

На правах рукописи

Тулаева Татьяна Сергеевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

2.5.22. Управление качеством. Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении.

Научный руководитель:

Антипов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Наркевич Михаил Юрьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова», кафедра «Промышленного и гражданского строительства», заведующий кафедрой;

Пантюхин Олег Викторович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра «Промышленная автоматика и робототехника», профессор, директор издательства ТулГУ.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара.

Защита состоится 22 апреля 2026 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.379.05, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, Самара, ул. Московское шоссе, д. 34.

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

Автореферат разослан «__» _____ 2026 года

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.05,
доктор технических наук, доцент

Я.А. Ерисов

Общая характеристика работы

Актуальность работы

В настоящее время важной задачей является удовлетворение требований потребителей и повышение конкурентоспособности. Постоянно изменяющиеся потребности рынка и ожесточающаяся конкурентная ситуация предъявляют повышенные требования к способности предприятия адаптироваться к изменяющимся условиям рынка и предлагать новые товары, удовлетворяющие потребностям конечных потребителей. Анализ причин успеха и неудач новых товаров на рынке показывает, что в современных условиях успех новой продукции на 70-90 % зависит от точности соответствия предпочтениям потребителей и лишь на 10-30 % обусловлен техническими/технологическими факторами.

Выполнить требования потребителей возможно только при результативном и эффективном процессе проектирования параметров качества. Особенно важно это для машиностроительной продукции, поскольку параметры качества непосредственно влияют на надежность и восприятие потребителем сложной машиностроительной продукции. На сегодняшний день существующие подходы и инструментарий проектирования параметров качества машиностроительной продукции направлены в первую очередь на решение и недопущение в будущем проблем с качеством продукции, с которыми уже сталкивался потребитель, и не учитывают в полной мере его ожидания и важность отдельных параметров качества. Повысить качество машиностроительной продукции на этапе проектирования можно за счет совершенствования методики проектирования параметров качества.

Процесс проектирования параметров качества, как часть процесса проектирования и разработки машиностроительной продукции, является ключевым для большинства предприятий машиностроения, а значит и повышение результативности функционирования системы менеджмента качества представляет собой приоритетную задачу.

Результатом процесса проектирования и разработки становится машиностроительная продукция, обладающая характеристиками и параметрами качества, которые удовлетворяют, и в ряде случаев, превосходят требования потребителей.

Под характеристикой машиностроительной продукции понимается совокупность свойств и признаков, которые определяют качество и функциональность изделия, а также его соответствие установленным требованиям и стандартам. Нами предлагается уточнить термин параметр качества продукции, чтобы он не дублировал, а дополнял термин характеристика продукции.

Параметр качества продукции – это структурированная характеристика продукции, которая определяет его способность удовлетворять требованиям и ожиданиям потребителей. Параметр качества рассчитывается (определяется) с учетом расчета весомости характеристик продукции и в сравнении с параметрами качества конкурентов. В этом случае, параметр качества становится структурированным, по причине точности и обоснованности расчетов (с учетом весомости характеристик и влияния конкурентов).

Таким образом, ключевой задачей этапа проектирования и разработки продукции является проектирование параметров качества – структурированных характеристик продукции. В диссертационном исследовании рассмотрены подходы к совершенствованию процесса проектирования параметров качества машиностроительной продукции.

Научной проблемой является то, что на сегодняшний день отсутствуют единые подходы и инструментарий проектирования характеристик (показателей качества) машиностроительной продукции, с учетом уровня качества продукции конкурентов и ожиданий потребителей, позволяющих повысить качество выпускаемой продукции на стадии ее проектирования.

Повысить качество машиностроительной продукции на этапе проектирования можно за счет совершенствования методики проектирования показателей качества и расчета их уровней весомости. Отсюда следует актуальность выбранной темы исследования.

Современное состояние вопроса

Значительный вклад в решение теоретических и практических вопросов управления качеством внесли российские и зарубежные ученые: Ю.П. Адлер, В.Н. Азаров, В.А. Барвинок, В.Я. Белобрагин, В.В. Бойцов, Б.В. Бойцов, В.А. Васильев, С.А. Васин, В.Г. Версан, Г.П. Воронин, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, О.В. Пантюхин, М.А. Полякова, Э. Деминг, У. Шухарт, Дж. Джуран, Г. Тагути, К. Исикава, А. Фейгенбаум, Ф. Кросби и др. Вопросами параметрического проектирования качества занимались: Д.В. Антипов, О.И. Антипова, Д.В. Айдаров, Ю.С. Клочков, А.Н. Чекмарев, В.В. Щипанов, и др.

Однако большая часть исследований затрагивает процессы по обеспечению качества производимой продукции на каждом этапе жизненного цикла, которое бы гарантировало получение конечного результата, соответствующего требованиям и ожиданиям потребителя. В меньшей степени уделяется внимание вопросам совершенствования методики проектирования параметров качества, что в настоящий момент является наиболее актуальной проблемой для отечественных предприятий.

В современных деловых условиях компании сталкиваются с очень серьезной конкуренцией, в связи с чем, они вынуждены прилагать большие усилия в удовлетворение требований потребителей и таким образом гарантировать их лояльность.

Целью диссертационного исследования является повышение качества машиностроительной продукции за счет совершенствования подходов к проектированию параметров качества.

Задачи исследования:

1. Провести теоретический анализ существующих подходов и инструментария к проектированию машиностроительной продукции и определению параметров качества.
2. Провести моделирование процесса проектирования параметров качества машиностроительной продукции для обеспечения ее конкурентоспособности.
3. Разработать методики расчета значимости характеристик с учетом закона Вебера-Фехнера.
4. Провести комплексную апробацию предложенных решений по проектированию параметров качества машиностроительной продукции.

Область исследования соответствует п. 5. «Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством» и п. 9. «Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов» направлений исследования паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством. Стандартизация. Организация производства.

Объектом исследования является процесс проектирования параметров качества машиностроительной продукции.

Предметом исследования выступают модели, методики и процедуры проектирования параметров качества машиностроительной продукции.

Методы исследования: математическое и структурно-функциональное моделирование процессов проектирования параметров качества, экспертные методы оценки и управления параметрами качества, статистические методы оценки и повышения качества выпускаемой продукции машиностроения такие как QFD и другие, а также экспериментальные исследования с целью проверки адекватности теоретических положений.

