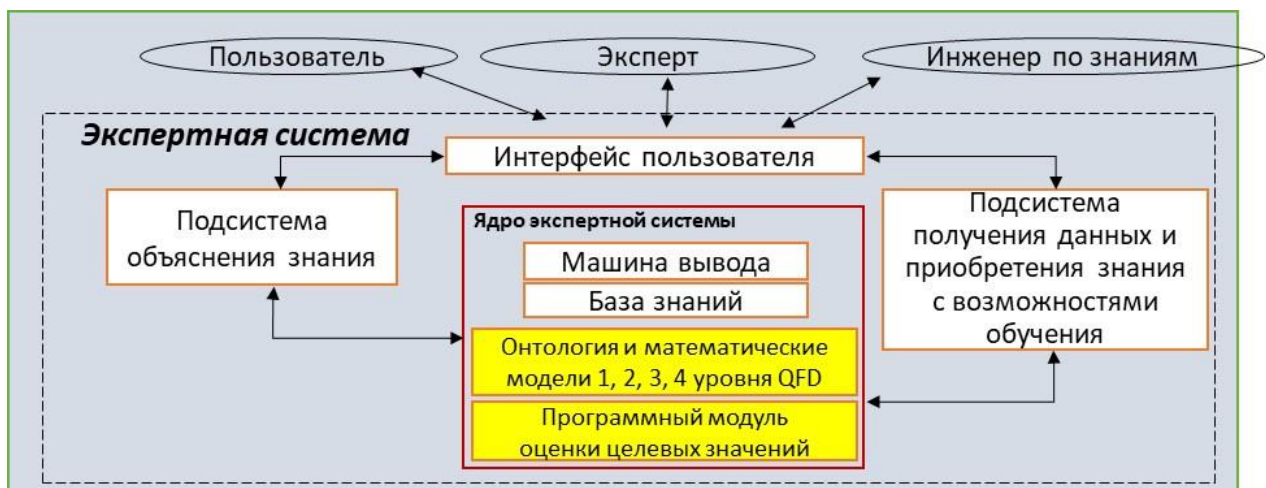


Рисунок 4.7 – Модель гибридной экспертной системы проектирования качества продукции на основе методики MTQFD

Используемые в экспертной модели базы знаний опираются на онтологической модели планирования качества продукции (раздел 3.3). Вид прототипа экспертной системы, разработанного в системе colab на языке Python представлен на рисунке 4.8.

```

+ Код + Текст
Подключиться Редактирование

[ ] 30 print('Наибольшая важность, %: ', max(w_char_risk_rel))
    31 print('Номер приоритетной характеристики: ', ind+1)
    32 print('Наиболее важная характеристика 1 уровня с учетом риска: ', char_risk_first)

Количество характеристик: 5
Характеристики 1 уровня: ('Размеры элементов', 'Вазоры', 'Прочностные хар элементов', 'Хар смазки', 'Мар
Отн. важность характеристик 1 уровня, %: [33.13, 10.8, 27.84, 20.11, 8.11]
ПЧР характеристик 1 уровня: [ 40 200 200 20 400]
Важность характеристик 1 уровня с учетом риска: [ 24791.87817259 40406.09137056 104162.43654822 7522.
60710.65989848]
Отн. важность характеристик 1 уровня с учетом риска, %: [10.43 17.01 43.84 3.17 25.55]
Наибольшая важность, %: 43.84
Номер приоритетной характеристики: 3
Наиболее важная характеристика 1 уровня с учетом риска: Прочностные хар элементов

```

Рисунок 4.8 – Модель гибридной экспертной системы проектирования качества продукции на основе методике MTQFD

Вид интерфейса взаимодействия с потребителем в прототипе экспертной системы, разработанного в виде отдельной программы на языке Python представлен на рисунках 4.9- 4.11 и в Приложении Ж.

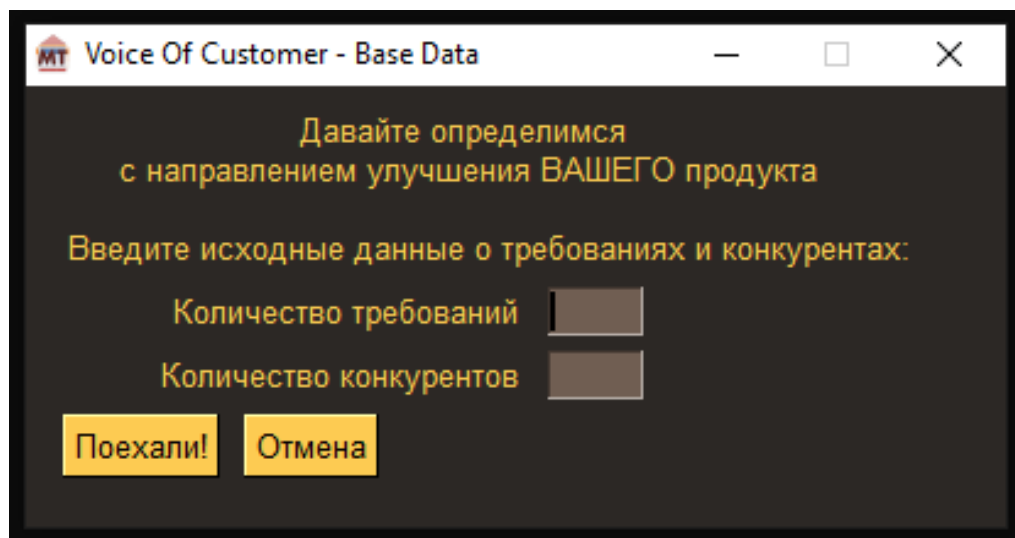


Рисунок 4.9 – Окно интерфейса прототипа экспертной системы планирования качества для анализа голоса потребителя

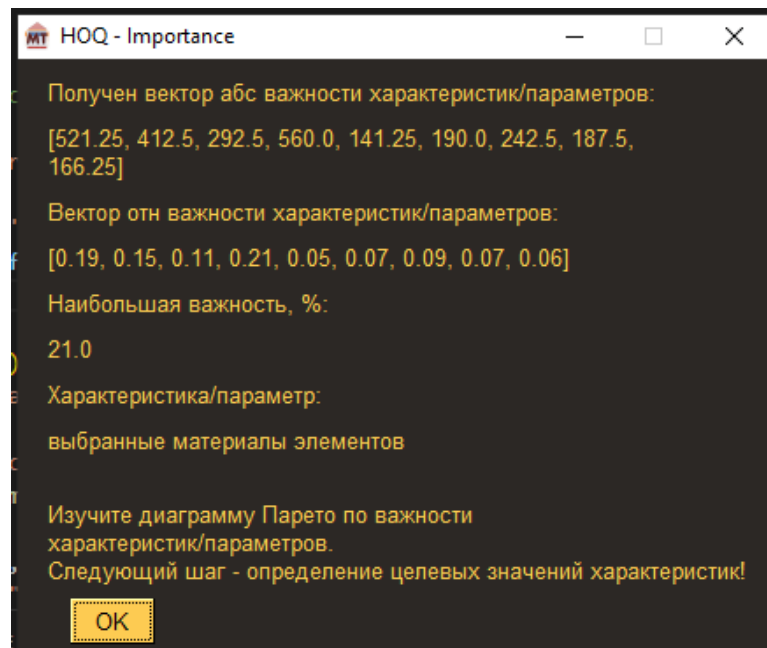


Рисунок 4.10 – Окно интерфейса прототипа экспертной системы планирования качества – выдача результатов

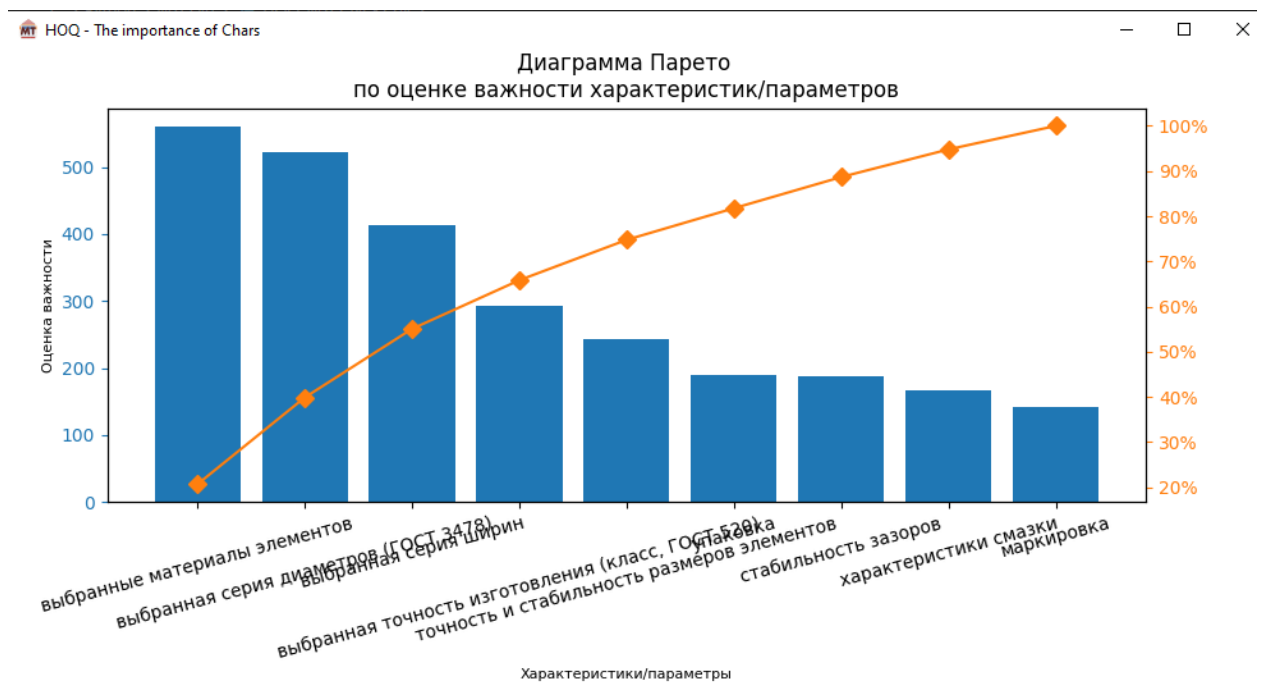


Рисунок 4.11 – Окно интерфейса прототипа экспертной системы планирования качества – диаграмма Парето

Пример протоколирования результатов работы с экспертной системой приведен в приложении И.

4.5 Выводы по главе 4

Проведена оценка адекватности методики на основе математического моделирования и решение прямой и обратной задачи с использованием ЛММ ГТД ТВ 7-117С и экспертной 7-точечной шкалы QFD. Получены подтверждение адекватности.

Проведена отработка предложенной матричной методики MTQFD для производства проводов авиационного и автомобильного назначения ЗАО «СКК», 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%).

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. Коэффициент экономической эффективности с учетом затрат на исследование и внедрение составляет 2,7.

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.

Разработана структура и прототип экспертной системы планирования качества на основе разработанной методики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлена важность повышения конкурентоспособности продукции и предприятий и 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): определяются только приоритеты для совершенствования; целевые значения характеристик определяются субъективно и зависят от уже имеющейся продукции на рынке; не учитываются отрицательные взаимосвязи требований потребителей и характеристик; высокая трудоемкость вычислений для сложных, многопараметрических объектов. Сложно использовать более 20 характеристик, программные продукты не учитывают современные тенденции цифровизации управления качеством продукции.

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

A – матрица;

A^{-1} – обратная матрица;

A^T – транспонированная матрица;

$\delta\theta_i$ – относительное отклонение параметра состояния θ_i от своего расчетного значения;

δP_j – относительное отклонение признака состояния P_j от своего расчетного значения;

H – матрица коэффициентов влияния (линейная математическая модель).

Общие обозначения

n – количество требований потребителя.

m – количество технических характеристик продукции.

Обозначения при расчетах без использования матричного исчисления

h_{1ij} – коэффициент взаимосвязи j -ой характеристики и i -го требования,

k_j – относительное значение важности i -го требования для конкурентоспособности,

p_i – относительное значение важности i -го требования для потребителя,

$q1^{***}_j$ – абсолютное значение приоритета j -ой характеристики продукции с учетом оценки риска и конкурентной среды,

$q1^{**}_j$ – абсолютное значение приоритета j -ой характеристики продукции с учетом конкурентной среды, без учета риска,

$q1^*_j$ – абсолютное значение приоритета j -ой характеристики продукции, без учета конкурентной среды и риска,

$q1_j$ – относительное значение приоритета j -ой характеристики продукции с учетом оценки риска и конкурентной среды

$r1_j$ – оценка риска j -ой характеристики для выполнения требований,

Обозначения при расчетах с использованием матричного исчисления

$\overline{Q1}$ – m -мерный вектор относительных значений приоритетов характеристик продукции,

$\overline{Q2}$ – u -мерный вектор относительных значений приоритетов характеристик компонентов,

$\overline{Q3}$ – t -мерный вектор относительных значений приоритетов характеристик компонентов,

$\overline{Q4}$ – w -мерный вектор относительных значений приоритетов характеристик продукции,

$diag(K)$ – диагональная матрица важности требований с точки зрения конкурентоспособности, размером $n \times n$,

$diag(R1)$ – диагональная матрица оценки риска, размером $m \times m$,

$diag(R2)$ – диагональная матрица оценки риска характеристик компонентов, размером $t \times t$.

