

На правах рукописи



ПИПИЯ ГЕОРГИЙ ТЕНГИЗОВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДВУХУРОВНЕВОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

**Специальность 2.5.22 – Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

- Работа выполнена:** в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».
- Научный руководитель:** **Черенькая Людмила Васильевна**
доктор технических наук, старший научный сотрудник федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
- Официальные оппоненты:** **Архипов Александр Валентинович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации производственных процессов Института информационных технологий и автоматизации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
Щеглов Дмитрий Константинович
кандидат технических наук, доцент, начальник расчетно-исследовательского центра Акционерного общества «Северо-Западный региональный центр Концерн ВКО «Алмаз-Антей» - Обуховский завод» (АО «Обуховский завод»)
- Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Защита состоится «05» декабря 2023 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.384.02 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67. Автореферат и текст диссертации размещены на сайте университета <http://dissov.guap.ru>.

Автореферат разослан 18 октября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.384.02
кандидат технических наук, доцент



С.А. Назаревич

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Приборостроение является одной из основных наукоёмких и высокотехнологических отраслей экономики страны, для устойчивого, успешного развития которого необходимо уделять приоритетное внимание вопросам оценки и улучшения качества изделий приборостроения. Стратегия развития приборостроительной промышленности призвана повысить технологический уровень и увеличить объем отечественной продукции приборостроения. Развитие приборостроения способствует выполнению государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности», введенной в действие с 1 декабря 2022 года, а также способствует развитию отечественной промышленности в соответствии с государственной программой «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности», утвержденной постановлением Правительства от 15 апреля 2014 года. Ужесточение требований к уровню развития приборостроения послужит катализатором развития элементной базы, что, в свою очередь, будет способствовать выполнению государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности» (подпрограмма "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на период до 2025 года").

Для успешного развития приборостроения необходимо уделять приоритетное внимание вопросам оценки и улучшения качества изделий. В условиях существования четвертого технологического уклада возможно внедрение информационных технологий управления производством приборостроения и технологий автоматизации рутинного труда. При внедрении технологий информатизации и автоматизации предприятия приборостроения создают информационную среду, позволяющую строить расписание или график производства, определять необходимые ресурсы и оборудование и конструировать образцы с оптимальными параметрами, после чего происходит наладка станков с учетом заданных параметров и запуск производства. После запуска производства за счет внедрения технологий обмена информацией все структурные подразделения, получающие информацию, при необходимости вносят корректировки в текущее производство. Таким образом, управление производством осуществляется путем получения большого объема информации в процессе выполнения производственных процессов, что позволяет обеспечивать необходимый уровень эффективности и результативности работы производства приборостроения. На практике информация, собираемая в процессе работы производства приборостроения, перераспределяется между структурными подразделениями, отвечающими за выполнение определенных процессов производства, так что информация по затратам направляется в финансово-экономический отдел, информация по качеству - в службу качества, информация по работе технологических процессов - соответственно к технологам. При этом комплекс целевых показателей и методов их расчета у всех структурных подразделений отличается, что приводит к несогласованности действий при принятии решений в отношении качества продукции. Кроме того, методы и средства управления качеством продукции, выполняющие задачи не только контроля качества выпускаемой продукции, но и управления производством, позволяют решать только локальные проблемы, без учета общей картины состояния производства. Локальность решения проблем при применении инструментов управления качеством подтверждается их теоретическим развитием и практическими внедрениями. Например, существуют методы управления качеством при планировании производства и отдельно существуют методы управления качеством, направленные на управление технологическими операциями.

Недостаточная разработанность методов и инструментов оценки качества приводит к низкой результативности процессов обеспечения и улучшения качества изделий приборостроения. Существующие противоречия, выражающиеся в неспособности существующих методов комплексно обрабатывать, анализировать и предлагать перечень решений по обеспечению или улучшению качества продукции привели к таким проблемам как увеличение расходов, времени на изготовление продукции приборостроения и увеличению времени принимаемых решений по обеспечению и улучшению качества.

Актуальность диссертационного исследования выражена в необходимости улучшения результативности процесса поддержки принимаемых решений при обеспечении и улучшении качества продукции приборостроения.

Актуальность диссертационного исследования соответствует таким критическим технологиям Российской Федерации, как «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем», «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения» и «Технологии создания электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств» Перечня критических технологий РФ, утвержденного Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899. Таким образом, научное направление, направленное на решение задач управления качеством продукции, является актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Современные исследования, направленные на принятия решений при управлении качеством продукции, базируются на использовании теории

двухуровневой линейной оптимизации, децентрализованном управлении качеством продукции в нечеткой среде, многокритериальном принятии решения в нечеткой среде, алгоритмах определения области Парето при решении задач двухуровневой оптимизации, методах визуальной интерпретации области Парето в случае множества критериев.

Методологической базой исследования послужили результаты научных исследований таких ученых как Архипов А.В., Федюкин В.К., Джон Макгил, Стефан Дёпье, Калашников В.В., Г.Зангу, Ю. Гао, Борис Модрухович, Варжапетян А.Г., Коршунов Г.И., Фролова Е.А., Черненькая Л.В., Монгомери Д.С., Джонатан Бард, Вуддол В.Х., Хаманова Д.Н., Миладин Стефанович, Васильев Ф.П., Кибзун А.И., Ногин В.Д., Подиновский В.В., Ларичев О.И., Рабинович Я.И., Филип Монгин, Басков О.В., Лотов А.В., Джером Брэкен, Черноруцкий И.Г., Захаров А.О., Марии Жоао Алвес, Джон Флиге, Висент Л.Н., Янош Фулоп, Рабинович Я.И., Каменев Г.К., Пospelова И.И. и В. Штойер.

Анализ трудов отечественных и зарубежных ученых показал, что в настоящее время не в полной мере исследованы вопросы оценки и улучшения качества продукции приборостроения с точки зрения децентрализованной модели управления на основе двухуровневой модели оптимизации с учетом разнородной информации.

Цель работы – улучшение результативности принятия решений при управлении качеством продукции приборостроения.

Объект исследования – процесс производства изделий приборостроения

Предмет исследования – методы, критерии и модели, обеспечивающие принятие решений при управлении качеством приборостроительной продукции для обеспечения и улучшения качества выпускаемой продукции.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели в ходе диссертационного исследования поставлены и должны быть решены следующие задачи:

1. Определить многогранник качества продукции приборостроения на основе показателей, характеризующих качество продукции приборостроения через перечень целевых функций.
2. Разработать методику идентификации показателей качества и их оценки для описания целевых функций и допустимых областей существования целевых функций.
3. Разработать аналитическую модель поиска оценки качества продукции и методику решения задачи поиска оптимальных численных значений целевых функций, характеризующих качество продукции.
4. Разработать методику поддержки принимаемых решений для обеспечения и улучшения качества продукции приборостроения на основе визуализации области Парето.