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационного исследования:

1. Классификатор методов проектирования параметров качества машиностроительной продукции, содержащий все существующие методы проектирования параметров качества, и отличающийся от существующих наличием области применения (п. 9. «Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов»).

2. Структурно-функциональная модель процесса проектирования машиностроительной продукции, содержащая этапы проектирования параметров качества, отличающаяся от существующих тем, что при проектировании параметров качества проводится сравнение с конкурентами (п. 9. «Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов»).

3. Методика уточнения весовых характеристик продукции при развертывании функций качества, содержащая математическую модель расчета весоности характеристик продукции в зависимости от уровня качества конкурентов и алгоритм сравнения моделей расчета весоности характеристик продукции в зависимости от уровня качества конкурентов (п. 5. «Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством»).

4. Методика расчета значимости характеристик продукции с учетом закона Вебера-Фехнера, содержащая математическую модель расчета весоности характеристик продукции и модель расчета весоности бала с учетом закона Вебера-Фехнера (п. 5. «Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством»).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость результатов работы заключается в разработке структурно-функциональной модели проектирования параметров качества машиностроительной продукции, которая обеспечивает удовлетворение требований потребителя, и при этом учитывает уровень качества продукции конкурентов.

Практическая значимость заключается в разработке методики расчета значимости характеристик с учетом закона Вебера-Фехнера, а также в применении математических моделей при проектировании параметров качества машиностроительной продукции с учетом уровня качества конкурентов.

Положения, выносимые на защиту

1. Классификатор методов проектирования параметров качества.
2. Структурно-функциональная модель процессов проектирования машиностроительной продукции.

3. Методика уточнения весовых характеристик продукции при развертывании функций качества.

4. Методика расчета значимости характеристик с учетом закона Вебера-Фехнера.

5. Результаты применения разработанных решений по проектированию параметров качества машиностроительной продукции.

Степень достоверности

Достоверность научных положений, выводов и результатов исследования обеспечивается анализом существующих подходов к проектированию параметров качества машиностроительной продукции, валидацией предложенных моделей и методик, практикой их применения в отдельных организациях.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях: Международная научно-прикладной конференции «Современные информационные технологии в управлении качеством», Пенза (2012), Международная молодежная научная конференция «XII Королевские чтения», Самара (2013), круглых столах и семинарах, посвящённых актуальным проблемам

управления качеством, проводимых в Самарском университете им. академика С.П. Королева (2024). Также апробация разрабатываемых моделей и методик проведена на предприятиях АО «Метровагонмаш», ООО «Самараавтожгут» и в сервисном центре Nissan.

Публикации по теме диссертации

Материалы, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 13 научных трудах, в том числе 5 работ – в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 107 наименований. Работа содержит 143 страницы печатного текста, 51 рисунок и 43 таблицы.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и задачи исследования, определен объект и предмет исследования, указана научная новизна положений, выдвигаемых на защиту, а также практическая ценность и достоверность полученных результатов.

В первой главе проведен теоретический анализ существующих подходов и инструментария по проектированию параметров качества машиностроительной продукции.

Теоретический анализ показал, что большая часть исследований затрагивает процессы по обеспечению качества производимой продукции на каждом этапе жизненного цикла, которое бы гарантировало получение конечного результата, соответствующего требованиям и ожиданиям потребителя. В меньшей степени уделяется внимание вопросам конкурентоспособности предприятий и степени удовлетворенности потребителей машиностроительной продукцией, что в настоящий момент является наиболее актуальной проблемой для отечественных предприятий, на которую и влияют процессы проектирования и разработки машиностроительной продукции.

В теории управления качеством процесс проектирование и разработка состоит из двух составляющих: проектирование и разработка продукта; проектирование и разработка процесса (процесса производства продукта). В соответствии с процессной логикой, процесс проектирования параметров качества является подпроцессом процесса проектирования и разработки. Проведенный анализ позволил систематизировать, обобщить и разработать типовые этапы проектирования и разработки продукции и процессов.

Ключевым этапом процесса проектирования и разработки является стадия проектирования и разработки продукции, содержащая:

- 1) Проведение QFD-анализа.
- 2) Проектно-конструкторская проработка продукта и САД проектирование.
- 3) Проведение DFMEA-анализа.
- 4) Параметрическое проектирование.
- 5) Разработка диаграммы потока процессов ДПП.
- 6) Разработка программы испытаний.
- 7) Проведение виртуальных испытаний в программной системе инженерного анализа (например, ANSYS).
- 8) Изготовление опытного образца.
- 9) Проведение экспериментальной отработки, для подтверждения адекватности 3D-модели процесса виртуальных испытаний.
- 10) Уточнение 3D-модели продукции по результатам испытаний.

На основании проведенного исследования построена типовая диаграмма SIPOC для машиностроительного предприятия, приведенная на рисунке 1.

Универсальным инструментом разработки продукции является QFD-анализ, формирующий непрерывный информационный поток, гарантирующий, что все элементы производственной системы взаимосвязаны и подчинены потребительским требованиям и

являются основанием для параметрического проектирования качества машиностроительной продукции. С точки зрения руководства предприятия, внедрение QFD-анализа рассматривается как усовершенствование конструкции, технологии и производства с целью экономии издержек, повышения качества и других стратегических целей, позволяющих обеспечить конкурентоспособность организации. Установлено, что недостатками существующего подхода является то, что в методе расчета значимости характеристик продукции не учитывается степень отставания продукции организации от конкурентов.