$diag(R3)$ – диагональная матрица оценки риска параметров технологического процесса, размером $u \times u$.

$diag(R4)$ – диагональная матрица оценки риска параметров рабочего места и обеспечивающих процессов, размером $w \times w$.

$H1$ – матрица взаимосвязей требований и характеристик, размером $n \times m$,

$H2$ – матрица взаимосвязей характеристик продукции и характеристик компонентов, размером $m \times t$,

$H3$ – матрица взаимосвязей характеристик компонентов и параметров технологического процесса, размером $t \times u$,

$H4$ – матрица взаимосвязей параметров технологического процесса и параметров рабочего места и обеспечивающих процессов, размером $u \times w$,

K – n -мерный вектор относительных значений важности требований для конкурентоспособности,

P – n -мерный вектор относительных значений важности требований потребителей,

$Q1$ – вектор абсолютных значений приоритетов характеристик продукции с учетом оценки риска и конкурентной среды,

$Q1^*$ – вектор абсолютных значений приоритетов характеристик продукции, без учета оценки риска и конкурентной среды,

$Q1^{**}$ – в вектор абсолютных значений приоритетов характеристик продукции учетом конкурентной среды без учета оценки риска,

$Q2$ – вектор абсолютных значений приоритетов характеристик компонентов продукции

$Q3$ – вектор абсолютных значений приоритетов параметров процесса с учетом риска,

$Q4$ – вектор абсолютных значений приоритетов параметров действий, осуществляемых на рабочем месте с учетом риска,

$R1$ – m -мерный вектор оценки риска выполнения требований характеристиками продукции,

$R2$ – t -мерный вектор оценки риска выполнения требований характеристиками компонентов продукции,

$R3$ – u -мерный вектор оценки риска выполнения требований параметрами технологического процесса,

$R4$ – w -мерный вектор оценки риска выполнения требований параметрами рабочего места и обеспечивающих процессов,

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

APQP (Advanced product management quality planning) - процесс планирования, разработки, подготовки и производства изделия.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), анализ видов и последствий потенциальных несоответствий – метод, целью которого является улучшение на основе анализа потенциальных несоответствий с количественным анализом последствий и причин несоответствий.

HoQ (House of Quality), дом качества – визуальное представление матричных диаграмм, используемых при развертывании функции качества.

PFMEA (Process Failure Mode and Effects Analysis), анализ видов и последствий потенциальных несоответствий процесса – метод, целью которого является улучшение процесса на основе анализа потенциальных несоответствий процесса с количественным анализом последствий и причин несоответствий.

QFD (Quality Function Deployment), развертывание (структурирование) функции качества – методология, целью которой является преобразование голоса потребителя (требований и ожиданий) в технические характеристики продукции и рабочие инструкции, визуализация и документирование планирования качества продукции.

MTQFD (Matrix Technique Quality Function Deployment), матричная методика развертывания функции качества – методика применения QFD с применением матричных вычислений для определения целевых значений и приоритетов наиболее важных характеристик продукции и процессов.

TQM (Total Quality Management) – концепция всеобщего управления качеством.

VOC (Voice of Customer), голос потребителя – информация, поступающая от потребителей в виде жалоб, пожеланий, результатов анкетирования и другим образом.

VOCT (Voice of Customer Table), таблица голоса потребителя – инструмент сегментирования и анализа голоса потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» [Электронный ресурс] URL: <https://programs.gov.ru/Portal/programs/passport/17> (дата обращения: 23.01.2023)
2. Минпромторг РФ. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы» [Электронный ресурс] URL: https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!/gosudarstvennaya_programma_rossiyskoy_federacii_razvitie_aviacionnoy_promyshlennosti_na_20132025_gody (дата обращения: 23.01.2023)
3. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года (разработан Минэкономразвития России) [Электронный ресурс] Доступ URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144190/ (дата обращения: 23.01.2023)
4. Akae, Yoji, ed. 1990. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Translated by Glenn Mazur. Cambridge, MA: Productivity Press. ISBN 0-915299-41-0 (originally published 1988 by Japan Standards Association)
5. Jui-Chin J., Ming-Li S., Tu M. H. QFD's Evolution in Japan and the West //Quality progress. - 2007. - Т. 40. - №. 7. - С. 30.
6. Барвинок, В.А. Менеджмент качества в машиностроении: системы, методы, инструменты: учеб. пособие [Текст]/ В. А. Барвинок, В. Е. Годлевский, Е.А. Стрельников; под общ. Ред. Чл.-кор. РАН В.А. Барвинка. - М.: Наука и технология, 2008.-384 с
7. Бойцов, Б.В. Антология русского качества [Текст]/ Под ред. Б.В. Бойцова, Ю.В. Крянева. - М.: Академия проблем качества, 2007.- 580 с.
8. Глудкин, О. П. Всеобщее управление качеством [Текст]: учебное пособие для вузов/ О. П. Глудкин. Н. М. Горбунов, А. И. Гуров, Ю. В. Зорин.-М.: Горячая линия - Телеком. 2001.-599 с.

9. Джуран, Д. Все о качестве: Зарубежный опыт. Выпуск 2. Высший уровень руководства и качество [Текст]/ Д. Джуран.-М.: 1993.-38 с.
10. Салимова, Т.А. Управление качеством: Учебник / Т.А. Салимова. - М.: Омега-Л, 2013. - 376 с.
11. Окрепилов, В. В. Менеджмент качества. В 2-х т. Учебник [Текст]/ В. В. Окрепилов. - СПб.: Изд-во "Наука", 2007.- 1140 с.
12. Окрепилов, В.В. Качество и инновационный потенциал // Экономика качества. 2013. № 2 (3). С. 1-6.
13. Окрепилов, В.В. Эволюция качества / В. В. Окрепилов . - СПб. : Наука, 2008 . - 744 с.
14. Сайт Федеральная служба государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 18.05.2023)
15. The Global Competitiveness Report 2017-2018 [Электронный ресурс] URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018> (дата обращения: 23.07.2019)
16. The Global Competitiveness Report 2018 [Электронный ресурс] URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2018/> (дата обращения: 23.07.2019)
17. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь: [Текст]. - М.: Стандартиформ, 2018. - 54с.
18. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. - М.: Стандартиформ, 2018. - 32 с.
19. ГОСТ Р ИСО 9004-2019 Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации [Текст]. - М.: Стандартиформ, 2019. - 53 с.
20. Bhote, Keki R. World class quality: using design of experiments to make it happen. [Text]/ Keki R. Bhote, Adi K. Bhote. - New York, AMACOM, 2000. - 487 p.
21. Боргест Н.М. Границы онтологии проектирования // Онтология проектирования. 2017. №1 (23). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/granitsy-ontologii-proektirovaniya> (дата обращения: 28.10.2020).

22. Серенков П.С., Нифагин В.А., Соломахо В.Л. Методология моделирования общего контура системы сбора и анализа данных как онтологии // Методы менеджмента качества. 2008. № 9. С. 16-23.
23. Серенков П.С., Павлов К.А., Нифагин В.А. Совершенствование деятельности измерительных (испытательных) лабораторий с помощью систем менеджмента знаний Приборы и методы измерений. 2011. № 2 (3). С. 145-151.
24. Серенков П.С., Соломахо В.Л., Киселев М.Г. Реализация технологии "структурирования функции качества" при проектировании норм точности изделий механического типа. Вестник Белорусско-Российского университета. 2006. № 1. С. 243-251.
25. Гурьянова, М.А. Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России: Часть 2. Мировые исследования и разработки: аналитический обзор [Текст] / М.А. Гурьянова, И.В. Ефименко, В.Ф. Хорошевский; Нац. исслед. ун-т "Высшая школа экономики". - М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2011. - 88с.
26. Хорошевский В.Ф. Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации // Онтология проектирования. 2019. №4 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-sistem-programmnogo-obespecheniya-pod-upravleniem-ontologiy-modeli-metody-realizatsii> (дата обращения: 28.10.2020).
27. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. - 488 с.
28. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. - 471 с.
29. Айвазян, С.А., Афанасьев М.Ю., Руденко В.А. Исследование зависимости случайных составляющих стохастической производственной функции при оценке технической эффективности // Прикладная эконометрика. - 2014. - № 2 (34). - С. 3-18.

30. Армстронг Г., Котлер Ф. Введение в маркетинг = Marketing: An Introduction. - 8-е изд. - М.: "Вильямс", 2007
31. Орлов А.И. Эконометрика : учебник / А.И. Орлов. – М. : Изд-во «Экзамен», 2002. - 576 с.
32. Брагин, Ю.В. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителя [Текст]/ Ю. В. Брагин, В. Ф. Корольков.- Ярославль: Центр качества, 2003.–240 с.
33. Дмитриев, А.Я. Развертывание функции качества (QFD): методические указания [Текст]/ А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Ю.А. Вашуков. - Самара: Изд-во Самар. гос.аэрокосм.ун-та, 2009. - 54с.
34. Революционеры проектирования самолетов. [Электронный ресурс] URL: <https://old.sk.ru/news/b/press/archive/2015/01/22/revolyucionery-proektirovaniya-samoletov.aspx> (дата обращения: 18.05.2023)
35. AS9100D Quality Management Systems - Requirements for Aviation, Space, and Defense Organizations // SAE International. 2016. 54 pages. DOI: DOI: <https://doi.org/10.4271/AS9100D>
36. ГОСТ Р 58876-2020 Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Требования: [Текст]. - М.: Стандартинформ, 2020. - 47с.
37. AS9145 Aerospace Series – Requirements for Advanced Product Quality Planning and Production Part Approval Process// SAE International. 2016. 29 pages. DOI: <https://doi.org/10.4271/AS9145>
38. ПНСТ 415-2020 Системы менеджмента качества предприятий авиационной, космической и оборонной отраслей промышленности. Перспективное планирование качества продукции. Процесс одобрения этапов производства [Текст]. - М.: Стандартинформ, 2020. - 24с.
39. IAQG. Supply Chain Management Handbook (SCMH) [сайт]. URL: <https://www.sae.org/iaqg/> (дата обращения: 23.01.2023)
40. ГОСТ Р 58849-2020 Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания [Текст]. - М.: Стандартинформ, 2020. - 59с.

41. Барвинок В.А., Вашуков Ю.А., Поникарова Н.Ю., Ломовский О.В. Разработка математической модели технологического процесса постановки резьбового вкладыша в отверстие трехслойной панели / Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001. № 2. С. 26.

42. Вашуков Ю.А. Особенности сборки деталей из композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов учебное пособие / Ю. А. Вашуков; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Самарский гос. аэрокосмический ун-т им. акад. С. П. Королева". Самара, 2007.

43. 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.

44. Технология самолётостроения: Учебник для авиационных вузов /А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. Под ред. А. Л. Абибова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. - 551 с.

45. ОАК. Цифровое проектирование [Электронный ресурс] URL: <https://www.uacrussia.ru/ru/innovations/tsifrovoye-proektirovanie/> (дата обращения: 18.05.2023).

46. Алексей Боровков: «Конкуренция смещается на этап проектирования». Ритм машиностроения [Электронный ресурс] URL: <https://ritm-magazine.com/ru/public/aleksey-borovkov-konkurenciya-smeshchaetsya-na-etap-proektirovaniya> (дата обращения: 18.05.2023).

47. Родионов, В.Н. Митрошкина, Т.А., Инновационное преобразование рабочих мест на основе интеграции методов QFD и FMEA [Текст] / В.Н. Родионов, Т.А. Митрошкина, Т.В. Попова, А.Я. Дмитриев, // Методы менеджмента качества. - 2011. - №8. - С.58-64.

48. Родионов, В.Н., Митрошкина, Т.А., Попова Т.В. Метод разработки инноваций с учетом рисков в производстве автотракторных проводов [Текст]/Родионов, В.Н., Митрошкина, Т.А., Попова Т.В. // Кабели и провода. 2011. № 1 (326). С. 10-14.