Методы исследования. В ходе исследования использованы методы теории двухуровневой оптимизации, методы управления качеством продукции при нечеткой среде, методы теории принятия решений, методы визуальной интерпретации области Парето и алгоритмы преобразования задач двухуровневой оптимизации в задачи многокритериальной оптимизации.

Тематика работы соответствует областям исследования паспорта научной специальности 2.5.22. «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства» по пунктам №1, №5, №9 и №16.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Модель многогранника качества продукции приборостроения на основе показателей, характеризующих качество продукции приборостроения через перечень целевых функций.
2. Методика идентификации показателей качества и их оценки для описания целевых функций и допустимых областей существования целевых функций.
3. Аналитическая модель поиска оценки качества продукции и методика решения задачи поиска оптимальных численных значений целевых функций, характеризующих качество продукции.
4. Методика поддержки принимаемых решений для обеспечения и улучшения качества продукции на основе визуализации области Парето.

Научная новизна. Научной новизной обладают следующие элементы диссертационной работы:

1. Модель многогранника качества продукции приборостроения, которая в отличие от классической иерархии показателей качества описывает состояния процессов управления качеством и организации через перечень целевых функций.
2. Методика идентификации показателей качества и их оценки, которая в отличие от существующих квалиметрических методов оценки обеспечивает возможность численного описания процессов управления качеством путем применения методов и моделей теории информации, теории нечетких множеств и нечеткой кластеризации.

3. Аналитическая модель поиска оценки качества продукции и методика решения задачи поиска оптимальных численных значений целевых функций, которые в отличие от известных методов (аналитических, статистических, экспертных методов) основаны на применении модели двухуровневой оптимизации для реализации принципов децентрализованного управления качеством и аналитическом задании зависимости между целевыми функциями для делегирования на функцию качества опций координации и контроля над функциями нижнего уровня.

4. Методика поддержки принимаемых решений для обеспечения и улучшения качества продукции на основе визуализации области Парето, которая в отличие от известных методов принятия решений при управлении качеством продукции заключается в проекции возникающих затрат или потерь, характеризующих найденное численное значение качества продукции приборостроения, на область Парето, что позволяет оптимизировать работу организационной структуры и обслуживающих процессов в рамках существующей системы менеджмента качества.

Обоснованность и достоверность. Обоснованность научных результатов исследования определяется корректным применением математического аппарата теории двухуровневой оптимизации, теории принятия решений, теории нечеткой кластеризации, теории нечетких множеств и квалиметрического оценивания и подтверждается результатами практического внедрения. Достоверность результатов проведенных исследований обеспечивается использованием современных методов обработки информации на основе нечетких множеств и математической статистики и подтверждена совпадением результатов исследования с экспериментальными данными, практической реализацией разработанной автоматизированной системы оценки и улучшения качества продукции на предприятиях.

Теоретические результаты диссертационного исследования:

1. Определен многогранник качества продукции приборостроения на основе показателей, характеризующих качество продукции приборостроения через перечень целевых функций.

2. Разработана методика идентификации показателей качества и их оценки для описания целевых функций и допустимых областей существования целевых функций.

3. Разработана аналитическая модель поиска оценки качества продукции и методика решения задачи поиска оптимальных численных значений целевых функций, характеризующих качество продукции.

4. Разработана методика поддержки принимаемых решений для обеспечения и улучшения качества продукции на основе визуализации области Парето.

Практическая значимость полученных научных результатов состоит в следующем:

1. Результаты использования основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивают снижение доли дефектной продукции на операционном контроле в среднем на 13,4% и повышение выхода годной продукции на 7% за счет централизованного поступления информации из различных источников, последующего вывода оценки уровня качества и разработки рекомендуемых мероприятий по совершенствованию. Сэкономленное время позволит разгрузить начальников отделов и персонал среднего звена для решения других проблем и снизить затраты на обеспечение качества в среднем на 23,1%.

2. Предложенная методика поиска оценки качества продукции на основе модели двухуровневой линейной оптимизации позволяет учитывать большой объем информации по сравнению с классическими квалиметрическими моделями оценки качества продукции приборостроения.

3. Учет разнородной информации при формализации целевых функций и критериев качества на базе нечетких моделей позволяющая расширить существующий перечень учитываемых показателей качества продукции.

4. Возможность численно формализовать синтез взаимосвязи качественной и количественной информации для получения частных показателей и их учета при принятии решений.

5. Предложенная методика поддержки принятия решения при управлении качеством продукции на основе визуализации области Парето позволяет повысить результативность мероприятия по обеспечению качества в среднем на 13,2%.

6. Разработанная автоматизированная система поиска оценки качества продукции позволяет сократить трудоемкость сбора, обработки и анализа информации о качестве продукции за счет устранения промежуточных форм предоставления информации в отношении качества продукции.

7. Предложенная методика поддержки принятия решений на основе визуализации области Парето позволяет интенсифицировать производство продукции приборостроения за счет уменьшения трудоемкости выполнения технологических операций в среднем на 5%.

Личный вклад автора состоит в непосредственной разработке а) модели многогранника качества, б) методики численной идентификации показателей качества и их оценки для описания целевых функций

и допустимых областей существования целевых функций, в) аналитической модели поиска оценки качества продукции и методики решения задачи поиска оптимальных численных значений целевых функций, характеризующих качество продукции, г) методики поддержки принимаемых решений для обеспечения и улучшения качества продукции на основе визуализации области Парето.

Внедрение результатов диссертационного исследования.

Результаты основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационном исследовании, использованы в АО «Радиоавионика», АО «Микротехника», ПАО «Техприбор». Фундаментальные и теоретические исследования в диссертационной работе выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90012 «Разработка автоматизированной системы оценки качества продукции приборостроения».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 10 международных и 3 всероссийских научных конференциях

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 работ, из них: 6 – без соавторов, в том числе 12 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 7 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, 8 статей в других изданиях, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 172 страницах машинописного текста.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель, основные задачи, объект и предмет исследования, отражена научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, сведения об применении и внедрении результатов работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния методов и моделей принятия решений при управлении качеством приборостроительной продукции. Предложена классификация современных методов и моделей оценки и улучшения качества продукции (рис. 1).