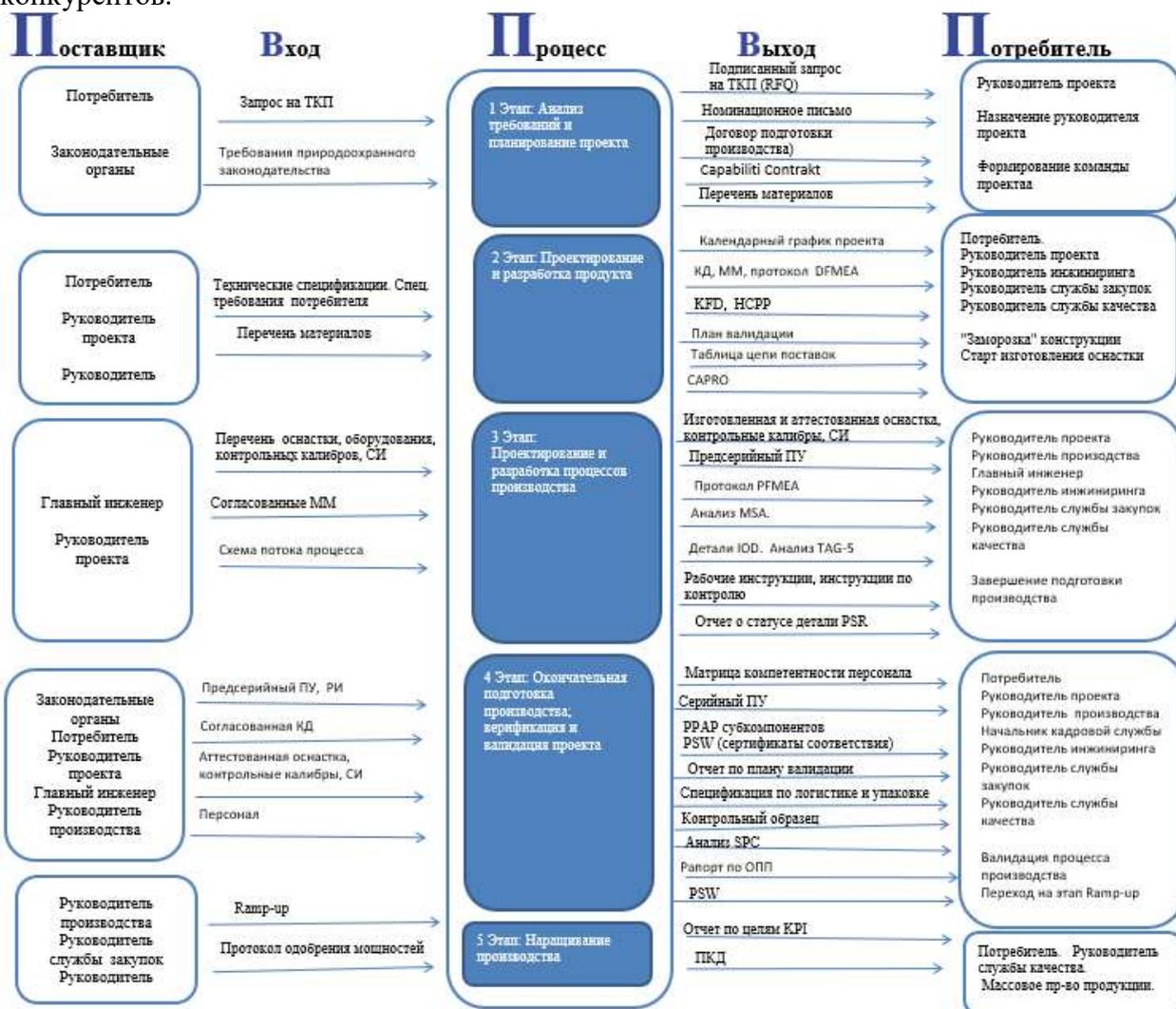


Рисунок 1 – Диаграмма SIPOC процесса проектирования машиностроительной продукции

Для повышения результативности процесса параметрического проектирования разработан классификатор методов проектирования параметров качества машиностроительной продукции, содержащий все существующие методы проектирования параметров качества, и отличающийся от существующих наличием области применения (рисунок 2).

Разработана и формализована в виде последовательности действий и результатов методика развертывания требований потребителей с учетом профиля качества.

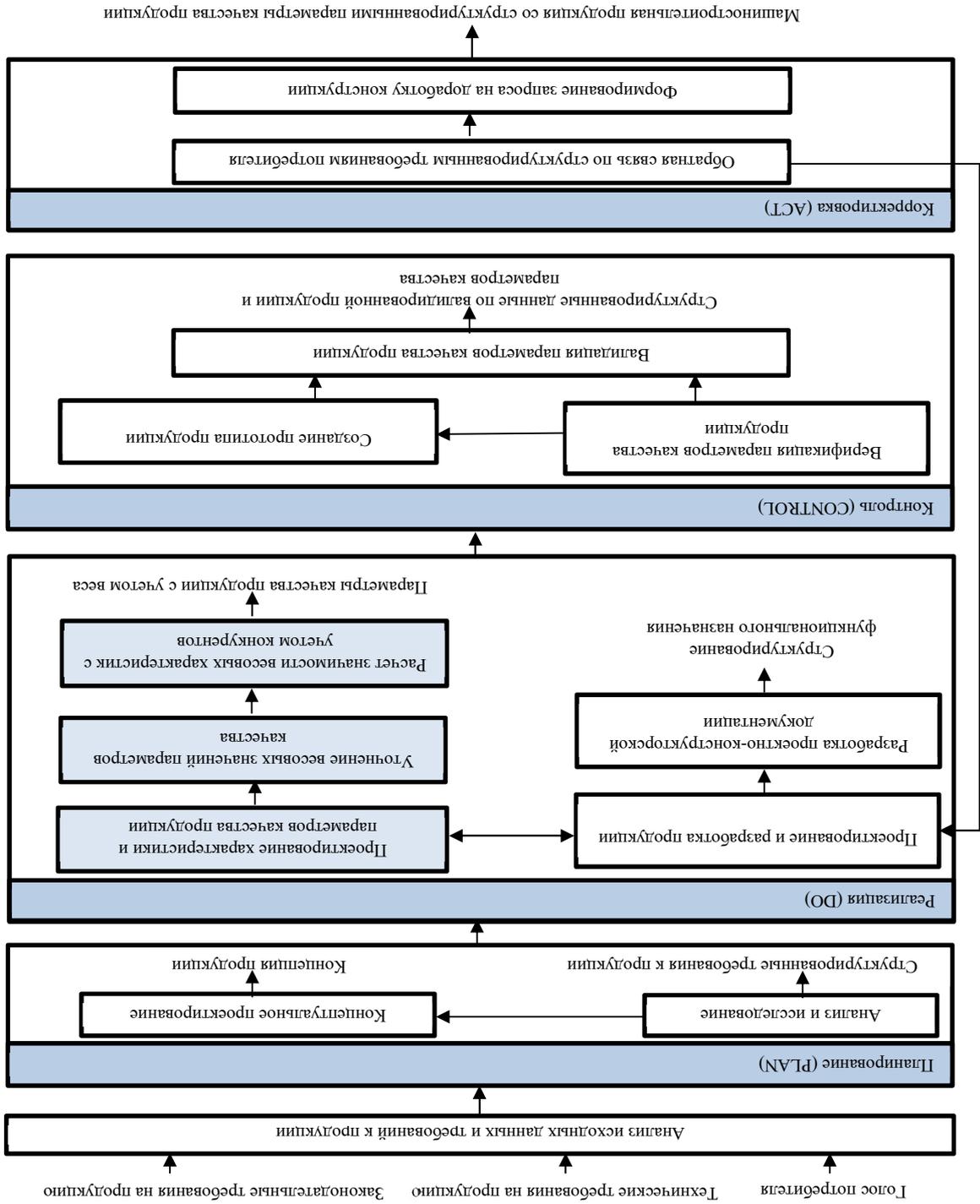
Метод проектирования параметров качества	Назначение метода	Область применения
QFD – структурирования функций качества для расчета и определения характеристик и параметров качества.	Определение свойств продукции, параметров качества продукции, параметров процессов, параметров оборудования, параметров средств измерения контроля.	Стандартизация требований потребителей к продукции. Трансформация требований в параметры качества продукции, процессов, оборудования.
Ранжирование ключевых характеристик продукции и развертывания в показатели процессов и характеристики технологического оборудования.	Расчет значимости параметров качества продукции.	Определение свойств продукции, параметров качества продукции, параметров процессов, параметров оборудования, параметров средств измерения контроля.
Планирование экспериментов для определения оптимальных характеристик продукции.	Установление требований к параметрам производственных и технологических процессов.	
Математическое моделирование для проектирования параметров качества.	Установление требований к параметрам технологического и вспомогательного оборудования.	Учет влияние конкуренции и конкурентов при проектировании продукции и ее параметров качества.
Построение размерных цепей.	Определение значимости характеристик продукции с учетом уровня качества конкурентов.	
Построение диаграммы Кано.	Определение значимости характеристик продукции с учетом чувствительности голоса потребителя (закон Вебера-Фехнера)	Повышение чувствительности и точности оценки значимости параметров качества с учетом закона Вебера-Фехнера.
Реверс инжиниринг параметров качества продукции.	Снижение производственных затрат и повышение качества за счет упрощения, оптимизации и совершенствования конструкции изделия на этапе проектирования.	
Методика DFM (Design for Manufacturing) – Проектирование для производства.	Снижение производственных затрат и повышение качества за счет упрощения, оптимизации и совершенствования конструкции изделия на этапе проектирования.	
Методика DFA (Design for Assembly) – Проектирование для сборки.	Сокращение затрат и времени на сборку продукта при повышении качества и надежности.	