49. Сайт ОАК [Электронный ресурс] URL: <https://uacrussia.ru/> (дата обращения: 23.01.2023)
50. ОАК. Перечень перспективных технологий [Электронный ресурс] URL: <https://www.uacrussia.ru/upload/innovations> (дата обращения: 18.05.2023)
51. Союз авиапроизводителей России [Сайт]. URL: <http://www.aviationunion.ru> (дата обращения: 23.07.2019)
52. Салимова Т.А. История управления качеством: учеб. пособие / Т.А. Салимова, Н.Ш. Ватолкина. - Москва: КНОРУС, 2005. - 256 с.
53. Леон, Р. Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути [Текст] Quality control robust design and the Taguchi method : монография/ [А.Шумейкер, Р.Какар и др.]; Пер. с англ. и науч ред. А.М.Талалая. - М. : СЕЙФИ, 2002. - 382 с.
54. Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Робастные подходы при подготовке производства элементов пак из композиционных материалов [Текст]: В сборнике: Управление качеством Избранные научные труды Шестнадцатой Международной научно-практической конференции. 2017. С. 177-181.
55. Щипанов, В.В., Чернова Ю.К., Крылова С.А. Математическое моделирование образовательных процессов. Т.: ТГУ, 2005. 100 с
56. Bhote, Keki R. World class quality: using design of experiments to make it happen. [Text]/ Keki R. Bhote, Adi K. Bhote. - New York, AMACOM, 2000. - 487 p.
57. Forsythe, A.B. Robust estimation of straight line regression coefficients by minimizing p-th power deviations // Technometrics 1972; 14: pp.159-166
58. Деминг, У.Э. Выход из кризиса [Текст]/ У.Э. Деминг. -Тверь, 1994.-497 с.
59. Ахмедзянов, А. М. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам [Текст] / А. М. Ахмедзянов, Н. Г. Дубравский, А. П. Тунаков. - М. : Машиностроение, 1983. - 206 с.
60. Буткевич, Р.В. Совершенствование методик оценивания качества продукции в условиях расширяющегося конкурентного ряда [Текст]: дисс. к.т.н.: 05.02.23/ Буткевич Руслан Васильевич.-Самара, 2006.–191 с.

61. Васильев, В.А. Экспертная оценка: учеб. пособие / В.А. Васильев, Ш.Н. Каландаришвили; под ред. В.А. Васильева. - М. . (МАТИ-РГУ им. Циолковского, 2003. - 100 с.
62. Кендал, М. Ранговые корреляции [Текст]/ М. Кендал, А. Стьюарт.–М.: Статистика, 1975.–216 с.
63. Кершенбаум, В.Я. Решение задач квалиметрии машиностроения: учеб. пособие [Текст]/ под ред. В. Я. Кершенбаума, Р. М. Хвастунова. - М.: Технонефтегаз, 1999.–212 с.
64. Кижаяев, С. А. Прикладная теория управления : научные основы комплексной автоматизации и моделирования непрерывных технологических процессов / С. А. Кижаяев - Самара : Изд-во "Научно-технический центр", 2010. - 238 с.
65. Кижаяев, С. А. Прикладная теория управления : системная автоматизация и моделирование в примерах / С. А. Кижаяев. - М. : Изд-во "Машиностроение-1", 2011. - 402 с.
66. Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. М.: Наука, 1977. - 208 с.
67. Bernard Hon. Design and Manufacture for Sustainable Development // John Wiley & Sons, 2002 - 306p.
68. Bhote, Keki R. World class quality: using design of experiments to make it happen. [Text]/ Keki R. Bhote, Adi K. Bhote. – New York, AMACOM, 2000. – 487 p.
69. Ross, Phillip J. The Role of Taguchi Methods and Design of Experiments in QFD [Text]/ Ross Phillip J. - Quality Progress, 1988.–P. 41-47
70. Адлер, Ю. П. Сколько ни развертывай, а структурировать все равно придется [Текст]/ Ю. П. Адлер//Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества.-1991. – Вып. 4. – С. 4-8.
71. ISO/DIS 16355-1 Application of statistical and related methods to New technology and Product Development Process -- Part 1: General Principle and Perspective of QFD Method

72. Transactions from the Symposium on QFD [сайт]. URL: <https://www.qfdi.org/symposium-papers> (дата обращения: 23.01.2023)

73. Родионов, Вячеслав Николаевич. Повышение эффективности управления качеством продукции и технологических процессов на основе инновационных преобразований в кабельном производстве : диссертация кандидата технических наук: 05.02.23 / Родионов Вячеслав Николаевич; [Место защиты: Сам. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева].- Самара, 2011.- 213 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/1888

74. Родионов, В. Н. Идентификация ключевых характеристик качества автопровода с тонкостенной изоляцией / В. Н. Родионов, Т. В. Попова, Т. А. Митрошкина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4-4. – С. 885-888.

75. Родионов, В. Н. 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 Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4-4. – С. 889-891.

76. Барабанова, О.А. Семь инструментов управления качеством. Бенчмаркинг. Развёртывание функции качества [Текст]/ О. А. Барабанова, В. А. Васильев, П. В. Москалёв// -М.: «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2003.–48 с.

77. Галимов, Ф. М. Применение QFD-анализа в рамках повышения качества образовательной деятельности [Текст] : научное издание / Ф. М. Галимов, Ф. Р. Мифтахутдинова // Известия СПбГЭТУ "ЛЭТИ". - 2012. - № 1. - С. 102-107.

78. Дмитриев, А. Я. Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники / А. Я. Дмитриев, Ю. А. Вашуков, Т. А. Митрошкина/ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2016. – 76 с.

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

80. Бирюк, В.В. Аэродинамика и самолетостроение: учеб. Пособие [Текст] / [В.В. Бирюк и др.] // Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 180 с.

81. Митрошкина, Т.А. Синергия методов QFD и FMEA для инноваций продукции и технологических процессов в кабельной промышленности [Текст] / В.Н. Родионов, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством». - ГОУ ВПО «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского. – М.: ИТЦ МАТИ. – 2011. – С.176-178.

82. Митрошкина, Т.А. Совершенствование метода развертывания функции качества на основе матричного решения обратных задач [Текст] / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством». - ГОУ ВПО «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского. – М.: ИТЦ МАТИ. - 2015. – С.194-195.

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

84. Митрошкина, Т.А. Современные подходы к идентификации и управлению ключевыми параметрами технологических процессов в авиакосмической промышленности [Текст] / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством». - ГОУ ВПО «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского. – М.: ИТЦ МАТИ. - 2014. – С.194-195.

85. Митрошкина, Т.А., Родионов, В.Н. Инновационное преобразование рабочих мест на основе интеграции методов QFD и FMEA [Текст] / В.Н. Родионов, Т.В. Попова, А.Я. Дмитриев, // Методы менеджмента качества. – 2011. - №8. - С.58-64.

86. Митрошкина, Т.А., Родионов, В.Н., Попова Т.В., Дмитриев А.Я., Метод разработки инноваций с учетом рисков в производстве автотракторных проводов // Кабели и провода. 2011. № 1 (326). С. 10-14.
87. Розно, М. И. QFD: анализируем требования потребителя [Текст] : научное издание / М. И. Розно // Методы менеджмента качества. - 2011. - №7. - С. 4-10.
88. Розно, М. И. От "голоса потребителя" до "производства без проблем" [Текст] / М. И. Розно // Методы менеджмента качества. - 2006. - N 1. - С. 12-19.
89. Розно, М. И. Формальное и творческое при разработке продукции и подготовке производства [Текст] / М. И. Розно, авт. // Стандарты и качество. - 2005. - N 8. - С. 74-79.
90. Сулливан, Л. П. Политика управления на всех этапах СФК [Текст]/ Л. П. Сулливан// Курс на качество. -1992. –Вып. 1.–С. 76-81.
91. Чекмарев, А.Н. Моделирование конкурентоспособности потребительской продукции с использованием квалиметрической таксонометрии [Текст]/ Р. В. Буткевич, сб. Науч. Трудов.-Брянск: БГТУ, 2006.–152 с.
92. Шпер В.Л. Метод QFD [Текст]/ В.Л. Шпер //Методы менеджмента качества - 2015. № 4. - С. 52-53.
93. Akao Y., Mazur G. H. The leading edge in QFD: past, present and future //International Journal of Quality & Reliability Management. – 2003. – Т. 20. – №. 1. – С. 20-35.
94. Akao Y., Mizuno S. QFD: The customer-driven approach to quality planning and deployment //Asian Productivity Organization, Tokyo, J. – 1994.
95. Akao Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design // Taylor & Francis, 2004 - 392p.
96. Akao, Yoji, ed. 1990. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Translated by Glenn Mazur. Cambridge, MA: Productivity Press. ISBN 0-915299-41-0 (originally published 1988 by Japan Standards Association)

97. Bhote, Keki R. World class quality: using design of experiments to make it happen. [Text]/ Keki R. Bhote, Adi K. Bhote. – New York, AMACOM, 2000. – 487 p.
98. Chang-Tzuoh Wu, Tien-Szu Pan, Ming-Hui Shao, and Chang-Shiann Wu, “An Extensive QFD and Evaluation Procedure for Innovative Design,” *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, Article ID 935984, 7 pages, 2013. DOI: 10.1155/2013/935984
99. Chen L. H., Ko W. C. Fuzzy approaches to quality function deployment for new product design // *Fuzzy sets and systems*. – 2009. – Т. 160. – №. 18. – P. 2620-2639.
100. Fehlmann Thomas. *Statistical Process Control for Software Development QFD Symposium 2009*, Wolfsburg, October, 2009
101. Fehlmann Thomas. *The Impact of Linear Algebra on QFD. Quality & Reliability Management*, Vol. 22 No.1, 2005
102. Fehlmann Thomas. *Using Six Sigma Transfer Function for Analysing Customer's Voice Fourth International Conference on Lean Six Sigma Glasgow*, March 2012
103. Glenn Mazur [Электронный ресурс]. – 2015.- http://www.mazur.net/works/qfd_definition.htm
104. Grimm et al. 2011. “Using QFD to Design a Multi-Disciplinary Clinic.” *Transaction of the 23rd Symposium on QFD*. ISBN 1-889477-23-0
105. Jack B. ReVelle, John W. Moran, Charles A. Cox. *The QFD Handbook* // John Wiley & Sons, 1998 – 410p.
106. Jiang J. C., Shui M. L., Tu M. H. QFD's evolution in Japan and the west // *Quality control and applied statistics*. – 2008. – Т. 53. – №. 3. – С. 283-284.
107. Joseph P. Ficalora, Louis Cohen *Quality Function Deployment and Six Sigma, Second Edition: A QFD Handbook. Ed.2*// Pearson Education, - 2009. - 480p.
108. Jui-Chin J., Ming-Li S., Tu M. H. QFD's Evolution in Japan and the West // *Quality progress*. – 2007. – Т. 40. – №. 7. – С. 30.
109. Juran Institute, Inc [Электронный ресурс]. – 2015.- <http://www.juran.com>
110. Kailash C. Kapur, Michael Pecht. *Reliability Engineering* // John Wiley & Sons, 2014 - 512p.

111. Kim K. J. et al. Fuzzy multicriteria models for quality function deployment //European Journal of Operational Research. – 2000. – T. 121. – №. 3. – P. 504-518.
112. King, Bob. Better Designs in Half the Time. Implementing QFD in America [Text]/ King Bob - GOAL/QPC, 1989.–315 p.
113. Kogure Masao and Akao Yoji. 1983. “Quality Function Deployment and Company Wide Quality Control in Japan: a strategy for assuring that quality is built into products.” Quality Progress. October, 1983. pp. 25-29.
114. Lou Cohen. Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You // Addison-Wesley, 1995 - 348p.
115. Lou, Cohen Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You [Text]/ Cohen Lou. - Addison Wesley Longman, 1995.-368 p.
116. Maritan D. Practical Manual of Quality Function Deployment. – Springer, 2014 – 190p..
117. Mazur, G. H. Using Quality Function Deployment to Write an ISO Standard for QFD //Quality Engineering. Taylor & Francis, U.K. – 2012. – T. 24. – №. 3. – pp. 436-443.
118. Min Xie, Thong Ngee Goh, K. C. Tan. Advanced QFD Applications // ASQ Quality Press, 2003 г. – 204p.
119. Mizuno, S. and Akao, Y., ed. (1994): QFD: the Customer Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Translated by Glenn Mazur. Asian Productivity Organization, (originally published 1978 by JUSE)
120. Mohammad Abdolshah and Mohsen Moradi, “Fuzzy Quality Function Deployment: An Analytical Literature Review,” Journal of Industrial Engineering, vol. 2013, Article ID 682532, 11 pages, 2013. doi:10.1155/2013/682532
121. Re Velle Jack B.J.W. Moran, C.A. Car. The Quality Function Deployment (QFD) Handbook. [Text]/ Re Velle Jack B.J.W. Moran, C.A. Car - New York, 1998.–410 p.
122. Ross, Phillip J. The Role of Taguchi Methods and Design of Experiments in QFD [Text]/ Ross Phillip J. - Quality Progress, 1988.–P. 41-47

123. Saaty, Thomas L. 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications. ISBN 0-9620317-6-3
124. Shainin, R. Strategies for technical problem solving [Текст]/ R. Shainin // *Quality Engineering*, vol. 5, no. 3, 1993, pp. 438-448
125. Sullivan, Larry P. "Quality Function Deployment - a system to assure that customer needs drive the product design and production process." *Quality Progress*. June 1986. pp. 39-50.
126. Swallehe O. New Course Design for Total Customer Satisfaction: Application of Quality Function Deployment (QFD) in Postgraduate Programme Restructuring at Faculty of Commerce, Mzumbe University // *Management Convergence*. – 2011. – Т. 1. – №. 1. – P. 49-55.
127. Vinayak K., Kodali R. Benchmarking the quality function deployment models // *Benchmarking: An International Journal*. – 2013. – Т. 20. – №. 6. – P. 825-854.
128. Wu, X., & Liao, H. (2021). Customer-oriented product and service design by a novel quality function deployment framework with complex linguistic evaluations. *Information Processing & Management*, 58 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102469>, 102469 (дата обращения: 23.05.2023).
129. QFD Institut [Сайт]. URL: <http://www.qfdi.org> (дата обращения: 23.07.2022)
130. QFD Online [Электронный ресурс]. URL: <http://qfdonline.com> (дата обращения: 23.07.2019)
131. QFD Symposium Transactions [Электронный ресурс]. URL: http://www.qfdi.org/books/symposium_proceedings_all_abstracts.html (дата обращения: 23.05.2023)
132. Quality One [Электронный ресурс]. URL: <http://quality-one.com> (дата обращения: 23.07.2022)
133. Азгальдов, Г.Г. Квалиметрия: первоначальные сведения. Справочное пособие с примером для АНО «Агентство стратегических инициатив по

продвижению новых проектов»: Учеб. пособие/ Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садовов. — М.: Высш. шк., 2011. — 143 с.