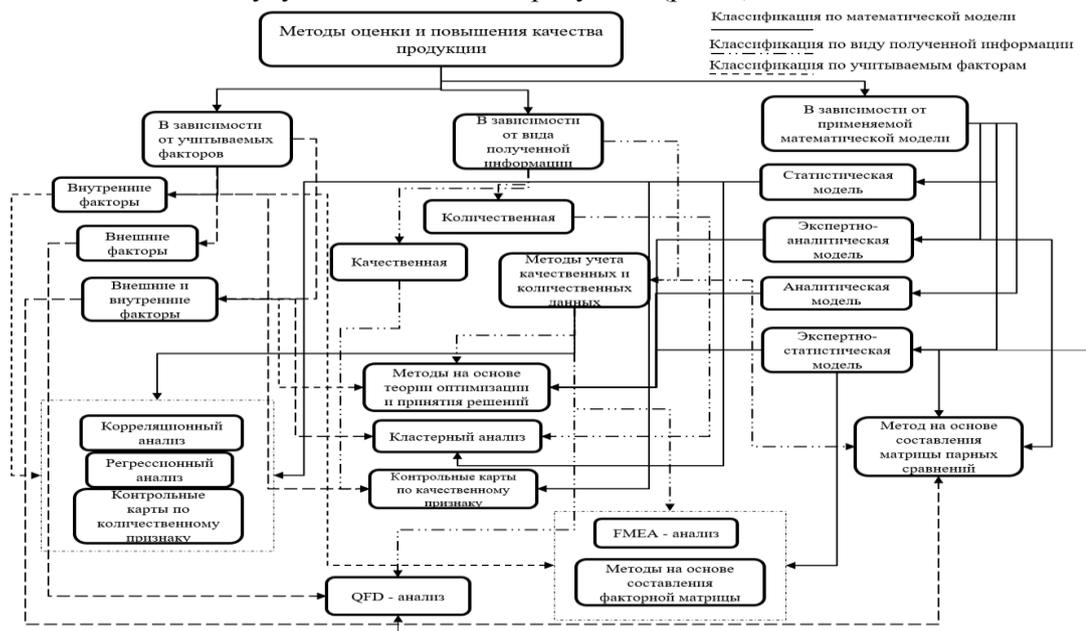


Рисунок 1 - Классификация методов оценки и улучшения качества продукции

Во второй главе предложена комплексная модель решения задач оценки и улучшения качества продукции приборостроения, представленная на рисунке 2.

Комплексная модель представляет собой совокупность моделей для решения таких задач, как сбор информации, обработка информации, оценка разнородной информации, в том числе нечеткой, поиск оценки качества продукции, визуализация допустимых решений для разработки мероприятий по обеспечению и улучшению качеством продукции. Предложенная модель обеспечения и улучшения качества продукции принимает решения на основе анализа области многогранника качества (представленная на рисунке 3), грани которого описывают группу факторов или показателей, влияющих на качество продукции. Допустимая область многогранника качества тем самым будет визуализировать допустимое качество продукции или оценку качества продукции, найденную с учетом воздействующих факторов.

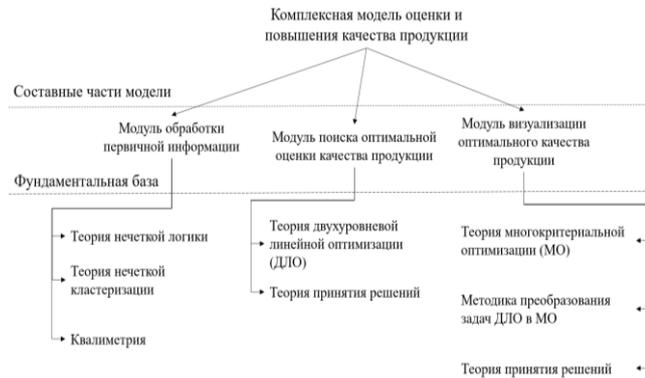


Рисунок 2 - Взаимосвязь модулей комплексной модели и применяемых теорий

Комплексная модель решения задач оценки и улучшения качества продукции состоит из модулей, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Структура модели оценки и улучшения качества продукции

Описание модуля	Описание модели	Описание задач исследования
Модуль обработки первичной информации	<p>Функция Тагаки-Сугено:</p> $p_j = l_1 j g_1 + l_2 j g_2 + \dots + l_{ij} g_i + l_0$	<p>Определение источников и показателей продукции и производства, влияющих на качество продукции приборостроения, для формирования многогранника качества.</p>
	<p>Модель количественной оценки компромиссов:</p> $\theta_{ij} = \frac{w_j}{w_j + w_i}, \theta_{jk} = \frac{w_k}{w_j + w_k},$ $g_{ij} = \theta_{ij} x_i' + (1 - \theta_{ij}) x_j', g_{jk} = \theta_{jk} x_j' + (1 - \theta_{jk}) x_k',$ <p>где w - параметр характеризующий расстояние найденного значения критерия от идеального значения, θ - квант информации, g - найденный вектор переменных для функции Тагаки-Сугено.</p>	<p>Разработка перечня показателей качества и целевых функций на их основе для поиска оценки качества продукции приборостроения.</p>
	<p>Модель нахождения точного значения по нечеткому множеству:</p> $z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i z_i}{\sum_{i=1}^n y_i},$ <p>где $y_i = b_i(z_i)$, z_i - четкое значение переменной y_i, b_i - нечеткий терм с индексом i.</p>	
Модуль оценки качества продукции	<p>Модель формирования ранговой шкалы и оценки структурной энтропии:</p> $G(V, E), H(s_i) = (-o) \log_2 \left(1 - \frac{s_i}{SP} \right), H(S) = \sum_{i=1}^k H(s_i)$ $k = 4 \lg(n),$ <p>где $G(V, E)$ - граф, где n - объем выборки, k - число интервалов деления, SP - плановые издержки, o - количество потребителей операции, на которой были выявлены несоответствия, общая энтропия графа по издержкам.</p>	<p>Разработка методики формирования ранговой шкалы для оценки полученных значений целевых функций.</p>
	<p>Модель двухуровневой линейной оптимизации:</p> $\min_{x \in X} F(x, y) = c_1 x + d_1 y$ $A_1 x + B_1 y \leq b_1$ $\min_{y \in Y} f(x, y) = c_2 x + d_2 y$ $A_2 x + B_2 y \leq b_2$ <p>где $c_1, c_2 \in R^n$, $d_1, d_2 \in R^m$, $b_1 \in R^p$, $b_2 \in R^q$, $A_1 \in R^{p \times n}$, $B_1 \in R^{p \times m}$, $A_2 \in R^{q \times n}$, $B_2 \in R^{q \times m}$.</p>	<p>Разработка модели поиска и визуализации оценки качества продукции на основе методов оптимизации и принятия решений. Разработка автоматизированной системы оценки и улучшения качества изделий приборостроения.</p>
Модуль принятия решений	<p>Модель визуализации области Парето:</p> $G_{x_1, x_2}(Z_p, \hat{x}_3) = \{(x_1, x_2) \mid (x_1, x_2, \hat{x}_3) \in Z_p\},$ <p>где $Z_p = \{z \in R^m : z \geq z', z' \in Z\}$, $\hat{z} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3)$</p>	

Выбранный перечень методов и моделей формирует базу для разработки методики оценки и улучшения качества продукции, которая позволит достичь поставленную цель диссертационного исследования.