Рисунок 2 – Классификация методов проектирования параметров качества продукции

Таким образом проведен теоретический анализ существующих подходов и инструментария по проектированию параметров качества машиностроительной продукции и разработана классификация методов проектирования параметров качества машиностроительной продукции, содержащий все существующие методы проектирования параметров качества, и отличающейся от существующих наличием области применения.

Во второй главе разработана структурно-функциональная модель процесса проектирования параметров качества машиностроительной продукции, математическая модель расчета весомости характеристик продукции в зависимости от уровня качества конкурентов, а также алгоритм расчета весомости характеристик продукции в зависимости

Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель процесса проектирования машиностроительной продукции



от уровня качества конкурентов. Для обеспечения результативности функционирования процесса проектирования параметров качества продукции разработана Структурно-функциональная модель проектирования машиностроительной продукции, содержащая этапы проектирования параметров качества, отличающаяся от конкурентами (рисунок 3). Структурно-функциональная модель основана на цикле PDCA и содержит 13 этапов проектирования и разработки продукции, ключевыми из которых являются проектирование характеристик и параметров качества продукции, уточнение весовых значений параметров качества, а также расчет значимости весовых характеристик с учетом уровня качества конкурентов.

Данная структурно-функциональная модель процесса проектирования машиностроительной продукции, содержащая этапы проектирования параметров качества, позволяет повысить уровень качества продукции за счет более точного и рационального назначения целевых значений характеристик продукции и учета результатов сравнения с конкурентами и использовании закона Вебера-Фехнера, а также сократить длительность процесса проектирования примерно на 20 % и, как следствие, оптимизировать затраты на проектирование продукции от 5% до 15%, за счет выявления наиболее значимых параметров качества и повышения достоверности прогнозирования требований и ожиданий потребителей.

Для параметрического проектирования необходимо определить характеристики продукции. В настоящее время, расчетный вес характеристики конструкции, технологии или процесса производства является ключевым при проектировании и разработки продукции. Так как в условиях конкуренции на рынке присутствует несколько организаций, необходимо учитывать степень реализации (удовлетворенность) требований потребителя (конкурентные преимущества) в отношении продукции не только рассматриваемой организации, но и продукции конкурентов. Поэтому модель расчёта веса характеристики продукции можно представить в следующем виде:

$$V_{\text{хар.прод.}} = f(I_x; R_x; \Pi_{\text{отс}_x}; C_x, k_2), \quad (1)$$

где I_x – связь между требованием и характеристиками продукции (▲ – 1; ○ – 3; ● – 9);

R_x – абсолютный вес требования;

$\Pi_{\text{отс}_x}$ – разница между целевым и полученным значениями уровня удовлетворенности потребителя (или разница между значениями у конкурента и рассматриваемой организации) (учитывается только в случае если результаты расчетов неотрицательные);

C_x – целевое значение степени реализации требования потребителя;

k_2 – уровень конкуренции.

В классической модели расчета веса характеристик конструкции, технологии или процесса производства не учитывается положение на рынке.

$$V_{\text{хар.прод.}} = \sum(I_x \cdot R_x), \quad (2)$$

где I_x – связь между требованием и характеристиками продукции (▲ – 1; ○ – 3; ● – 9);

R_x – абсолютный вес требования;

При этом, для обеспечения конкурентоспособности продукции, необходимо выполнять не только требования потребителя, но и ориентироваться на конкурентов. Таким образом следует дополнить перечень факторов, влияющих на конкурентоспособность продукции, и при оценке продукции предприятия и его конкурентов, учитывать, насколько удовлетворяются требования потребителей с учетом их важности, тогда уточненный расчет весомости характеристик конструкции, технологии или процесса выглядит следующим образом:

$$V_{\text{хар.прод.1}} = \sum(I_x \cdot R_x) + \sum\left[\frac{\Pi_{\text{отс}_x}}{C_x}(I_x \cdot R_x)\right], \quad (3)$$

где I_x – связь между требованием и характеристиками продукции (▲ – 1; ○ – 3; ● – 9);

R_x – абсолютный вес требования;

$\Pi_{\text{отс}_x}$ – разница между целевым и полученным значениями уровня удовлетворенности потребителя (или разница между значениями у конкурента и рассматриваемой организации) (учитывается только в случае если результаты расчетов неотрицательные);

C_x – целевое значение степени реализации требования потребителя.