134. Азгальдов, Г.Г. Что Практическая квалиметрия в системе качества: ошибки и заблуждения? [Текст]/ Г. Г. Азгальдов//Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества.-2001. –Вып. 3. –С. 13-18.

135. Аронов, И. З. Стратегический маркетинг как основа обеспечения качества продукции [Текст]/ И. З. Аронов, Е. В. Подболотова, А. А. Теплицкий// Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества.-2001. –Вып. 4. – С. 26-46.

136. Васильев, В.А. Экспертная оценка: учеб. пособие / В.А. Васильев, Ш.Н. Каландаришвили; под ред. В.А. Васильева. - М. . (МАТИ-РГУ им. Циолковского, 2003. - 100 с.

137. Кершенбаум, В.Я. Методы квалиметрии в машиностроении: учеб. пособие [Текст]/ В. Я. Кершенбаум, Р. М. Хвастунов. - М.: Технонефтегаз, 1999.– 210 с.

138. Кершенбаум, В.Я. Решение задач квалиметрии машиностроения: учеб. пособие [Текст]/ под ред. В. Я. Кершенбаума, Р. М. Хвастунова. - М.: Технонефтегаз, 1999.–212 с.

139. Субетто, А.И. Квалиметрия [Текст]/ А. И. Субетто.–СПб.: Астерион, 2002.–288 с.

140. Чекмарев, А.Н. Квалиметрия и управление качеством. Часть 1. Квалиметрия: учебное пособие [Текст]/ А.Н. Чекмарев.- Самара: Изд-во Самар. гос.аэрокосм.ун-та, 2010.–172с.

141. Чекмарев, А.Н. Квалиметрия и управление качеством. Часть 2. Управление качеством: учебное пособие [Текст]/ А.Н. Чекмарев.- Самара: Изд-во Самар. гос.аэрокосм.ун-та, 2010.–172 с.

142. Чекмарев, А.Н. Моделирование конкурентоспособности потребительской продукции с использованием квалиметрической таксонометрии [Текст]/ Р. В. Буткевич, сб. Науч. Трудов.-Брянск: БГТУ, 2006.–152 с.

143. Адлер, Ю. П. Что век грядущий нам готовит? [Текст]/ Ю. П. Адлер, И. З. Аронов, В. Л. Шпер//Методы менеджмента качества. Надежность и контроль качества.-1991. –Вып. 1. – С. 26-46.

144. Адлер, Ю.П. Качество и рынок, или как организация настраивается на обеспечение требований потребителей. - В сб.: Поставщик и потребитель. - М.: РИА "Стандарты и качество", 2000. - 128 с.; С. 35-81.

145. Научная библиотека РИНЦ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elibrary.ru> (дата обращения: 23.05.2023)

146. ГОСТ Р ИСО 13053-2-2013 Статистические методы. Методология улучшения процессов "шесть сигм". Часть 2. Методы и приемы [Текст]. - М.: Издательство стандартов, 2013. - 48 с.

147. СТО ГАЗПРОМ 9004-2007 Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению. Часть IV. Проектирование продукции с использованием методов структурирования функции качества, 2007. – 47с.

148. Технология самолётостроения: Учебник для авиационных вузов /А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов и др. Под ред. А. Л. Абибова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. - 551 с.

149. Ватульян А.О. Математические модели и обратные задачи //Соровский образовательный журнал. – 1998. – №. 11. – С. 143-148.

150. Цыпкин, Я.З. Информационная теория идентификации // М.: Наука. Изд. фирма "Физ.-мат. лит.", 1995. - С. 336.

151. Цыпкин, Я.З. Информационная теория идентификации. - Москва: Наука, 1995.

152. Эйкхофф, П. Современные методы идентификации систем : Пер. с англ. /Под ред. П.Эйкхоффа. М.: Мир, 1983. - 400с.

153. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер с англ. / Под ред. Я.З.Цыпкина. М.: Наука, 1991. - 432 с.

154. Жданов, А.И. Введение в методы решения некорректных задач: Учеб.пособие. - Изд-во Самарского гос. аэрокосмического ун-та, 2006. - 87с.

155. Никульчев Е.В. Идентификация динамических систем на основе симметрий реконструированных аттракторов. М.: МГУП, 2010.

156. Дмитриев, А.Я. 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.

157. Митрошкина, Т. А. Математические подходы в развитии методов идентификации качества продукции / Т. А. Митрошкина, М. А. Моторнова, А. Я. Дмитриев // Эффективные системы менеджмента - стратегии успеха. - 2014. - Т. 1, № 4. - С. 44.

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

159. Казандаева, С.Н. 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.

160. 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.

161. Загидуллин, Р.С. 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.

162. Дмитриев, А.Я. 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.

163. 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.

164. 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.

165. 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.

166. 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.

167. 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.

168. 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.

169. 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.

170. Митрошкина, Т.А. Совершенствование модели планирования качества авиационной продукции на основе развертывания функции качества / IV Всероссийская конференция с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении». — 2023. — С. 271-273

171. Дмитриев, А.Я. Совершенствование процессов производства БПЛА сельскохозяйственного назначения на основе метода QFD / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина, Овакимян Д.Н. и др. // Девятнадцатая Международная научно-практическая конференция "Управление качеством". — 2020. — С. 94-98.

172. Митрошкина, Т.А. Использование и развитие методологии развертывания функции качества и анализа рисков для проектирования летательных аппаратов / В сборнике: Всероссийская научно-техническая конференция "Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении" Сборник докладов. - 2019. - С. 205-207.

173. Дмитриев, А.Я. 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. — 2018. - С. 408-414.

174. Митрошкина, Т.А. Особенности развертывания функции качества на основе параметрической идентификации характеристик продукции в кабельной и авиационной промышленности / Т.А. Митрошкина, А.Я. Дмитриев// В сборнике: Управление качеством Избранные научные труды Пятнадцатой Международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 228-231.

175. Дмитриев, А.Я. Перспективная MTQFD методология планирования качества новых проектов газотурбинных двигателей / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Климовские чтения - 2016: Перспективные направления развития авиадвигателестроения. Сборник докладов международной научно-практической конференции. - 2016 - С.362-368.

176. Дмитриев, А.Я. 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.

177. Дмитриев, А.Я. Идентификация качества продукции и услуг как решение обратной задачи /А.Я. Дмитриев Т.А. Митрошкина// Материалы

Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством». - ГОУ ВПО «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского. – М.: ИТЦ МАТИ. -2013 – С.213-216.

178. Вашуков, Ю. А. QFD: Разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей / Ю. А. Вашуков, А. Я. Дмитриев, Т. А. Митрошкина; Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева. – Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), 2012. – 32 с.

179. Бочкарев, С. К. Идентификация математической модели ГТД по результатам испытаний / С. К. Бочкарев, А. Я. Дмитриев // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. – 2008. – № 1(14). – С. 37-39.

180. Бочкарев, С. К. Интеллектуализация газодинамической доводки авиационных газотурбинных двигателей и их узлов / С. К. Бочкарев, А. Я. Дмитриев, В. В. Кулагин // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), 2000. – С. 67-71.

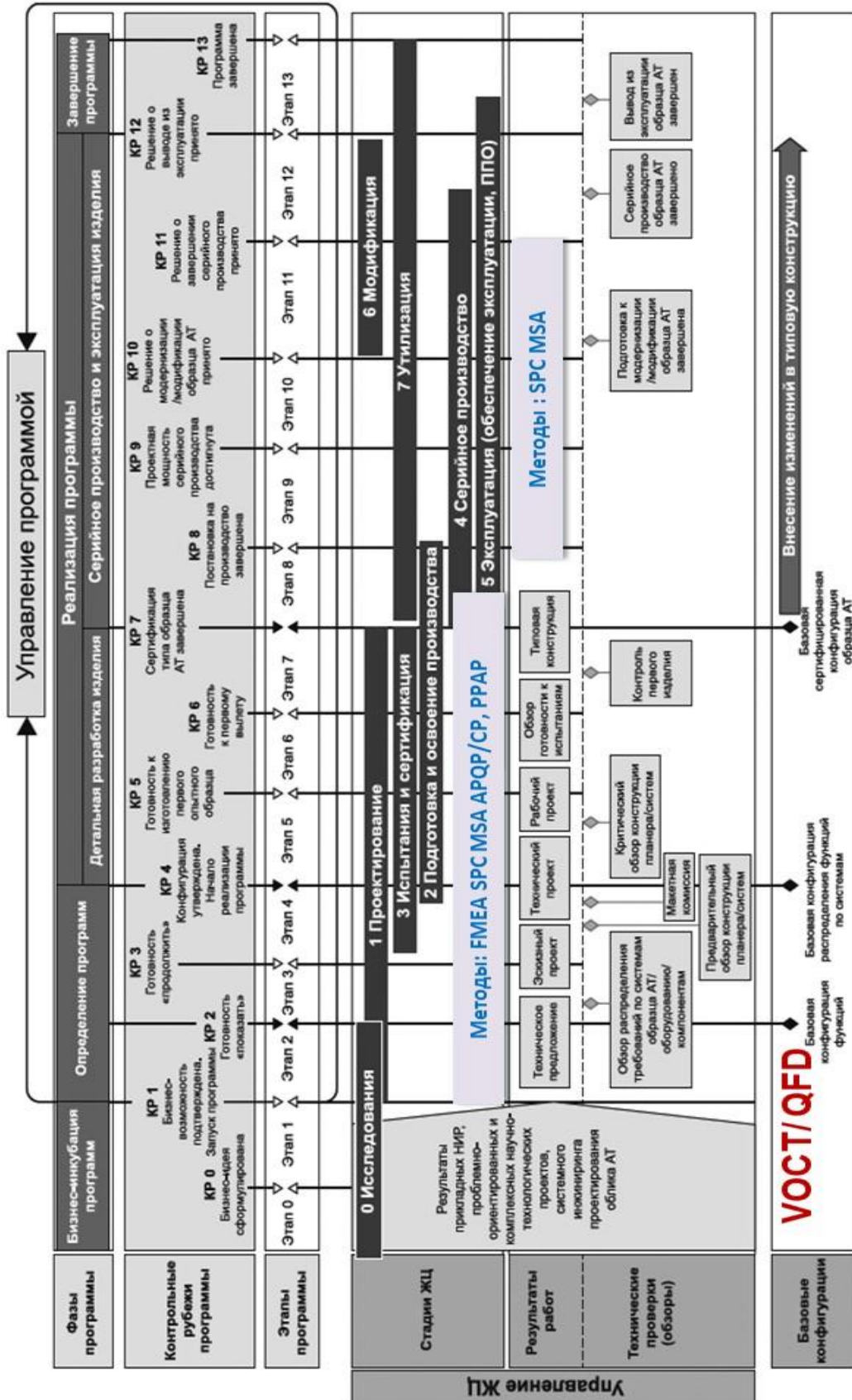
181. Опыт и проблемы компьютеризированного термогазодинамического анализа результатов испытаний газотурбинных двигателей сложных схем / С. К. Бочкарев, А. Я. Дмитриев, В. В. Кулагин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 1993. – № 2. – С. 68-70.

182. Дмитриев, А. Я. Параметрическая идентификация математической модели ГТД в условиях автоматизированной системы обработки результатов испытаний : специальность 05.07.05 "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. Я. Дмитриев. – Куйбышев, 1987. – 24 с.