В третьей главе предложена модель многогранника качества продукции приборостроения (рис. 3).

Модель построена на основе изучения требований к функциональным показателям, конструктивным показателям, эстетическим показателям, показателям безопасности, показателям транспортабельности и показателям надежности. Нормативно технической базой являются комплекс государственных стандартов и внутренних стандартов, технических условий к классам 6605 «Навигационные оборудование, средства, приборы», 5819 «Автоматизированные системы связи, системы и средства связи комплексов автоматизации управления. Автоматизированные системы управления связью», 5870 «Технические наземные средства разведки» и 5963 «Электронные модули» в соответствии с ЕК 001-2020. Единый кодификатор предметов снабжения для федеральных государственных нужд.

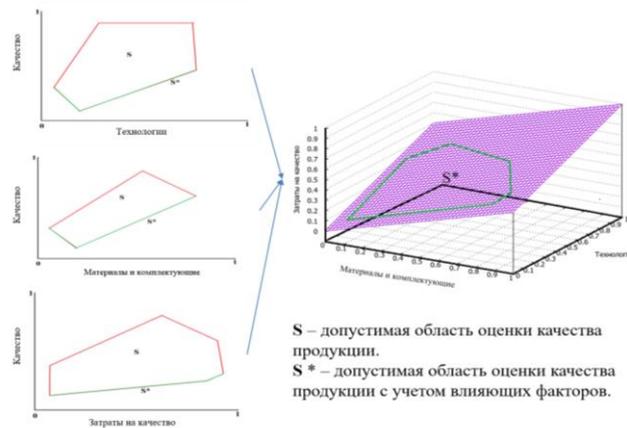


Рисунок 3 – Многогранник качества

На рисунке 3 выделенная нижняя линия на графиках слева – допустимое качество продукции с учетом воздействующих факторов со стороны технологий, материалов и затрат на качество, а на графике справа отображена область допустимого качества на многограннике качества с учетом воздействующих факторов. Таким образом, чем меньше область S^* , тем ниже качество продукции приборостроения. Объединение граней многогранника осуществляется путем нормирования показателей, перевода их к безразмерным единицам и определения функциональной взаимосвязи между факторами и качеством продукции. Нормативно методической базой многогранника качества является перечень государственных стандартов, перечисленные ниже. Оценка качества продукции на многограннике качества продукции находится путем задания обобщенной функции качества с применением модели двухуровневой линейной оптимизации. Для раскрытия функции качества $Q(x, F_1(x, y_1), \dots, F_n(x, y_n))$ и применения модели двухуровневой линейной оптимизации определяются группы факторов (технологии, затраты на качество, материалы и комплектующие), влияющие на качество продукции в соответствии с рисунком 3. Группы факторов, влияющие на функцию качества, формализуются через следующие целевые функции: $F_1(x, y_1)$ – функция «Затраты на качество», $F_2(x, y_2)$ – функция «Управление поставщиками», $F_3(x, y_3)$ – функция технологичности, где переменные x такие, что $x \in X \subset R^n$. Функция качества такая, что $Q: X \times Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \rightarrow R$, где y – переменные, такие, что $y_i \in Y_i \subset R^{m_i}$ при этом $F_i: X \times Y_i \rightarrow R$. Аргумент x накладывает ограничения на допустимую область функций $F_1(x, y_1)$, $F_2(x, y_2)$ и $F_3(x, y_3)$, тем самым, главная функция контролирует поведение подфункций. Вектора переменных x и y – это коэффициенты важности (КВ) частных слагаемых (показателей качества) целевых функций или системы линейных неравенств. На переменные задачи накладываются следующие требования:

1. Существует вектор x такой, что $x_j: \sum_j^n x_j \leq n$, где $0 \leq x_j \leq 1$ и элементы матрицы $A = (a_{ij})$, такие,

что $a_{ij}: 0 \leq a_{ij} \leq 1$.

2. Матрица констант целевых функций $C = (c_{ij})$, где $c_{ij}: 0 \leq c_{ij} \leq 1$.

3. При наличии нескольких зависимых переменных в функции верхнего требования $x_j, y_j: \sum_j^{n_1} x_j + \sum_j^{n_2} y_j \leq n_1 + n_2$, соответственно $0 \leq [x_j, y_j] \leq 1$.

Переменные матрицы a_{ij} , c_{ij} или константы системы линейных неравенств, описывающие допустимую область целевых функций. Оценки для частных значений a_{ij} количественно определяют тот или иной частный показатель качества (ЧПК).

Поиск и идентификация источников информации для расчета ЧПК целевых функций выполнялся в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53711-2009 «Изделия электронной техники. Правила приемки», ГОСТ Р ИСО 9004-2019 «Менеджмент качества. Качество организации. Руководство по достижению устойчивого успеха организации», ГОСТ Р 59193-2020 «Управление конфигурацией. Основные положения», ГОСТ 2.053—2013 «ЕСКД. Правила внесения изменений», ГОСТ Р 59193-2020 «Управление конфигурацией. Основные положения», ГОСТ Р 55754-2013 «КСКК. Изделия электронной техники. Система взаимоотношений изготовителей и потребителей», ГОСТ 27883-88. «Средства измерения и управления технологическими процессами. Надежность. Общие требования и методы испытаний», ГОСТ 4.433-86 «Система показателей качества продукции. Оснастка универсально-сборная. Номенклатура показателей», ГОСТ 31.0000.01-90 «Технологическая оснастка. Основные положения» и ГОСТ Р 52380.1-2005 «Руководство по экономике качества. Часть 1. Модель затрат на процесс».