Сравнивая оценки степени удовлетворения требований потребителя в новой продукции и продукции конкурентов, можно выявить направления совершенствования

проектируемой продукции. Рассмотрим еще один расчет весомости характеристик конструкции, технологии или процесса производства с учетом уровня удовлетворенности потребителя, который выглядит следующим образом:

$$V_{\text{хар.прод.2}} = \sum (I_x \cdot R_x) \left(1 + k_2 \frac{P_{\text{отсх}}}{C_x}\right), \quad (4)$$

где I_x – связь между требованием и характеристиками продукции (▲ – 1; ○ – 3; ● – 9);

R_x – абсолютный вес требования;

k_2 – уровень конкуренции;

$P_{\text{отсх}}$ – разница между целевым и полученным значениями уровня удовлетворенности потребителя;

C_x – целевое значение степени реализации требования потребителя.

Так как в цепочке проектирования параметров качества продукции появляются конкуренты, то схему расчета весомости характеристик конструкции, технологии или процесса производства можно представить в виде взаимосвязанной модели QFD с учетом конкуренции, представленной на рисунке 4.



Рисунок 4 – Модель QFD с учетом конкуренции

Данная схема позволяет выявить технические и технологические преимущества конкурентов и создать на их основе еще более совершенные технические решения для своей продукции, наиболее соответствующей требованиям потенциальных потребителей. При использовании данных формул выбора уровня конкуренции возникает разный уровень чувствительности. Для примера, приведем «дом качества» вагонов метро «Москва» производства АО «Метровагонмаш» с учетом конкуренции в таблице 1 и расчеты веса характеристик продукции по формулам (2), (3), (4) в таблице 2, визуализируем результаты расчетов веса характеристик продукции с учетом конкуренции в виде линейной диаграммы, представленной на рисунок 5.

Таблица 1 – QFD-анализ вагонов метро серии «Москва» с учетом конкуренции

Требование	Важность	Характеристики продукта							Мы	Конкуренция		Цель	Отставание	Максимум	Потери
		a	b	c	d	e	f	g		A	Б				
1	10	3	9	1			3	1	4	4	3	5	1	4	0
2	9			3		3			4	4	5	5	1	5	1
3	10		9		9		9		4	5	5	5	1	5	1
4	8	9			1		9	3	4	5	4	5	1	5	1
5	10			9		9	3		3	4	5	5	2	5	2
6	7			1			1		4	4	4	5	1	4	0
7	10	1	1			3	9	9	4	4	5	5	1	5	1
8	8		9	3		3	1		4	4	3	5	1	4	0

9	8		9	3		3	3	3	5	2	3	0
10	9		1	1	1	3	3	5	5	2	5	2

Таблица 2 – Расчеты веса характеристик продукции

Формулы	Характеристика продукции						
	a	b	c	d	e	f	g
$V_{\text{хар.прод.}}(2)$	112	262	239	98	204	327	133
$V_{\text{хар.прод.1}}(3)$	134,4	314,4	321	117,6	269,4	398,4	161,4
$V_{\text{хар.прод.2}}(4)$	179,2	419,2	485	156,8	400,2	541,2	218,2

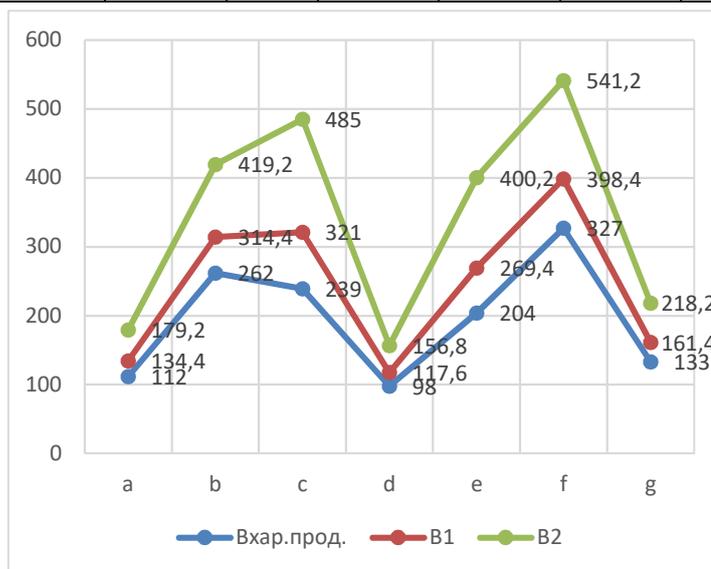


Рисунок 5 – Карта весомостей характеристик продукции с учетом конкуренции

Если конкуренция относительно других организаций равна нулю, то необходимо использовать формулу без учета конкуренции $V_{\text{хар.прод.}} = \sum(I_x \cdot R_x)$. На графике видно, что формулы (3) и (4) с учетом конкуренции ведут себя аналогично формуле $V_{\text{хар.прод.}} = \sum(I_x \cdot R_x)$ и характеризуют положение степени удовлетворенности потребителя каждым требованием к продукции организации по сравнению с конкурентами. Заметим, что если рассчитывать вес характеристики продукции без учета конкуренции, то мы начнем усовершенствование характеристики f, b, c и далее, но, если учитывать конкуренцию, то начнем усовершенствовать характеристики в другой последовательности f, c, b, то есть приоритет по дальнейшей работе изменится. Таким образом мы видим влияние конкуренции на выбор характеристики для удовлетворения требований потребителя.

Алгоритм расчета весомости характеристики продукции в зависимости от уровня качества и степени реализации требований потребителя у конкурентов, приведен на рисунке 6.