183. Дмитриев, А. Я. Совершенствование параметрического проектирования сложных изделий авиационной техники методами менеджмента качества QFD и FMEA / А. Я. Дмитриев, Т. А. Митрошкина, А. А. Назаров // Климовские чтения-2019: перспективные направления развития авиадвигателестроения : Сборник статей научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 18 октября 2019 года. – Санкт-Петербург: ООО "Скифия-принт", 2019. – С. 369-378.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Связь процессов управления программой создания авиационной техники с методами управления качеством



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Многоуровневый алгоритм предлагаемой методики

Б1. Первый этап MTQFD. Определение приоритетов и целевых значений технических характеристик продукции с учетом дополнительной информации



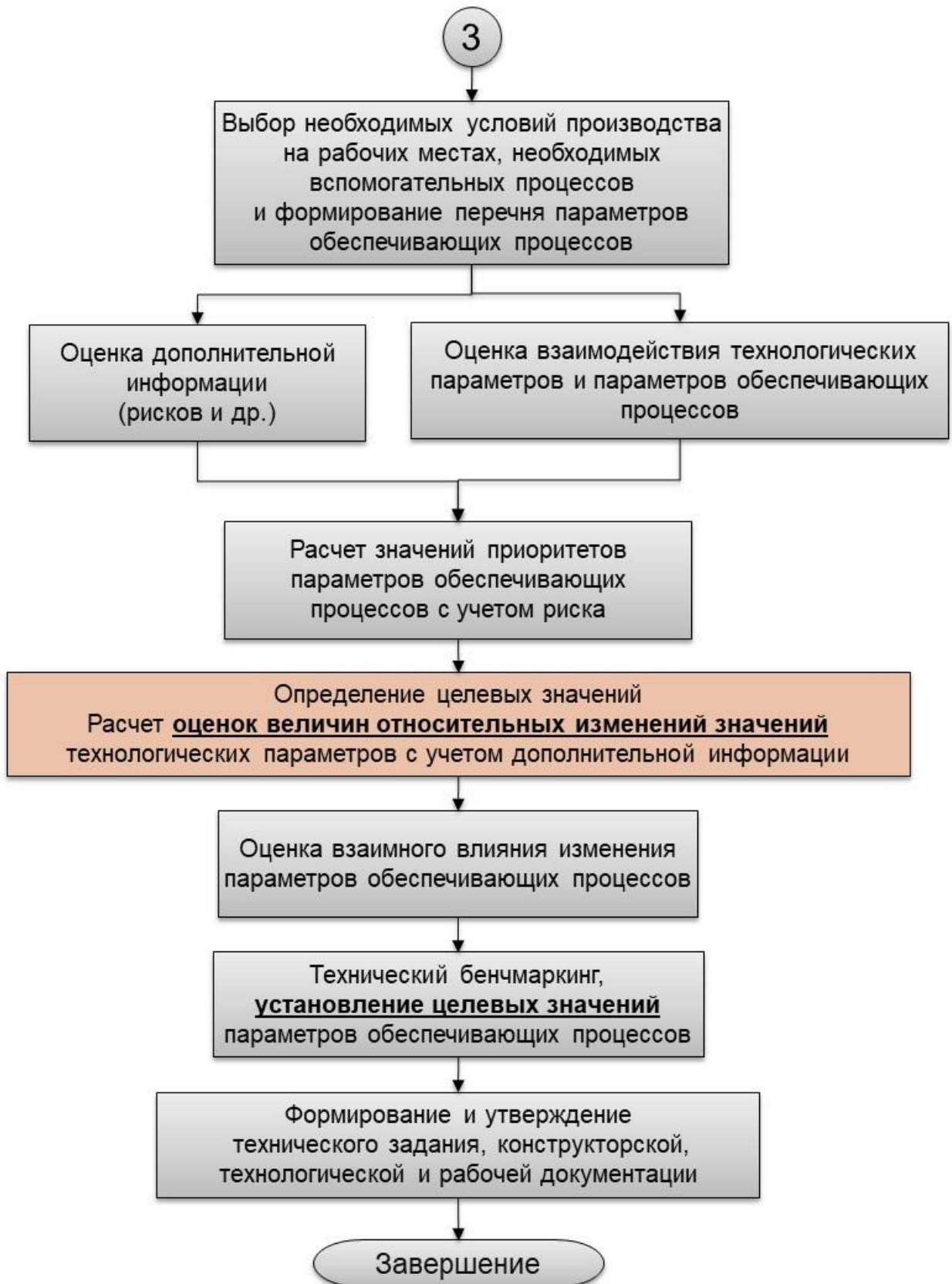
Б2. Второй этап MTQFD. Определение приоритетов и целевых значений технических характеристик компонентов продукции с учетом дополнительной информации



Б3. Третий этап MTQFD. Определение приоритетов и целевых значений технических характеристик компонентов продукции с учетом дополнительной информации



Б4. Четвертый этап MTQFD. Определение приоритетов и целевых значений с учетом дополнительной информации