Функциональная зависимость переменных определяется формой кооперации. Лидер делает первый ход, последователь принимает во внимание ход лидера и максимизирует свою выгоду, после чего на основании хода последователя лидер корректирует свою стратегию и максимизирует свою выгоду с учетом хода последователя. Предложена математическая модель поиска оценки качества продукции приборостроения:

$$\min_{x \in X} \{Q(x, y, z, t) = \left(\sum_{j=1}^n c_j^1 x_j^1 \right)^N + \sum_{j=1}^{n_{11}} d_j^{11} y_{(1)j}^1 + \sum_{j=1}^{n_{21}} d_j^{12} z_{(21)j}^1 + \sum_{j=1}^{n_{22}} d_j^{13} z_{(22)j}^1 + \sum_{j=1}^{n_{31}} d_j^{14} t_{(31)j}^1 + \sum_{j=1}^{n_{32}} d_j^{15} t_{(32)j}^1 \}$$

$$A_1^1 x^1 + B_1^1 y_{(1)}^1 + B_{21}^1 z_{(21)}^1 + B_{22}^1 z_{(22)}^1 + B_{31}^1 t_{(31)}^1 + B_{32}^1 t_{(32)}^1 \leq b$$

$$\min_{y \in Y} \{F_1(x, y) = \left(\sum_{j=1}^n c_j^2 x_j^2 \right)^N + \sum_{j=1}^{n_{11}} d_j^{21} y_{(1)j}^2 \}$$

$$A_2^2 x^2 + B_1^2 y_{(1)}^2 \leq b'$$

$$\min_{z \in Z} \{F_2(x, z) = \left(\sum_{j=1}^n c_j^3 x_j^3 \right)^N + \sum_{j=1}^n d_j^{22} z_{(21)j}^2 + \sum_{j=1}^n d_j^{23} z_{(22)j}^2 \}$$

$$A_2^2 x^2 + B_{21}^2 z_{(22)}^2 + B_{22}^2 z_{(22)}^2 \leq b''$$

$$\min_{t \in T} \{F_3(x, t) = \left(\sum_{j=1}^n c_j^4 x_j^4 \right)^N + \sum_{j=1}^n d_j^{24} t_{(31)j}^2 + \sum_{j=1}^n d_j^{25} t_{(32)j}^2 \}$$

$$A_3^2 x^2 + B_{31}^2 t_{(32)}^2 + B_{32}^2 t_{(32)}^2 \leq b'''$$

В описании целевых функций не заданы константы или частные показатели качества (ЧПК) для поиска целевых функций. Поиск ЧПК будет осуществляться путем предложенного метода на основе алгоритма Такаги - Сугено. Двухуровневая модель оценки качества продукции и база данных нечетких правил для формирования ЧПК представлены на рисунке 4.

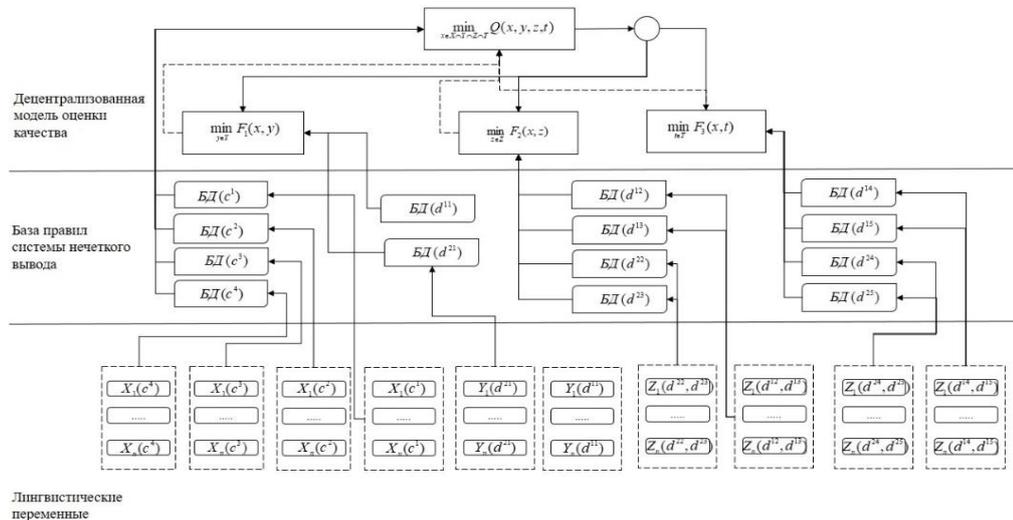


Рисунок 4 - Двухуровневая модель оценки качества на базе нечетких правил

Для численного описания ЧПК и решения задачи нечеткого вывода были предложены лингвистические переменные, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Лингвистические переменные для определения частных показателей целевых функций.

Наименование частного показателя	Наименование лингвистической переменной
Уровень выхода годной продукции	Доля неисправимого дефекта (брак) - $c_1(x)$. Доля дефектов - $c_2(x)$. Доля полученных разрешений на отклонение - $c_3(x)$.
Степень эффективности от внедренных мероприятий по снижению затрат на качество	Доля затрат на устранение производственного дефекта - $d_1(y)$. Доля затрат на устранение производственного брака - $d_2(y)$. Доля затрат на устранение дефектов поставщика - $d_3(y)$. Доля затрат проведение анализа дефектов - $d_4(y)$.
Степень результативности от внедренных мероприятий по работе с поставщиками	Доля забракованной продукции поставщиков - $d_1(z_1)$. Доля покупных комплектующих в изделии или в блоке - $d_2(z_1)$. доля поставщиков с пройденными аудитами - $d_3(z_1)$.
Степень эффективности от внедренных мероприятий по работе с поставщиками	Доля затрат на устранение дефектов собственными силами (на территории производства) - $d_1(z_2)$. Доля затрат на повторное проведение входного контроля и операционного контроля, на котором был обнаружен дефект или брак - $d_2(z_2)$, Доля затрат на неплановое проведение аудита поставщика - $d_3(z_2)$.
Степень результативности от внедренных мероприятий по управлению производством	Степень износа оборудования - $d_1(t_1)$. Долю производственного дефекта - $d_2(t_1)$. Количество внесенных корректировок или исправлений в технологический процесс - $d_3(t_1)$.
Степень эффективности от внедренных мероприятий по управлению производством	Расход материалов при выполнении технологического процесса - $d_1(t_2)$. Время изготовления единицы продукции - $d_2(t_2)$. Расход оснасток и инструмента при выполнении технологического процесса - $d_3(t_2)$.

Поиск ЧПК целевых функций по разработанной методике представлено на рисунке 5.