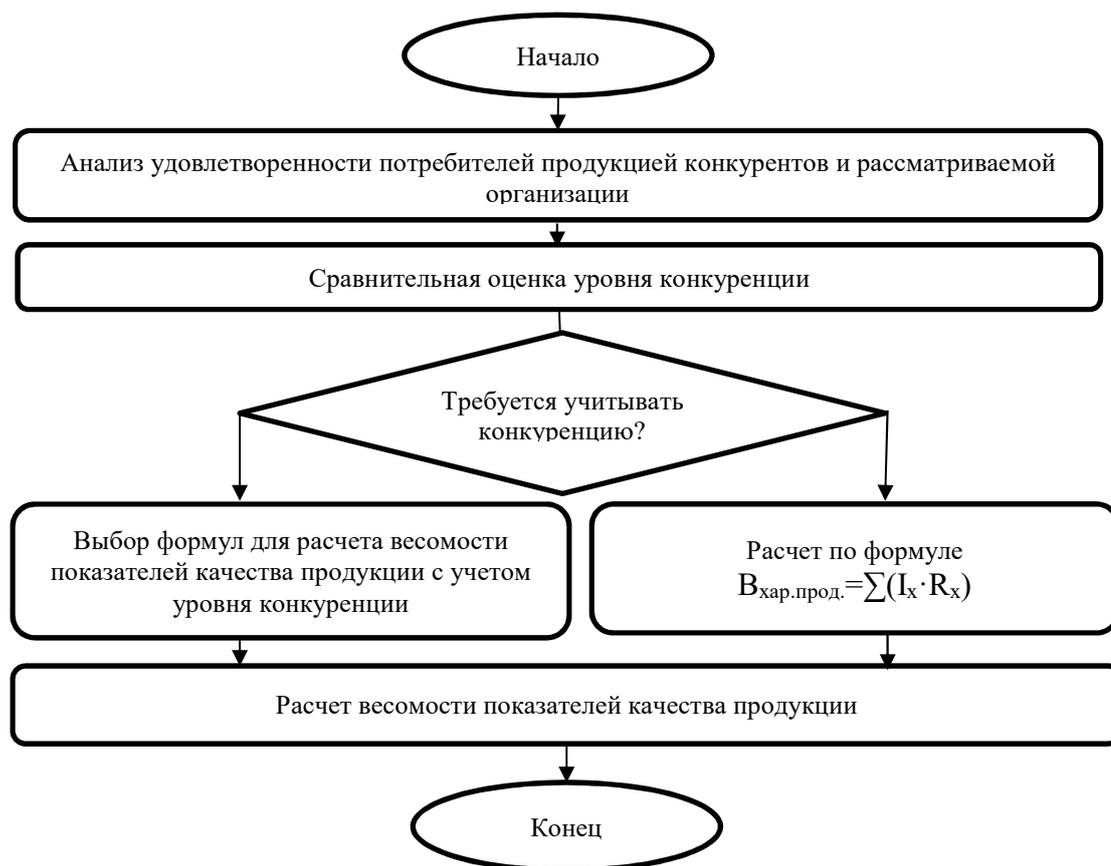


Рисунок 6 – Алгоритм расчета весомости показателей качества продукции

Для производства технически совершенной продукции, отвечающей интересам как производителя, так и потребителя, необходимо учесть все представленные требования, как к самой продукции, так и к процессам ее производства. Такой подход обеспечивает более точное определение требований к продукции, оптимальное сочетание параметров проектирования, а также повышение надежности и экономической эффективности продукции.

В третьей главе разработана методика расчета значимости характеристик продукции, основанная на использовании закона Вебера-Фехнера и показан алгоритм выбора методов расчета значимости характеристик продукции обеспечивающий достоверность результатов расчета.

Математическая модель расчёта весомости характеристик конструкции, технологии или процесса производства, основанная на использовании закона Вебера-Фехнера включает коэффициент k_2 , который варьируется от 0 до 5 (зависит от уровня конкуренции) и зависит от субъекта ощущения.

Рассмотрим формулу расчета весомости характеристик конструкции, технологии или процесса с учетом степени реализации требований в зависимости от веса его важности и с учетом закона Вебера-Фехнера (рисунок 7).

$$V_{\text{хар.прод.з}} = \sum I_x \cdot R_x \left(1 + k_2 \lg_{10} \frac{P_x}{P_{\text{ср.х}}}\right), \quad (5)$$

где I_x – связь между требованием и характеристиками продукции (▲ – 1; ○ – 3; ● – 9);

R_x – абсолютный вес требования;

P_x – уровень удовлетворенности;

$P_{\text{ср.х}}$ – целевое и/или средний по рынку уровень удовлетворенности;

k_2 – коэффициент конкуренции.

В этой формуле введен десятичный логарифм \lg_{10} , который учитывает степень интенсивности ощущения эксперта-потребителя, таким образом изменятся значения

весомости характеристик. При $\Pi_x = \Pi_{\text{ср.х}}$ формула приобретает вид $V_{\text{хар.прод.}} = \sum(I_x \cdot R_x)$.

Для примера, приведем расчеты веса характеристик продукции по формулам (2), (3), (4), (5) в таблице 3 и визуализируем результаты расчетов веса характеристик продукции с учетом конкуренции и закона Вебера-Фехнера в виде линейной диаграммы, представленной на рисунке 7.

Таблица 3 – Расчеты веса характеристик продукции

Формулы	a	b	c	d	e	f	g
$V_{\text{хар.прод.}}(2)$	112	262	239	98	204	327	133
$V_{\text{хар.прод.1}}(3)$	134,4	314,4	321	117,6	269,4	398,4	161,4
$V_{\text{хар.прод.2}}(4)$	179,2	419,2	485	156,8	400,2	541,2	218,2
$V_{\text{хар.прод.3}}(5)$	79,4	185,8	105,4	69,5	98,6	220,7	91,0