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Листинг программного модуля методики MTQFD

```

#Монтируем диск и назначаем путь к файлам
...
#-----
#Ввод или получение основных данных. Ввод дополнительной информации
...
#-----Исходные данные-----
subject = "ГТД ТВ 7-117С"
...
#Матрица ЛММ влияния параметров на признаки
H1 = pd.read_excel('/content/drive/My Drive/MTA_PRO/GTD_data.xlsx',
sheet_name='GTD', header=None)
#Влияние параметров 0-1-3-9 на признаки
H1_QFD = pd.read_excel('/content/drive/My Drive/MTA_PRO/GTD_data.xlsx',
sheet_name='GTD_QFD', header=None)
...
#Важность
dP = pd.read_excel('/content/drive/My Drive/MTA_PRO/GTD_data.xlsx',
sheet_name='dP', header=None)
...
#CKO
sq = pd.read_excel('/content/drive/My Drive/MTA_PRO/GTD_data.xlsx',
sheet_name='sq', header=None)
#Расчет приоритетов
...
w = 0
for i in range(char1_num):
    mult = (imp_rel*matrix1[:,i])
    w = np.sum((imp_rel*matrix1[:,i]))
    w_char[i] = w #Вектор абс важности
sum_w = sum(w_char)

for i in range(char1_num):
    w_char_rel [i] = round((100*w_char[i]/sum_w), 2) #Вектор отн важности
...
#Расчет оценок целевых значений
#@title Методом МНК если k характеристик > n требований
import numpy as np
A = np.vstack([[...], [...], [...]])
B = [...]
X = np.linalg.lstsq(A, B, rcond = -1)
print (X[0])
X2 = np.linalg.solve(A, B)
print ("X2", X2)
...
#@title Использование коэффициентов ЛММ
epsilon = 10**(-8)
C = np.dot(np.dot((B.T), Gamma), B)
C_inv = np.linalg.inv(C)
#C_inv_2 = np.linalg.solve(C,np.eye(C.shape[0]))
(np.dot(C, C_inv)-np.ones((n,n)))<epsilon
dTs = np.dot(np.dot(np.dot(C_inv, B.T), Gamma.T),F.T)
print(np.round(dTs.T, decimals = 2))
#@title Использовать 7-точечные оценки
epsilon = 10**(-8)
C2 = np.dot(np.dot((B2.T), Gamma), B2)
C2_inv = np.linalg.inv(C2)
#C_inv_2 = np.linalg.solve(C,np.eye(C.shape[0]))
(np.dot(C2, C2_inv)-np.ones((11,11)))<epsilon
dTs2 = np.dot(np.dot(np.dot(C2_inv, B2.T), Gamma.T),F.T)
print(np.round(dTs2.T, decimals = 2))

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты исследования устойчивости методики

Г1. Результаты численных экспериментов с использованием встроенных функций
(выдержка)

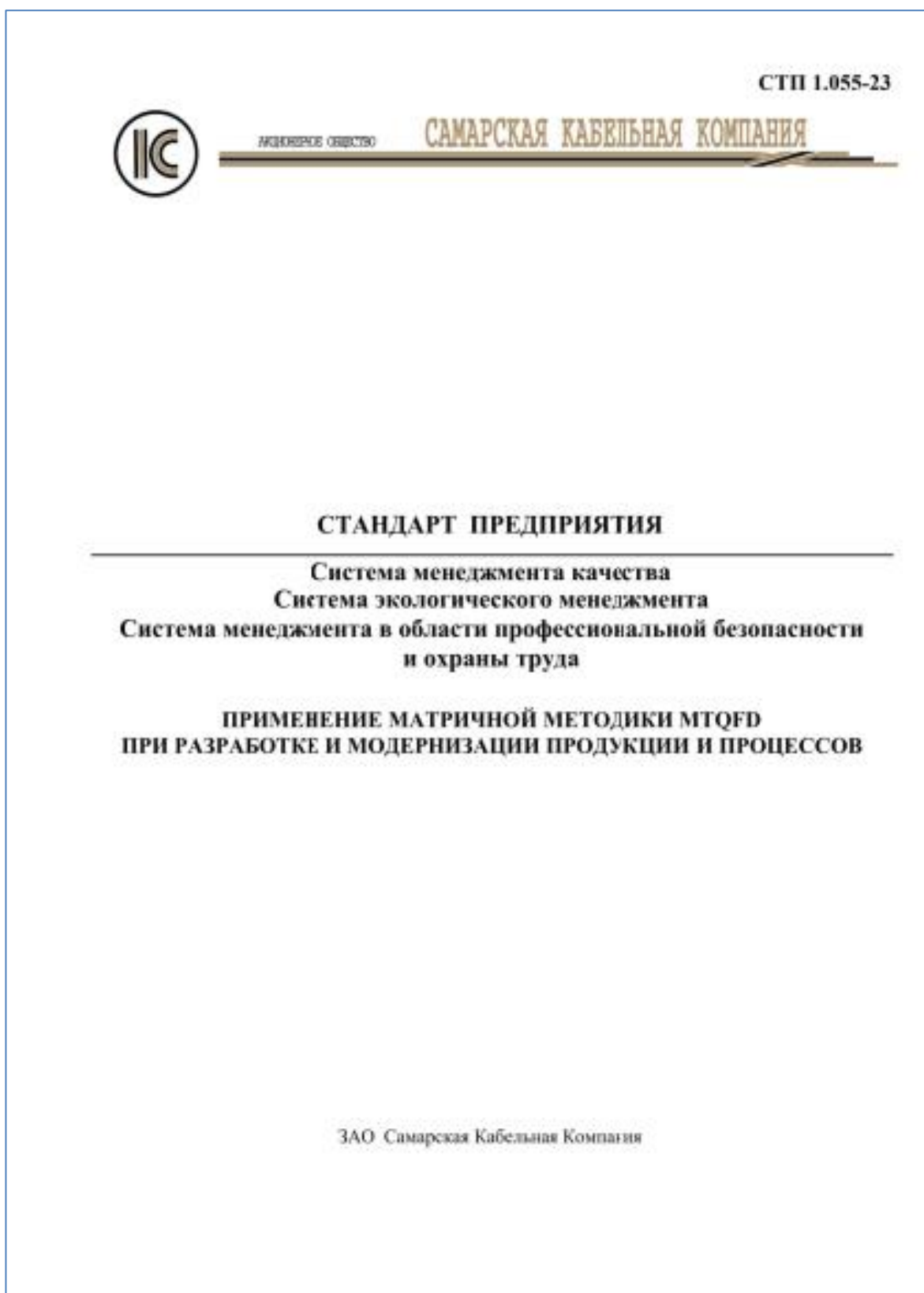
№ эксперимента	Изменение параметра состояния, полученное встроенной функцией lsolve										
	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
1	-0.431	0.134	2.558	-0.678	-8.40E-01	-0.439	-0.502	6.20E-01	6.04	4.805	-1.206
2	-0.331	0.299	2.282	-0.503	-0.688	0.123	-0.515	0.505	6.435	4.936	-1.018
3	-0.350	0.260	2.160	-0.536	-0.735	-0.060	-0.385	0.542	6.144	4.880	-1.060
4	-0.397	0.173	2.722	-0.621	-0.719	0.205	-0.749	0.523	6.345	4.721	-1.103
5	-0.349	0.260	2.293	-0.537	-0.656	0.272	-0.564	0.476	6.383	4.868	-1.010
6	-0.449	0.073	1.827	-0.717	-0.889	-0.942	-0.003	0.663	5.170	4.693	-1.226
7	-0.487	0.005	2.746	-0.795	-0.539	0.187	-0.992	0.366	6.363	4.592	-1.035
8	-0.386	0.187	2.175	-0.608	-0.647	0.063	-0.507	0.466	6.153	4.804	-1.024
9	-0.424	0.144	3.200	-0.668	-0.668	0.750	-1.103	0.475	6.812	4.743	-1.112
10	-0.437	0.081	2.224	-0.706	-0.585	0.021	-0.616	0.411	6.007	4.645	-1.014
...											
90	-0.559	-0.095	2.807	-0.916	-0.795	-0.776	-0.718	0.571	5.848	4.613	-1.269
91	-0.398	0.155	2.593	-0.628	-0.641	0.617	-0.769	0.458	6.287	4.649	-1.049
92	-0.252	0.461	2.910	-0.351	-0.667	1.496	-0.916	0.490	7.319	5.080	-0.991
93	-0.272	0.389	2.296	-0.379	-0.998	0.092	-0.141	0.766	5.826	4.807	-1.202
94	-0.488	0.062	3.229	-0.779	-0.795	-0.092	-0.967	0.574	6.618	4.840	-1.244
95	-0.416	0.109	2.363	-0.662	-0.690	0.027	-0.570	0.499	5.854	4.556	-1.078
96	-0.405	0.158	2.340	-0.640	-0.689	0.016	-0.555	0.499	6.135	4.772	-1.075
97	-0.407	0.116	2.288	-0.643	-0.765	-0.295	-0.433	0.563	5.600	4.500	-1.116
98	-0.262	0.397	2.459	-0.376	-0.630	1.041	-0.691	0.462	6.682	4.837	-0.940
99	-0.186	0.605	2.621	-0.216	-0.920	0.776	-0.423	0.706	7.039	5.309	-1.111
100	-0.555	-0.058	3.713	-0.898	-0.803	0.293	-1.256	0.572	6.655	4.664	-1.321

Г2. Результаты численных экспериментов с использованием разработанного метода
(выдержка)

№ эксперимента	Изменение параметра состояния, полученное методом MTQFD										
	param1	param2	param3	param4	param5	param6	param7	param8	param9	param10	param11
1	-0.062	-0.074	-0.042	-0.112	-6.47E-03	-0.011	0.03	-1.07E-03	7.713	0.167	-7.763
2	-0.067	-0.082	-0.054	-0.122	0.000	0.003	0.030	-0.007	7.884	0.174	-7.690
3	-0.091	-0.110	-0.071	-0.165	-0.005	-0.002	0.045	-0.005	7.715	0.244	-7.550
4	-0.058	-0.071	-0.041	-0.106	-0.002	0.002	0.024	-0.005	7.728	0.150	-7.794
5	-0.076	-0.093	-0.061	-0.138	0.002	0.008	0.031	-0.010	7.488	0.191	-7.529
6	-0.099	-0.118	-0.076	-0.180	-0.010	-0.024	0.054	-0.002	7.048	0.272	-7.460
7	-0.122	-0.151	-0.087	-0.221	0.005	0.011	0.040	-0.017	7.035	0.295	-6.811
8	-0.099	-0.122	-0.080	-0.180	0.002	0.006	0.041	-0.012	7.617	0.251	-7.536
9	-0.105	-0.129	-0.065	-0.191	-0.004	0.015	0.040	-0.007	7.161	0.268	-7.172
10	-0.118	-0.145	-0.093	-0.214	0.006	0.009	0.044	-0.017	7.052	0.290	-7.036
...											
90	-0.094	-0.113	-0.056	-0.170	-0.009	-0.025	0.041	-0.002	7.511	0.248	-7.418
91	-0.101	-0.125	-0.075	-0.184	0.003	0.019	0.038	-0.013	7.076	0.251	-7.391
92	-0.073	-0.089	-0.055	-0.132	0.000	0.025	0.029	-0.008	7.507	0.185	-7.754
93	-0.072	-0.080	-0.045	-0.128	-0.024	-0.013	0.053	0.012	7.074	0.228	-7.510
94	-0.090	-0.107	-0.048	-0.163	-0.012	-0.013	0.040	0.001	7.827	0.241	-7.554
95	-0.084	-0.103	-0.063	-0.153	0.000	0.002	0.034	-0.008	7.382	0.214	-7.552
96	-0.086	-0.106	-0.067	-0.157	0.000	0.002	0.036	-0.009	7.816	0.221	-7.801
97	-0.066	-0.080	-0.048	-0.120	-0.003	-0.006	0.030	-0.004	6.933	0.174	-7.220
98	-0.084	-0.103	-0.067	-0.153	0.000	0.026	0.036	-0.009	7.598	0.217	-7.588
99	-0.078	-0.089	-0.050	-0.141	-0.022	0.003	0.055	0.010	7.959	0.243	-7.766
100	-0.083	-0.100	-0.037	-0.150	-0.009	-0.004	0.030	-0.001	7.596	0.214	-7.854

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Проект СТП «Применение матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов» (выдержка)



Содержание		СТП 1.055-23
1 Назначение.....		1
2 Область применения.....		2
3 Ответственность.....		2
4 Определения, сокращения, обозначения.....		2
5 Нормативные ссылки.....		4
6 Описание процесса.....		4
6.1 Общие положения.....		4
6.2		
7 Документация и срок хранения.....		12
8 Изменения.....		12
9 Распределение.....		12
10 Приложения.....		12

Предисловие		СТП 1.055-23
1 РАЗРАБОТАН Конфедерацией производителей летательных аппаратов и устройств авиационного назначения в машиностроении Самарского университета и дирекцией по качеству ЗАО Самарская Кабельная Компания		
2 Настоящий стандарт является собственностью ЗАО Самарская Кабельная Компания		
3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ		
<p>Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространён в качестве официального издания без разрешения ЗАО Самарская Кабельная Компания</p>		
		II

СТП 1.055-23

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ЗАО СКК

В.Ф. Ключников

" " _____ 2013 г.

СТАНДАРТ ПРЕДПРИЯТИЯ

Система менеджмента качества

Система экологического менеджмента

**Система менеджмента в области охраны труда и предупреждения профес-
сиональных заболеваний****ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЧНОЙ МЕТОДИКИ MTQFD
ПРИ РАЗРАБОТКЕ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ И ПРОЦЕССОВ**

Дата введения: 2023 - -

1 НАЗНАЧЕНИЕ

1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок выполнения работ по применению матричного метода MTQFD при разработке и модернизации продукции и процессов.

2 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Требования настоящего стандарта являются обязательными в организациях для всех структурных подразделений, действующих в системе менеджмента и участвующих в межфункциональной команде по разработке и модернизации продукции и процессов.

3 ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Ответственным за разработку данного стандарта является Директор по качеству, за исполнение – руководители структурных подразделений, применяющие данный стандарт.

Разрешение на применение стандарта и его прием в документированную систему менеджмента качества осуществляет Генеральный директор.

1

4 ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ
СТП 1.055-23**4.1 Определения**

QFD (Quality Function Deployment), развертывание (структурирование) функций качества – метод, целью которого является преобразование голоса потребителя (требований и ожиданий) в технические характеристики продукции и рабочие инструкции, а также визуализация и документирование планирования качества продукции.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), анализ видов и последствий потенциальных несоответствий – метод, целью которого является изучение областей по оценке влияния потенциальных несоответствий с количественным анализом последствий и причин несоответствий.