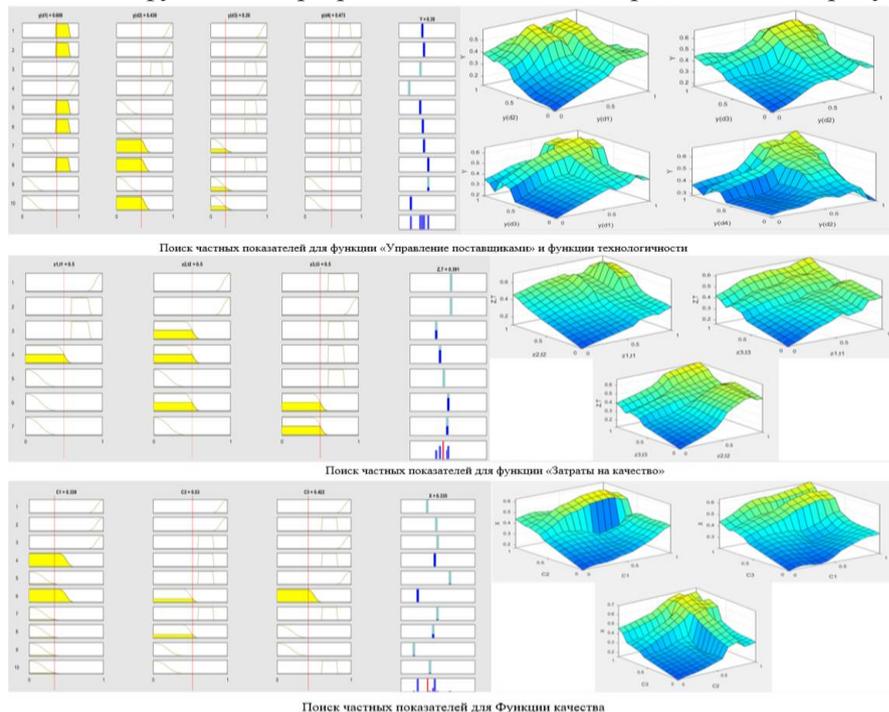


Рисунок 5 –Работа поиска частных значений целевых функций.

Для оценки полученных целевых функций разработана методика формирования ранговой шкалы на основе теории информации, теории графов и методики нечеткой кластеризации с – средних.

Ранговые шкалы для оценки целевых функций представлены в таблице 3.

Для принятия решений по задаче поиска оценки качества продукции необходимо разработать методику визуализации решенной задачи двухуровневой оптимизации на область Парето. Модель двухуровневой линейной оптимизации совместно с методикой визуализации области Парето позволит не только находить оценку качества, но и определять наиболее проблемные места для последующего улучшения качества продукции приборостроения.

Сформулированная в начале главы 3 задача оценки качества продукции позволяет определить слабые места при производстве продукции в таких направлениях, как: 1) процесс производства продукции приборостроения 2) политика в отношении поставщиков, 3) затраты на качества, 4) результативность действующей системы менеджмента качества.

Для принятия решения по предоставленной информации об оценке качества продукции, необходимо продемонстрировать возможные пути решения проблем путем ориентации на наихудшие целевые функции, описывающие качество продукции, полученные на основе решения задачи оценки качества продукции. Однако, целевые функции лишь отражают полученные численные значения, но не дают рекомендаций для руководства. Чтобы решить данную задачу, необходимо представить полученную информацию в виде области принятия решений или области Парето. Для этого целесообразно использовать системы принятия решений, основанные на оптимальности или эффективности по Парето.

Таблица 3 - Ранговые шкалы

Номер ранга	Интервальная оценка	Описание
Функция качества		
1	[0÷0,16)	Разработанные мероприятия управления качеством продукции при выполнении процессов организации не работают. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур, технологической и технической документации.
2	[0,16÷0,36)	Разработанные мероприятия управления качеством продукции при выполнении процессов организации не работают. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур.
3	[0,36÷0,52)	Высокие издержки при выполнении процессов организации. Необходимо произвести корректировку действующих мероприятия управления качеством.
4	[0,52÷0,68)	Необходимо определить причины возникновения повышенного уровня дефектов и откорректировать точно процессы организации.
5	[0,68÷0,84)	Необходимо провести неплановый внутренний аудит процессов СМК для проверки процессов организации
6	[0,84÷1]	Корректировка и разработка новых мероприятий по улучшению качества не требуется
Функция «Затраты на качество»		
1	[0÷0,14)	Разработанные мероприятия управления качеством продукции при выполнении процессов организации не работают. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур, технологической и технической документации.
2	[0,14÷0,28)	Комплекс мер по управлению затратами не работает. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур для управления затратами.
3	[0,28÷0,42)	Высокие затраты на качество при выполнении процессов организации. Необходимо провести корректировку действующих мероприятия управления качеством.
4	[0,42÷0,56)	Повышенный уровень дефектной продукции. Затраты на проведение анализа дефектов возросли. Необходимо провести проверку операций входного контроля, операционного контроля и контроля готовой продукции.
5	[0,56÷0,7)	Затраты на контроль качества и испытание готовой продукции возросли. Необходимо провести проверку рабочих мест и испытательного оборудования с целью корректировки методик проведения контроля качества и испытания готовой продукции.
6	[0,7÷0,84)	Затраты на проведение операционного контроля возросли. Необходимо провести летучий контроль для проверки выполнения операций контроля качества.
7	[0,84÷1]	Приемлемый уровень затрат на качество
Функция «Управление поставщиками»		
1	[0÷0,16)	Разработанные мероприятия управления поставщиками не работают. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур и технологической документации.
2	[0,16÷0,36)	Комплекс мер по управлению поставщиками не работает. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур для управления поставщиками.
3	[0,36÷0,52)	Необходима корректировка перечня поставщиков путем замены наиболее ненадежных поставщиков.
4	[0,52÷0,68)	Поставки осуществляются с нарушением сроков, при этом процент дефектов комплектующих в изделии больше 15%. Необходимо пересмотреть работу с поставщиком по срокам замены и доставки комплектующих, а также оказать методическую помощь для устранения причин дефектов.
5	[0,68÷0,84)	Обнаружены дефекты на этапе входного контроля. Необходимо провести неплановый аудит поставщика.
6	[0,84÷1]	Дефекты на этапе входного контроля не обнаружены. Комплектующие и материалы поставляются в соответствии с договорами
Функция технологичности		
1	[0÷0,2)	Существующее технологическое обеспечение не позволяет выполнять технологический процесс в соответствии с установленными нормативами. Необходимо определить узкие места в технологическом процессе и устранить их путем замены оборудования и (или) корректировки технологии изготовления.
2	[0,2÷0,4)	Существующие методики выполнения технологических процессов не позволяют обслуживать рабочие места оперативно. Кроме того, контрольные операции не позволяют обнаруживать дефекты, которые в дальнейшем

		обнаруживаются на последующих операциях. Необходимо пересмотреть существующие методики обеспечения качества на этапе процесса изготовления продукции.
3	[0,4÷0,6)	Время и издержки при выполнении технологических процессов не соответствуют нормативам на изготовление изделия. Необходимо внести корректировки в технологическую документацию по выполнению технологических операций.
4	[0,6÷0,8)	Повышенный уровень расходования материалов при выполнении технологических процессов. Необходимо провести неплановую проверку выполнения технологических операций в соответствии с технологической документацией.
5	[0,8÷1]	Технология изготовления продукции осуществляется в соответствии с внутренней нормативно-технической и технологической документацией.