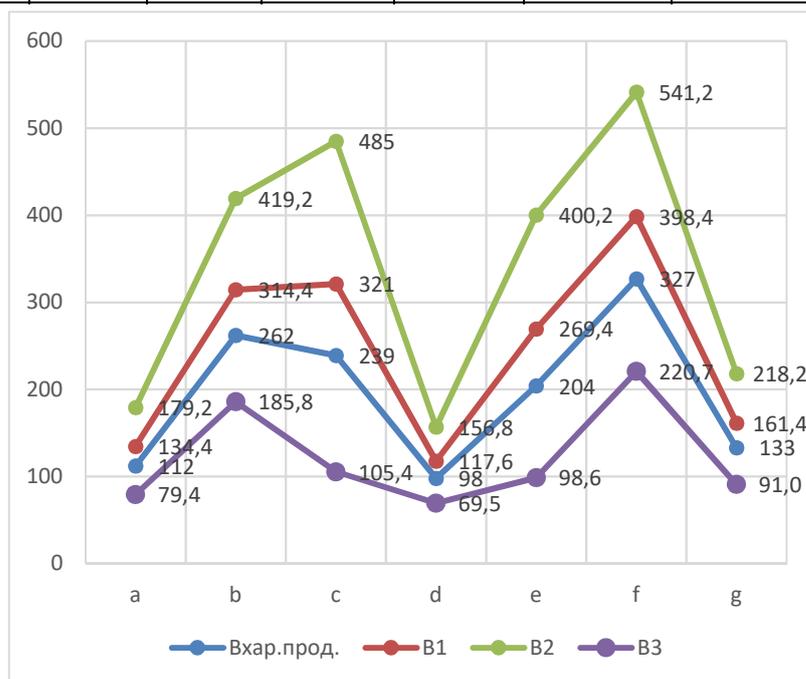


Рисунок 7 – Карта весомостей характеристик продукции с учетом Вебера-Фехнера

Формулы (3) и (4) сильно не отличаются друг от друга, так как наша организация, как и конкуренты, стремится удовлетворить требования потребителей. В точках с и b поменялся приоритет по усовершенствованию характеристик относительно классической формулы.

Расчет по формуле $V_{\text{хар.прод.3}}(5)$, учитывающий степень интенсивности ощущения эксперта-потребителя, позволяет улучшать нашу продукцию в направлениях, наиболее значимых для потребителей. Чем выше конкуренция (k_2), тем сильнее меняется график, приоритет у характеристик значительно меняется. При $k_2=5$ приоритет значительно изменился по характеристикам f, b, g, a, d, e, c, а был f, b, c, e, g, a, d.

Таким образом, разработана методика расчета значимости характеристик продукции с использованием закона Вебера-Фехнера. Применение данной методики позволяет обеспечить проектирование и разработку новой продукции, наиболее точно отвечающей требованиям и ожиданиям потребителей, и повысить уровень их удовлетворенности на 15-20%, по сравнению с классическим подходом.

В четвертой главе приведена практическая апробация моделей и методик параметрического проектирования машиностроительной продукции на машиностроительных предприятиях АО «Метровагонмаш», ООО «Самараавтожгут» и в сервисном центре Nissan. Нами проведено внедрение моделей и методик с учетом конкуренции и закона Вебера-Фехнера на примере переднего жгута проводов для автомобилей Лада Гранта производства ООО «Самараавтожгут», вагонов метро серии

«Москва» производства АО «Метровагонмаш» и процесса установки блокиратора КПП «Гарант Консул» для автомобилей Nissan.

Также сделаны выводы по экономическому эффекту от внедрения QFD-анализа с учетом конкуренции. В следствие внедрения QFD-анализа увеличились расходы на этапе проведения маркетинговых исследований, за счет необходимости дополнительного проведения QFD-анализа с учетом конкуренции. При этом общее время этапа проведения маркетинговых исследований остается неизменным или меняется незначительно, так как данный анализ может проводится одновременно с другими элементами маркетинговых исследований.

Результаты маркетинговых исследований с применением QFD-анализа с учетом конкуренции позволили оптимизировать процесс проектирования и разработки новой продукции. За счет фокусировки на ключевых характеристиках, наиболее важных для потребителей, и одновременным сокращением трудозатрат и расходов на проработку менее значимых свойств продукции, прогнозируемое сокращение длительности этапа проектирования и разработки составляет 20-25 %.

Учет наиболее значимых для потребителя характеристик способствует повышению уровня удовлетворенности потребителей новой продукцией. Потребители проявляют повышенный интерес к новой продукции, наилучшим образом соответствующей их предпочтениям и ожиданиям, формируя тем самым дополнительный рыночный спрос. Ожидаемое увеличение объема продаж от повышения спроса составляет более 10% в год.

На примере АО «Метровагонмаш», в конце 2020 года выпущена новая серия вагонов метро 81-775/776/777 «Москва 2020», учитывающая в себе значимые для потребителя характеристики качества продукции. Общий объем закупки новых вагонов в период 2020-2023 гг. увеличился на 10-15% в год, по сравнению с предыдущей серией. В период 2021-2024 гг. проведена модернизация рассматриваемых вагонов метро серии 81-765/766/767 «Москва», с учетом опыта внедрения значимых характеристик качества продукции, в следствие чего заключены новые контракты на поставку модернизированных вагонов в регионы РФ и страны СНГ.

За счет формирования конкурентных преимуществ продукция, разработанная с использованием QFD-анализа с учетом конкуренции, обладает высоким уровнем соответствия потребностям целевой аудитории, что выделяет компанию среди конкурентов и обеспечивает устойчивое положение на рынке. Точечное внедрение важных для потребителей характеристик позволяет привлечь интерес новых заказчиков и обеспечить выход на новые рынки, расширив географию поставок за счет увеличения привлекательности новой продукции. Заключение новых контрактов на поставку новых вагонов в зарубежные страны и регионы РФ обеспечило прирост плана производства в среднем на 10-15 %, в сравнении с предыдущими периодами.

Проработка каждого этапа развития продукции с точки зрения потребительских предпочтений снижает риски выхода на рынок недостаточно востребованного решения и минимизирует риски провала новой продукции.

Применение QFD-анализа с учетом конкуренции поддерживает систематический подход к развитию продукции, позволяющей последовательно улучшать качество и инновационность выпускаемой продукции, обеспечивая стабильный рост бизнеса.

Таким образом, проведена комплексная апробация предложенных решений по проектированию и улучшению параметров качества машиностроительной продукции, позволяющая наиболее точно обеспечить соответствие разрабатываемой продукции требованиям и ожиданиям потребителей.

Заключение

1. Решена задача имеющая значение для проектирования параметров качества выпускаемой продукции. Достигнута цель и решены задачи диссертационного исследования по повышению качества машиностроительной продукции за счет совершенствования методики проектирования параметров качества.

2. Проведен теоретический анализ существующих подходов и инструментария по проектированию параметров качества машиностроительной продукции. Разработан классификатор методов проектирования параметров качества машиностроительной продукции, описывающий основные методы проектирования параметров качества, назначение и область применения методов и содержащий 24 элемента, отличающейся от существующих наличием области применения.