MTQFD (Matrix Technique QFD) – матричная методика QFD определения приоритетов и целевых значений технических характеристик продукции и параметров процесса

4.2 Сокращения

ГОСТ Р -	национальный стандарт России
ЗАО СКК -	Закрытое акционерное общество Самарская Кабельная Компания
ИСО -	международная организация по стандартизации
КПП -	кабельно-проволочная продукция
МПК -	метод наименьших квадратов
СТП -	стандарт предприятия
ТП -	технологический процесс.

4.3 Обозначения

Обозначения отсутствуют.

5 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- МС (ГОСТ Р) ISO 9000:2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
- МС (ГОСТ Р) ISO 9001:2015 Системы менеджмента качества. Требования
- ИСО/ТУ 16949:2002 Особые требования по применению стандарта ИСО 9001:2000 в автомобильной промышленности, поставщикам соответствующих составных частей
- ГОСТ Р 1.4-03 Стандарты отраслей, стандарты предприятий, стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений. Общие положения
- ГОСТ Р 1.5-2002 Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов
- Руководство FMEA Анализ видов и последствий потенциальных отказов
- СТП 1.047-05 Порядок подготовки и проведения работ по изготовлению, но- вым/модернизируемым изделиям
- СТП 1.050-06 Применение интегрированного метода структурирования функций качества и анализа рисков
- При004 Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкций и процессов
- При003 Организация работы межфункциональных команд

2

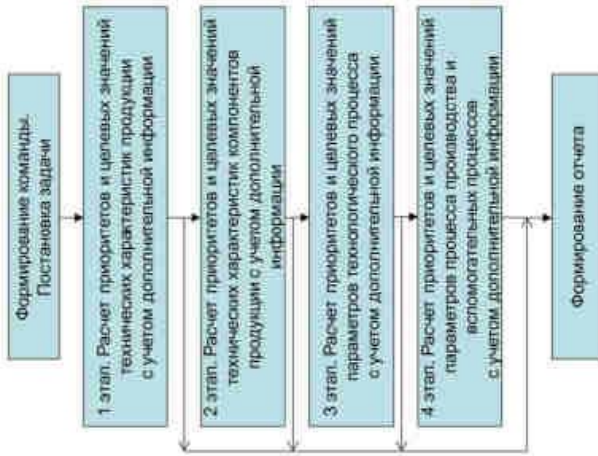


Рис.1

6.2.1.2 Определяется наличие дополнительной информации:

- о возможных изменениях характеристик,
- о погрешностях в данных маркетинга и бенчмаркинга,
- о возможных погрешностях экспертных оценок,
- о взаимосвязях характеристик.

Данные о дополнительной информации заносятся в соответствующую таблицу Excel.

6.2.1.3 Задается программный модуль, MTOFD и MABSCAD и, при необходимости, уточняется исходная и дополнительная информация.

6.2.1.4 Расчет производится автоматически, при необходимости, можно запустить перерасчет вручную слайдом AI-R9.

Результаты расчета приоритетов и целевых значений занесены в файлы Excel, автоматически выгружаются в файлы Excel.

6. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА

6.1 Обзор изменений

6.1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок выполнения работ по применению матричной модели MTOFD при разработке и модернизации продукции и процессов.

6.1.2 Матричная модель MTOFD при разработке и модернизации продукции и процессов применяется в следующих случаях:

- освоение производства новой марки КПП;
- изменение продукции выпускаемой маркой, если изменение связано с изменением конструкции или применением новых производственных процессов;
- по требованию заказчика.

6.1.3 Методика реализуется межфункциональной командой параллельно с процессом подготовки и внедрения новой/модернизированной продукции (в соответствии с СТП 1.047-05 и СТП 1.050-06) и применяется для расчета приоритетов и целевых значений технических характеристик продукции или параметров процессов.

Команда формируется в соответствии с Пр003.

6.1.4 Результаты применения оформляются в виде отчета по форме Приложения А.

6.2 Проведение работ

В зависимости от поставленных перед разработчиками задач, потребностей и наличия исходных данных, возможно применение Методика для расчета приоритетов и целевых значений всех характеристик и параметров процессов или отдельно (рис.1):

- характеристик продукции (Этап 1, раздел 6.2.1),
- характеристике компонентов продукции (Этап 2, раздел 6.2.2),
- параметром технологического процесса (Этап 3, раздел 6.2.3),
- параметром производственных и вспомогательных процессов (Этап 4, раздел 6.2.4).

6.2.1 На первом этапе MTOFD (рис.2) изучается только потребность и определяется приоритеты и целевые значения технических характеристик продукции с учетом дополнительной информации.

6.2.1.1 Команда экспертов на основе собственной базы знаний и информации об имеющихся аналогах предлагает концепцию конструкции продукции с перечнем характеристик, которые выдвигают все выданные требования потребителей.

Исходные данные заносятся в соответствующую таблицу Excel: Р – вектор относительных значе-ний важности требований потребителей, К – вектор важности требований с точки зрения конкурентоспособности, H1 – линейная модель (матрица) взаимосвязей требований и обобщенных характеристик, R1 (при необходимости) – вектор оценки риска выполнения требований характеристикami продукции.

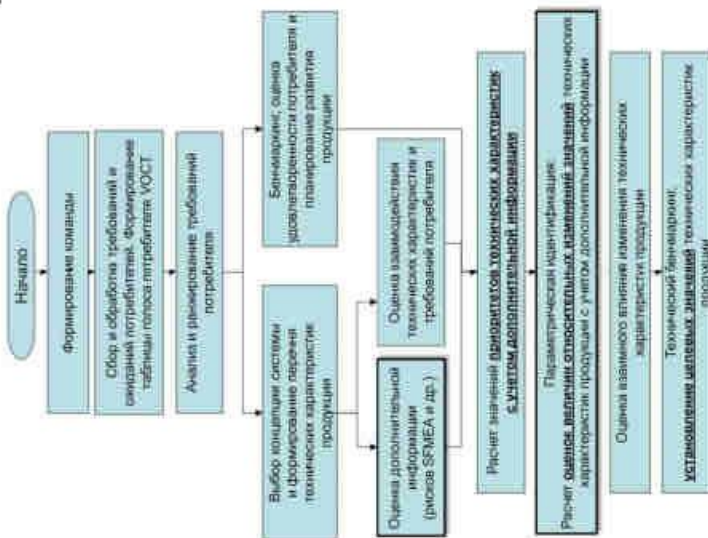


Рис.2

Результующий файл MTQFD results.xlsx во вкладки «MTQFD Q1» содержит:

- приоритеты характеристик, рассчитанные стандартным методом QFD, без учета дополнительной информации,
 - приоритеты и оценки изменения целевых значений характеристик, рассчитанные методом наименьших квадратов МНК.
- 6.2.1.3 Принимается решение о последовательности и степени изменения целевых значений характеристик продукции.
- Рекомендуется принимать решение на основе данных, рассчитанных методом наименьших квадратов.

В случае, когда задача ограничивается первым этапом – оформляется отчет в соответствии с приложением А.

6.2.2 На втором этапе MTQFD (рис.3) структурируются и определяются приоритеты и целевые значения технических характеристик компонентов (систем/подсистем) с учетом дополнительной информации.

6.2.2.1 Команда экспертов разрабатывает уточненную конструкцию продукции и соответствующий перечень компонентов и характеристик, которые реализуют определяемые на первом этапе характеристики продукции.

Для выполнения расчетов и определения приоритетов характеристик компонентов КПП при реализации второго этапа MTQFD в электронных таблицах MS Excel формируются массивы данных: Н2 – дробная модель (матрица) взаимосвязей обобщенных характеристик КПП и характеристик компонентов КПП, R2 (при необходимости) – вектор оценки риска выполнения требований характеристикami компонентов.

6.2.2.2 Определяется название дополнительной информации:

- о возможных изменениях характеристик компонентов,
- об изменчивости характеристик продукта,
- о возможных потребностях клиентов/опеннов,
- о взаимосвязях характеристик компонентов.

Данные о дополнительной информации заносятся в соответствующую таблицу Excel.

6.2.2.3 Заносится программный модуль MTQFD в MathCAD и, при необходимости уточняется исходная и дополнительная информация.

6.2.2.4 Расчет производится автоматически, при необходимости, можно запустить, перерасчет вручную клавишами Alt-F9.

Результаты расчета приоритетов и целевых оценок изменения целевых значений характеристик автоматически выгружаются в файлы Excel.

Результующий файл MTQFD results.xlsx во вкладке «MTQFD Q2» содержит:

- приоритеты характеристик компонентов, рассчитанные стандартным методом QFD, без учета дополнительной информации,
- приоритеты и оценки изменения целевых значений характеристик компонентов, рассчитанные методом наименьших квадратов МНК.

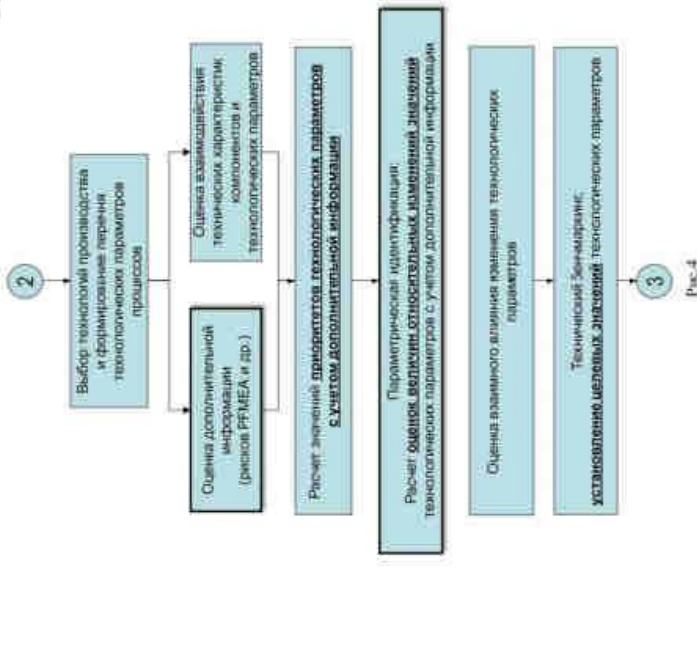


Рис. 4

6.2.3.1 Команда экспертов на основе собственной базы знаний в информации об имеющихся аналогах технологических процессов разрабатывает технологический процесс и перечень параметров технологического процесса, которые реализуют определённые на первом и втором этапах характеристики компонентов продукции и конечной продукции.

Для выполнения расчетов и определения приоритетов параметров операций технологического процесса производится КПП при реализации третьего этапа МТОФД в электронных таблицах MS Excel формируются массивы данных: ПЗ – линейная модель (матрица) взаимосвязей характеристик компонентов и параметров операций технологического процесса производства КПП, КЗ (при необходимости) – вектор оценки риска реализации характеристик продукции и компонентов за счет параметров операций технологического процесса производства КПП.

6.2.3.2 Определяется наличие дополнительной информации:

- о возможных изменениях параметров технологического процесса,
- об изменчивости характеристик компонентов,
- о возможных погрешностях экспертных оценок,
- о взаимосвязях параметров технологического процесса.

Данные о дополнительной информации заносится в соответствующую таблицу Excel.

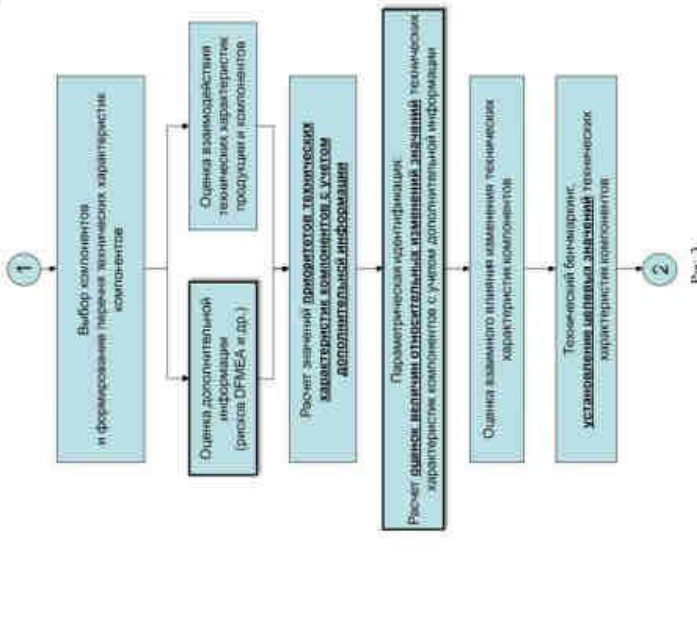


Рис. 3

6.2.2.5 Принимается решение о последовательности и степени изменения целевых значений характеристик компонентов.

Рекомендуется принимать решение на основе данных, рассчитанных методом МНК.

В случае, когда выбор ограниченывается вторым этапом – оформляется отчет и согласованы с приложением А.

6.2.3 На первом этапе МТОФД (рис.4) структурируются и определяются операции и приоритеты параметров технологического процесса (П) с учетом дополнительной информации.

6.2.3.3 Запускается программный модуль MTQFD в МайсАД и, при необходимости уточняется исходная и дополнительная информация.

6.2.3.4 Расчет производится автоматически, при необходимости, можно запустить перерасчет вручную клавишами Alt-F9.