Для решения описанной выше проблемы разработана математическая модель перехода от двухуровневой линейной оптимизации к многокритериальной линейной оптимизации. Модель основана на применении оператора вида:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & -1 \end{pmatrix},$$

и преобразовании целевых функций и системы ограничений к виду:

$$Ax + B_1y + B_2z + B_3t \leq b$$

$$-\nabla F_1(x, y)_x - \nabla F_1(x, y)_y \leq \min \{F_1(\bar{x}, \bar{y})^{BL}\}$$

$$-\nabla F_2(x, z)_x - \nabla F_2(x, z)_z \leq \min \{F_2(\bar{x}, \bar{z})^{BL}\}$$

$$-\nabla F_3(x, t)_x - \nabla F_3(x, t)_t \leq \min \{F_3(\bar{x}, \bar{t})^{BL}\}$$

Геометрическая интерпретация и сравнение результатов визуализации области Парето допустимых решений для двухуровневой оптимизации и двухкритериальной оптимизации, представлены на рисунке 6.

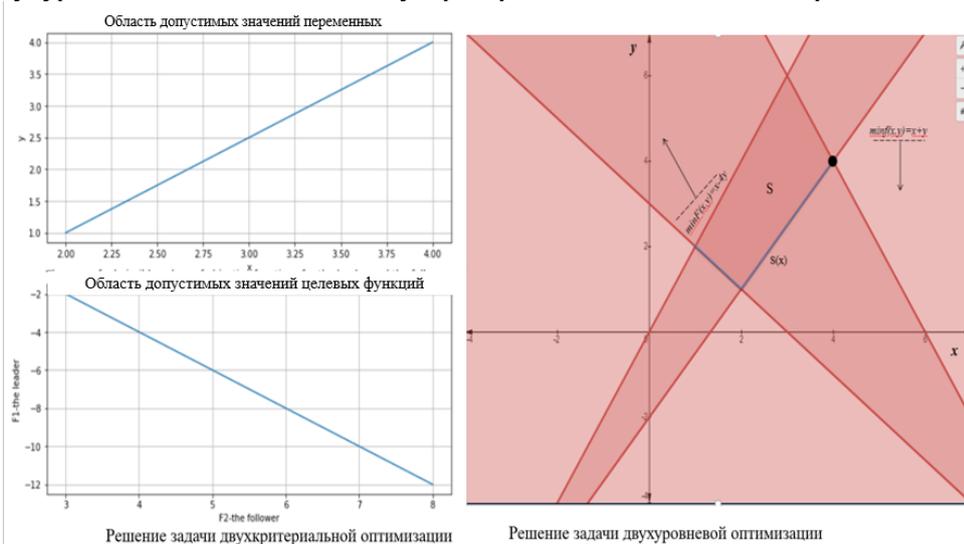


Рисунок 6 – Визуализация результатов работы методики построения области Парето

Для решения задачи используется язык высокоуровневого программирования «Python» с установленными модулями «Puomo», «Scipy», «Numpy» и «Matplotlib». Модуль «Puomo» необходим для решения задачи двухуровневой линейной оптимизации, модуль «Scipy» используем для решения задачи многокритериальной линейной оптимизации.

В четвертой главе приведены результаты практического применения разработанной методики оценки и улучшения качества продукции и рассмотрена разработанная автоматизированная система для реализации разработанной методики.

Решение задачи оценки и улучшения качества показано на примере модуля навигационной системы (МНС), представленного в таблице 4. МНС производится ОАО «Радиоавионика» и является составной частью многофункционального информационного комплекса (МИК). МНС предназначен для автоматического определения текущих координат местоположения по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS в частотном диапазоне L1. Внешний вид МНС представлен на рисунке 7



Рисунок 7 - Модуль навигационной системы

Требования к изделию представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Требования к модулю навигационной системы

Наименование группового показателя	Описание единичного показателя качества и требования к данному показателю	
Функциональный показатель	Определение топографических координат X и Y	
	Определение высоты Z	
	Захват рабочего созвездия	
	Восстановление слежения	
Конструкторские показатели	Масса МНС	Не более 0.2 кг
	Габаритные размеры должны соответствовать сборочному чертежу (СБ)	
	Установочные размеры должны соответствовать (СБ)	
	Соответствие материалов и комплектующих элементов сопроводительной документации	
Эстетические показатели	Отсутствие повреждений лакокрасочных и гальванических покрытий	
	Хромированный купол изделия	
	Читаемая маркировка, наличие маркировки	
Показатели безопасности	В соответствии с ГОСТ В 20.39.107 – 84 и ГОСТ РВ 20.39.309 – 98.	
Показатели транспортабельности	Соответствие ГОСТ РВ 20.39.304 – 98, ГОСТ В 9.001 – 72	
Показатели надежности	Средняя наработка МНС на отказ	Не менее 3000 часов
	Средний срок службы МНС	8 лет со дня изготовления
	Средний срок сохраняемости МНС	Не менее 8 лет при хранении отапливаемом помещении согласно ГОСТ В 9.003 – 80 и ГОСТ РВ 9.515 – 99

Решение задачи поиска оценки качества продукции приборостроения на основе разработанной методики представлено в таблице 5.

Таблица 5 - Решение задачи поиска оценки качества продукции

Обозначение целевой функции	Найденное значение относительной важности частного значения целевой функции						Численное значение целевой функции	
							Найденное	Эталонное
Q	0,70	0,25	0,09	0,09	0,15	0,01	1,29	4,32
F_1	0,70	0,25	0,00	0,00	0,00	0,01	0,95	1,35
F_2	0,70	0,00	0,09	0,09	0,00	0,01	0,89	2,1
F_3	0,70	0,00	0,00	0,00	0,15	0,01	0,85	2,6
-	Найденное значение относительной важности частного значения целевой функции						-	-
	x	y	z_1	z_2	t_1	t_2	-	-
	0,81	0,5	0,15	0,15	0,18	0,01	-	-

Оценка найденных численных значений целевых функций по ранговой шкале представлена в таблице 6.