3. Разработана структурно-функциональная модель процесса проектирования машиностроительной продукции, содержащая этапы проектирования параметров качества, которая позволяет повысить уровень качества продукции за счет более точного и рационального назначения целевых значений характеристик продукции за счет учета результатов сравнения с конкурентами и использовании закона Вебера-Фехнера. Структурно-функциональная модель процесса проектирования машиностроительной продукции позволяет сократить длительность процесса проектирования на 20-25 %, соответственно оптимизировать затраты на проектирование и разработку новой продукции, за счет повышения достоверности прогнозирования параметров качества, отвечающих требованиям потребителя.

4. Разработана методика уточнения весовых характеристик продукции при развертывании функций качества, позволяющая рассчитать весомость характеристик продукции в зависимости от уровня качества конкурентов. Разработанная методика позволяет повысить конкурентоспособность продукции, и тем самым увеличить долю рынка на 10-15 %

5. Разработана методика расчета значимости характеристик продукции с применением закона Вебера-Фехнера. Данная методика позволила повысить удовлетворенности потребителя на 25 %.

6. Проведена комплексная апробация предложенных решений по проектированию параметров качества машиностроительной продукции.

Список публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Селезнева¹, Т.С. Методика повышения эффективности процесса сборки отопителя салона на основе концепции бережливого производства / Т.С. Селезнева, В.Е. Годлевский, Ю.С. Клочков, Р.В. Буткевич, М.Г. Гиорбелидзе, А.Н. Жадяев / Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2012. – №4. С. 147-152 (научная статья 0,75 п. л./0,13 п. л.).

2. Селезнева, Т.С. Разработка модели сертификации продукции на основе QFD / Т.С. Селезнева, Ю.С. Клочков, А.Д. Волгина, А.А. Карсунцева, А.Ю. Газизулина / Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2013. – № 4. С. 111-113 (0,38 п. л./0,09 п. л.).

3. Васильева, Т.С. Совершенствование процедуры QFD-анализа, основанное на уточнении методов расчета значимости характеристик продукции / Т.С. Васильева, Ю.С. Клочков, А.Ю. Газизулина, А.В. Седельников, Е.В. Демиденко, Е.А. Ильина / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – № 18. С. 1114-1119 (0,75 п. л./0,13 п. л.).

4. Тулаева, Т.С. Моделирование процесса проектирования машиностроительной продукции для обеспечения ее конкурентоспособности / Т.С. Тулаева, А.А. Галынская / Известия Тульского государственного университета. – 2025. – № 9. С. 23-30 (0,88 п. л./0,44 п. л.).

5. Тулаева, Т.С. Разработка методики расчета значимости характеристик с учетом закона Вебера-Фехнера / Т.С. Тулаева / Известия Самарского научного центра Российской

¹ Фамилия Васильева Т.С. изменена на фамилию Селезнева Т.С. в соответствии со Справкой о заключении брака № А-02164 (2010 г.). Фамилия Селезнева Т.С. изменена на фамилию Васильева Т.С. в соответствии со Свидетельством о расторжении брака II-EP № 563475 от 11.09.2014 г. Фамилия Васильева Т.С. изменена на фамилию Тулаева Т.С. в соответствии со Свидетельством о заключении брака II-EP № 663781 от 05.03.2016 г.

академии наук. – 2025. – №27. С. 398-402 (0,63 п. л./0,63 п. л.).

в других изданиях:

6. Селезнева, Т.С. Разработка методики снижения вероятности потери клиента / Т.С. Селезнева, О.С. Клейменова, С.С. Авдонова, Я.С. Полякова, Д.Д. Уляшкин / Московское научное обозрение, №12,Т.2. – 2012.–С. 21-28 (1 п. л./0,2 п. л.).

7. Селезнева, Т.С. Обеспечение выполнения установленных норм стандартов активными методами и инструментами / Т.С. Селезнева, Д.Д. Ларюшкина, Д.Н. Молвинская, А.Е. Звёнкина, Е.А. Кукушкина / Московское научное обозрение, №12, Т.2 – 2012.С. 29-32 (0,5 п. л./0,1 п. л.).

8. Селезнева, Т.С. Разработка модели мониторинга степени выполнения требований скрытого потребителя / Т.С. Селезнева, Б.В. Зорин, А.В. Заварзин, П.И. Илихина, М.Д. Козев / Научно-практический журнал «Отраслевые аспекты технических наук». № 12. – 2012 г.– С.63-66 (0,5 п. л./0,1 п. л.).

9. Селезнева, Т.С. Анализ удовлетворенности и лояльности / Т.С. Селезнева, Е.В. Коробкина, А.Н. Жадяев / Сборник статей международной научно-прикладной конференции «Современные информационные технологии в управлении качеством». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012– С. 22-24 (0,38 п. л./0,13 п. л.).

10. Селезнева, Т.С. Совершенствование подходов к моделированию процессов СМК / Т.С. Селезнева / Современный российский менеджмент: XVII Международная научно-методическая конференция, октябрь 2012. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. – С. 60-61 (0,25 п. л.).

11. Васильева, Т.С. QFD-анализ с учётом конкурентного положения организации / Т.С. Васильева, Л.И. Сафиуллова, Ю.С. Клочков / Международная молодёжная научная конференция «XII Королёвские чтения», Самара, 1-3 октября 2013 г.: Тезисы докладов. – Самара: Издательство СГАУ, 2013. – С. 139 (0,13 п. л./0,04 п. л.).

12. Васильева, Т.С. Прогнозирование технологического процесса на примере информационной модели / Т.С. Васильева, О.А. Еремеева, Ю.С. Клочков / Международная молодёжная научная конференция «XII Королёвские чтения», Самара, 1-3 октября 2013 г.: Тезисы докладов. –Самара: Издательство СГАУ, 2013. – С. 140 (0,13 п. л./0,04 п. л.).

13. Васильева, Т.С. Подход к оценке уровня сопротивления персонала внедрению стандартов на основе анализа частности ключевых слов / Т.С. Васильева, Ю.С. Клочков, Е.С. Клочкова, И.П. Васильева, С.Г. Дементьев, А.Ю. Газизулина / Вектор науки Тольяттинского государственного университета, № 4. – Тольятти: Издательство ТГУ, 2015. № 3-2(33-2) – С. 199-203 (0,63 п. л./0,1 п. л.).