Результаты расчета приоритетов и целевых оценок изменения целевых значений характеристик автоматически выгружаются в файлы Excel.

Результирующий файл MTQFD results.xls во вкладки «MTQFD Q3» содержит:

- приоритеты параметров ТП, рассчитанные стандартным методом QFD, без учета дополнительной информации;
- приоритеты и оценки изменения целевых значений параметров ТП, рассчитанные МНК.

6.2.3.5 Принимается решение о последовательности и степени изменения целевых значений параметров технологического процесса.

Рекомендуется принимать решение на основе данных, рассчитанных методом МНК.

В случае, когда задача ограничивается третьим этапом – оформляется отчет в соответствии с приложением А.

6.2.4 На четвертом этапе MTQFD (рис.5): структурируются и определяются операции и приоритеты параметров процесса производства и вспомогательных операций с учетом дополнительной информации.

6.2.4.1 Команда экспертов, на основе собственной базы знаний и информации об аналогичных производствах и рабочих местах, разрабатывает вспомогательные (обеспечивающие) процессы и действия, осуществляемые на рабочих местах (деятельность не только операторов, но и подлинников, контролеров, ремонтников и других вспомогательных служб). Формируется перечень параметров действий, осуществляемых на рабочих местах (и не включивших и технологической процесс), которые обеспечивают выполнение параметров операций технологического процесса, определяемые на третьем этапе и реализацию технических характеристик компонентов продукции и продукции в целом.

Для выполнения расчетов и определения приоритетов параметров операций процесса производится КПИ при реализации четвертого этапа MTQFD в электронных таблицах MS Excel формируются рабочие листы: И4 – линейная модель (матрица взаимосвязей параметров ТП и параметров действий), осуществляемых на рабочем месте, R4 (при необходимости) – вектор оценки риска реализации параметров операций, осуществляемых на рабочем месте.

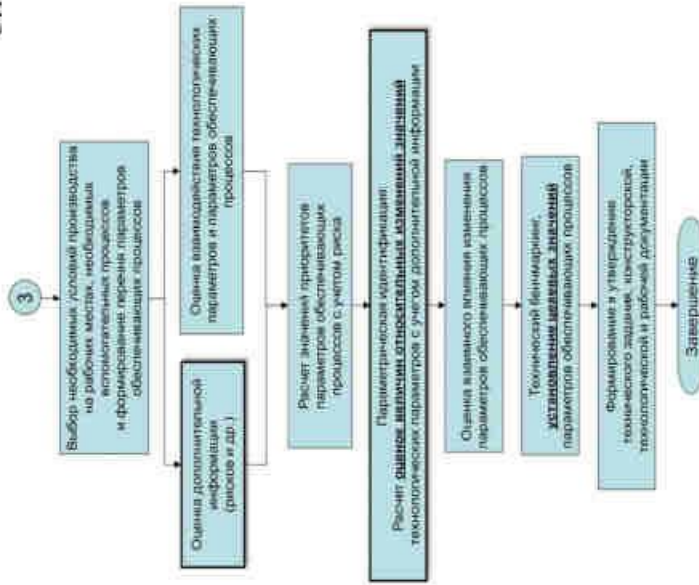


Рис.5.

6.2.4.2 Определяется наличие дополнительной информации:

- о возможных изменениях параметров процесса производства/вспомогательных операций,
- об изменении параметров ТП,
- о возможных погрешностях экспертных оценок,
- о взаимосвязях параметров производственного процесса, вспомогательных операций.

Данные о дополнительной информации заносятся в соответствующие таблицы Excel.

6.2.4.3 Запускается программный модуль MTQFD в МайсАД и, при необходимости уточняется исходная и дополнительная информация.

6.2.4.4 Расчет производится автоматически, при необходимости, можно запустить перерасчет вручную клавишами Alt-F9.

Результаты расчета приоритетов и целевых оценок изменения целевых значений характеристик автоматически выгружаются в файлы Excel.

СТП 1.055-23

Регулирующий файл MTQFD results.xls во вложении «MTQFD Q4» содержит:

- приоритеты параметров производства и вспомогательных операций, рассчитанные стандартным методом QFD, без учета дополнительной информации;
- приоритеты и оценки изменения целевых значений параметров производительности и вспомогательных операций, рассчитанные методом МНК.

6.2.4.5 Принимается решение о последовательности и степени изменения целевых значений параметров производительности и вспомогательных операций.

Рекомендуется принимать решение на основе данных, рассчитанных методом МНК.

6.3 Оформление результатов работы

По результатам работы оформляется отчет (Приложение А), с указанием результатов расчета приоритетов и целевых значений веса:

- характеристик продукции (Этап 1, раздел 6.2.1);
- характеристик компонентов продукции (Этап 2, раздел 6.2.2);
- параметров технологического процесса (Этап 3, раздел 6.2.3);
- параметров производственных и вспомогательных процессов (Этап 4, раздел 6.2.4).

7 ДОКУМЕНТАЦИЯ И СРОКИ ХРАНЕНИЯ

Оригинал настоящего стандарта хранится в течение его срока действия у начальника ОРСУ. Службы качества.

Срок действия – постоянно.

8 ИЗМЕНЕНИЯ

Изменения настоящего стандарта проводит разработчик или инженер по качеству ОРСУ по поручению об изменении, согласованному с Представителем руководства по качеству и лицами, согласованными стандартом.

9 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Копии настоящего стандарта направляются следующим должностным лицам и структурным подразделениям, действующим в системе менеджмента качества:

10 ПРИЛОЖЕНИЯ

Результаты применения методики MTQFD.

Директор по качеству:

Представитель руководства по качеству

В.Н. Родионов

СОГЛАСОВАНО:

Главный специалист по системам управления

Т.В. Попова

11

СТП 1.055-23

Приложение А
(обязательное)

Результаты применения матричной методики MTQFD при разработке и модернизации продукции и технологических процессов

№ п/п	Характеристика продукции или компонента, параметр технологического процесса или действий, осуществляемых на работе или месте	Приоритет, %	Оценки изменения целевого значения, %	Ранг в плане оптимизации
1	2	3	4	5

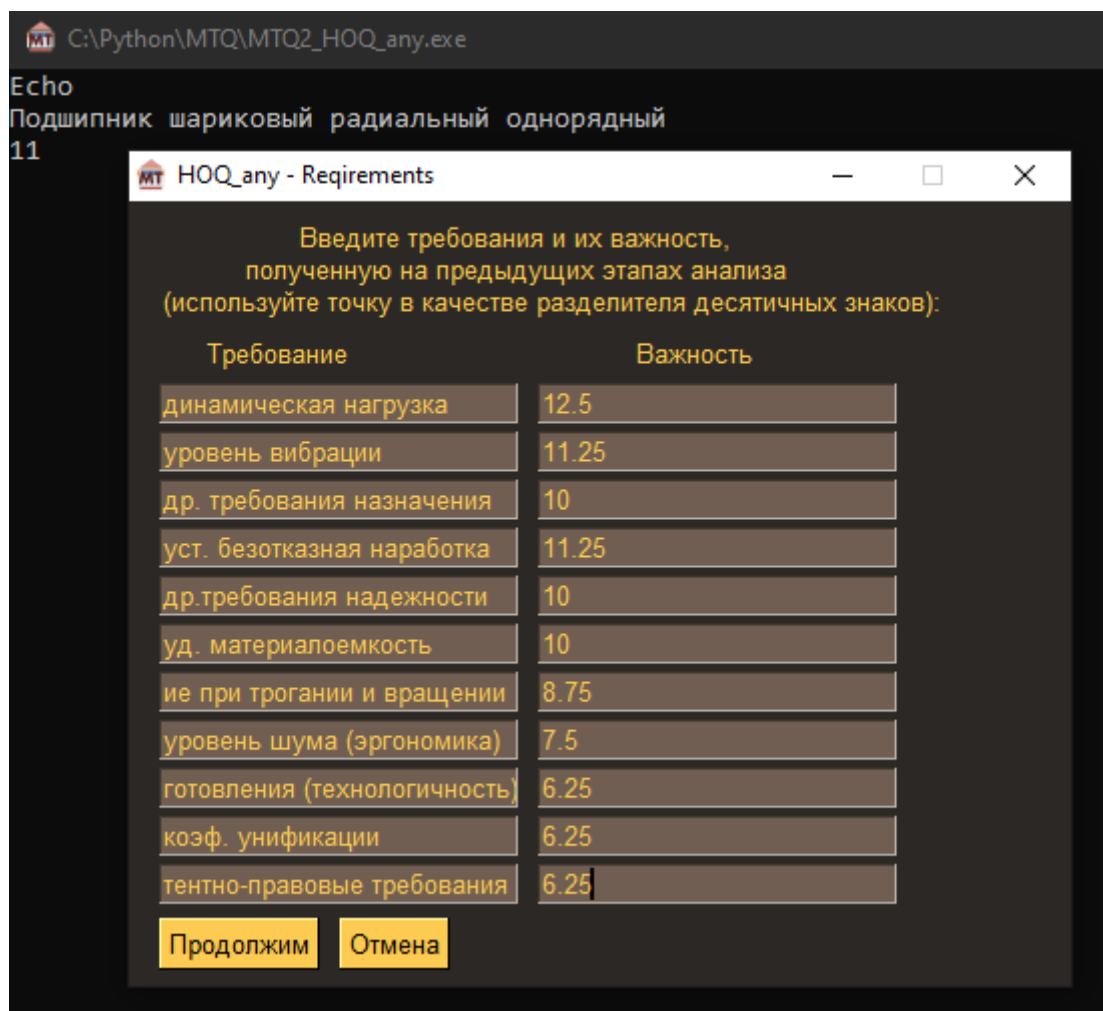
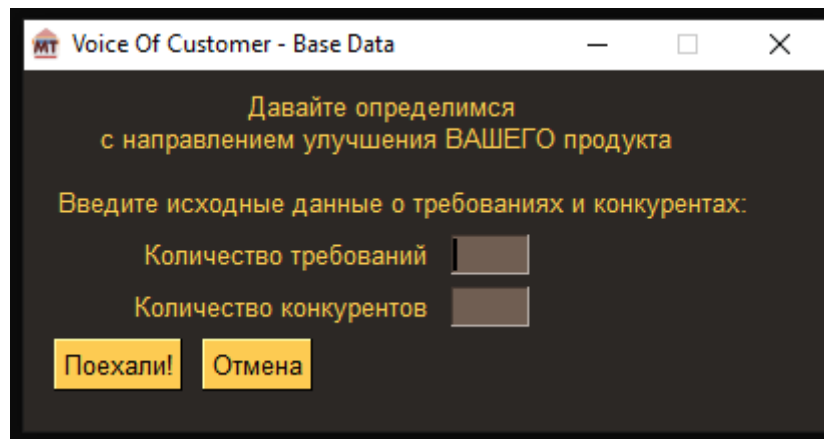
Руководитель команды:

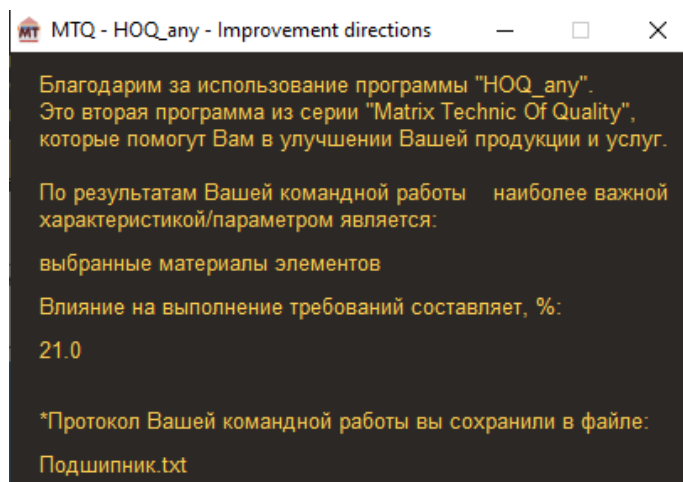
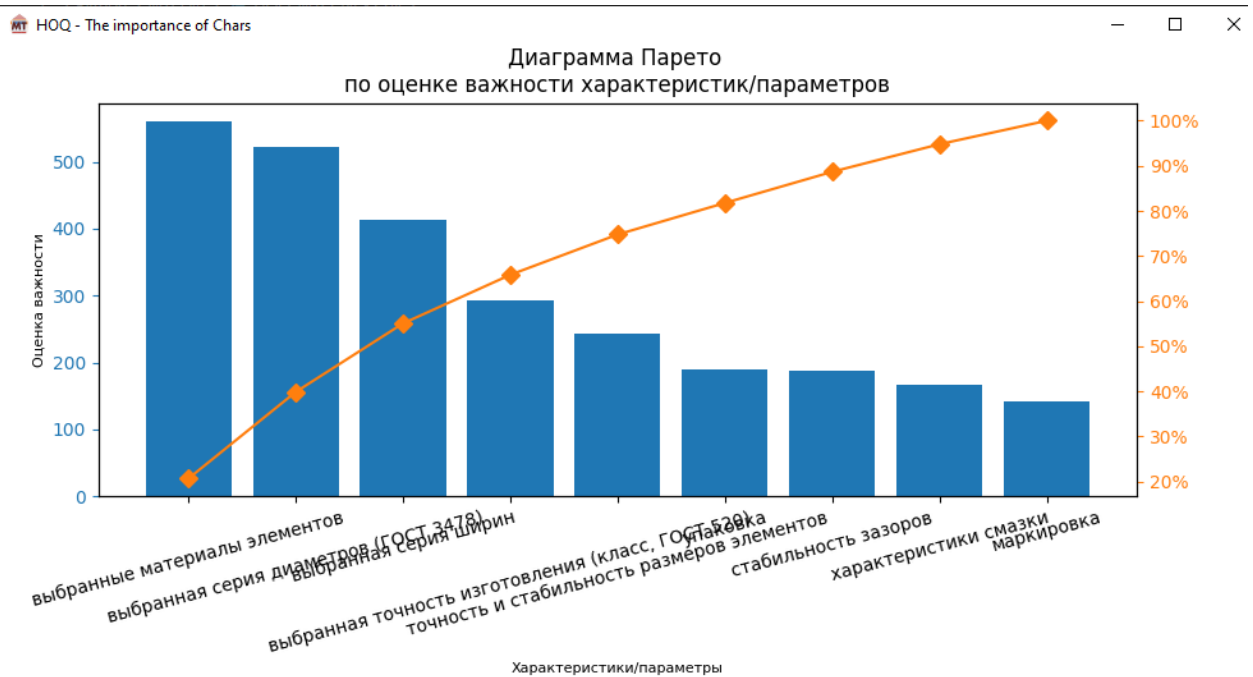
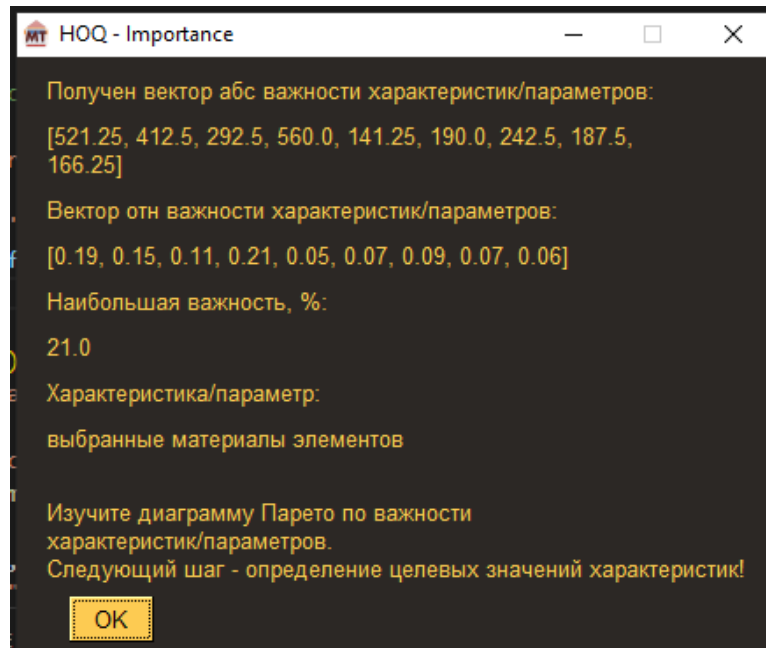
Команда экспертов:

14

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Пример интерфейса прототипа экспертной системы





ПРИЛОЖЕНИЕ И

Пример протоколирования результатов работы предлагаемой экспертной системы
на примере проектирования авиационного подшипника

К1. Протокол упрощенного варианта QFD 1 уровня

2022-02-06 18:11:57.702388

Протокол Принятия решения

-----QFD1 by MTA, SSAU

Объект принятия решения:

Подшипник качения шариковый

Количество Требований:

4

Требования:

('Дин_грузоподъемность', 'Надежность', 'Эксплуатационная технологичность',
'Эстетика')

Исходная значимость требований (10-балльная шкала):

[10 9 7 3]

Исходная отн значимость требований, %:

[0.34482759 0.31034483 0.24137931 0.10344828]

Отн значимость требований с учетом рынка, %:

[30.45685279 27.41116751 28.42639594 13.70558376]

Количество Характеристик 1 уровня:

5

Характеристики 1 уровня:

('Размеры_элементов', 'Зазоры', 'Прочностные_хар_элементов', 'Хар_смазки',
'Маркировка')

Отн важность характеристик 1 уровня с учетом рынка, %:

[33.13, 10.8, 27.84, 20.11, 8.11]

Наиболее важная характеристика с учетом рынка:

Размеры_элементов

Значения ПЧР характеристик 1 уровня:

[40 200 200 20 400]

Отн важность характеристик 1 уровня с учетом риска и рынка, %:

[10.43, 17.01, 43.84, 3.17, 25.55]

Наиболее важная характеристика 1 уровня с учетом риска и рынка, %:

Прочностные_хар_элементов

K1. Протокол оценки важности характеристик

2023-07-04 16:06:41.713332

Протокол оценки важности характеристик/параметров

-----HOQ_any from Matrix Technic Of Quality by MTA, SSAU

Исходные данные

Предмет улучшения:

Подшипник шариковый радиальный однорядный

Количество требований:

11

Требования:

['динамическая нагрузка', 'уровень вибрации', 'др. требования назначения', 'уст. безотказная наработка', 'др. требования надежности', 'уд. материалоемкость', 'удельное энергопотребление при трогании и вращении', 'уровень шума (эргономика)', 'уд. трудоемкость изготовления (технологичность)', 'коэф. унификации', 'патентно-правовые требования']

Важность требований:

[12.5, 11.25, 10.0, 11.25, 10.0, 10.0, 8.75, 7.5, 6.25, 6.25, 6.25]

Мы определили количество характеристик:

9

Перечень характеристик/параметров:

['выбранная серия диаметров (ГОСТ 3478)', 'выбранная серия ширин', 'выбранная точность изготовления (класс, ГОСТ 520)', 'выбранные материалы элементов', 'маркировка', 'упаковка', 'точность и стабильность размеров элементов', 'стабильность зазоров', 'характеристики смазки']

Характеристики/параметры:

['выбранная серия диаметров (ГОСТ 3478)', 'сверхлегкая 8', '', 'выбранная серия ширин', 'нормальная 1', '', 'выбранная точность изготовления (класс, ГОСТ 520)', '6', '', 'выбранные материалы элементов', 'сталь ШХ15', '', 'маркировка', 'лазерная', '', 'упаковка', 'вакуумная с защитой', '', 'точность и стабильность размеров элементов', 'Срк = 1,67', '', 'стабильность зазоров', 'Срк = 1', '', 'характеристики смазки', 'стандартная', '']

Матрица взаимосвязи:

[[9, 0, 3, 3, 9, 9, 3, 1, 9, 3, 9], [9, 1, 3, 1, 3, 9, 3, 1, 3, 3, 9], [1, 3, 3, 3, 3, 1, 3, 3, 9, 3], [9, 1, 3, 9, 9, 9, 1, 3, 9, 3, 3], [0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 9, 9, 3], [0, 0, 0, 1, 1, 3, 0, 1, 3, 9, 9], [1, 3, 1, 3, 3, 1, 3, 9, 3, 0, 0], [1, 3, 1, 3, 1, 0, 1, 3, 9, 0, 0], [1, 1, 1, 1, 1, 0, 3, 3, 0, 1, 9]]

Вектор абс важности характеристик/параметров:

[521.25, 412.5, 292.5, 560.0, 141.25, 190.0, 242.5, 187.5, 166.25]

Вектор отн важности характеристик/параметров:

[0.19, 0.15, 0.11, 0.21, 0.05, 0.07, 0.09, 0.07, 0.06]

Наибольшая важность, %:

21.0

Характеристика/параметр:

выбранные материалы элементов