Таблица 6 - Применение ранговой шкалы

Наименование целевой функции	Найденная оценка	Ранговая шкала	Описание полученной оценки
Функция качества	0,3	[0,16÷0,36]	Разработанные мероприятия управления качеством продукции при выполнении процессов организации не

			работают. Необходимо разработать новый комплект документированных процедур.
Функция «Управление затратами на качество»	0,7	[0,7÷0,84)	Затраты на проведение операционного контроля возросли. Необходимо провести летучий контроль для проверки выполнения операций контроля качества.
Функция «Управление поставщиками»	0,42	[0,36÷0,52)	Необходима корректировка перечня поставщиков путем замены наиболее ненадежных поставщиков.
Функция технологичности	0,33	[0,2÷0,4)	Существующие методики выполнения технологических процессов не позволяют обслуживать рабочие места оперативно. Кроме того, контрольные операции не позволяют находить дефекты, которые в дальнейшем обнаруживаются на последующих операциях. Необходимо пересмотреть существующие методики обеспечения качества на этапе процесса изготовления продукции.

Для получения области Парето по четырём целевым функциям необходимо выразить их взаимосвязь. При этом необходимо определить, как функции последователей влияют на функцию лидера. Наиболее наглядными графиками визуализации являются трехмерные графики, где по оси Oz откладываем численные значения функции качества, по оси Oy – численные значения одной из функций последователя, по оси Ox – численные значения другой функции последователя. Третья функция последователя будет зафиксирована в начальном положении L . Изменение границ целевых функций подуровней осуществляется до эталонных значений. Последовательность визуализации области Парето представлена в таблице 7.

Таблица 7 - Визуализация области Парето

Стратегия	Oz	Oy	Ox	L
А	Q	F_1	F_2	F_3
В	Q	F_1	F_3	F_2
С	Q	F_2	F_3	F_1

Визуализация на области Парето представлена на рисунке 8.

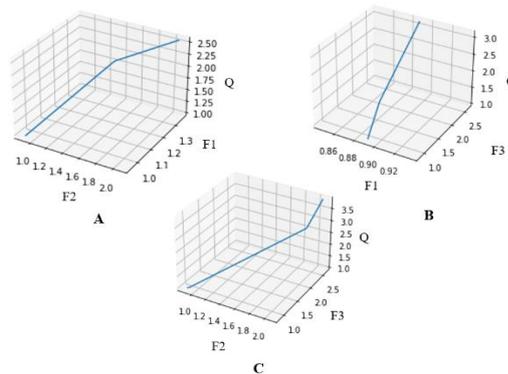


Рисунок 8 - Визуализация областей Парето

Наиболее предпочтительным путем улучшения качества продукции, ориентируясь на область Парето (рис. 8), является стратегия С. График зависимости функции качества от изменения численных значений всех целевых функций подуровней представлен на рисунке 9.

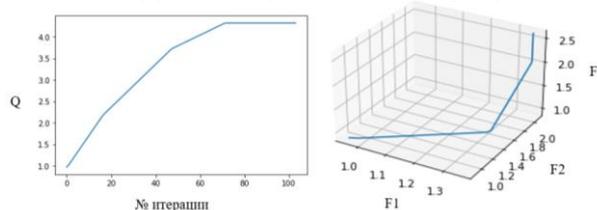


Рисунок 9 - Взаимосвязь функции качества и целевых функций подуровней

Как видно из рисунка 9, высокое значение функции качества достигается на итерации №51, где $Q=3,8$, $F1=1,3$, $F2=2,1$, $F3=2,1$. Решение задачи представлено в таблице 8.

Таблица 8 - Решение задачи улучшения качества продукции

Обозначение целевой функции	Найденное значение относительной важности частного значения целевой функции						Численное значение целевой функции	
							Найденное	Эталонное
Q	0,87	0,48	0,58	0,62	0,30	0,87	3,8	4.32

F_1	0,87	0,48	0,00	0,00	0,00	0,87	1,35	1,35
F_2	0,87	0,00	0,58	0,62	0,00	0,87	2,07	2,1
F_3	0,87	0,00	0,00	0,00	0,30	0,87	2,10	2,6
-	Найденное значение относительной важности частного значения целевой функции						-	-
	x	y	z_1	z_2	t_1	t_2	-	-
	1	0,98	1	1	0,36	1	-	-

Результаты апробации разработанной методики оценки и улучшения качества продукции приборостроения на примере трех предприятий приборостроения представлены на рисунке 10.

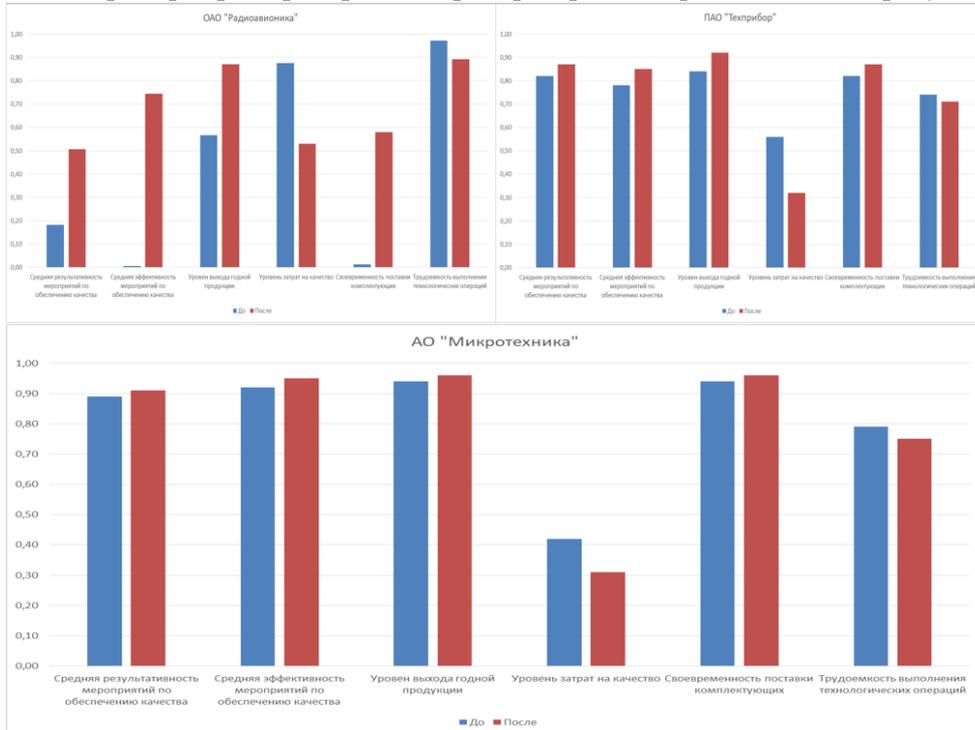


Рисунок 10 – Результаты апробации

Для автоматизации оценки и улучшения качества продукции разработана программа на языке «Python». Алгоритм работы разработанной автоматизированной системы оценки и улучшения качества представлен на рисунке 11.

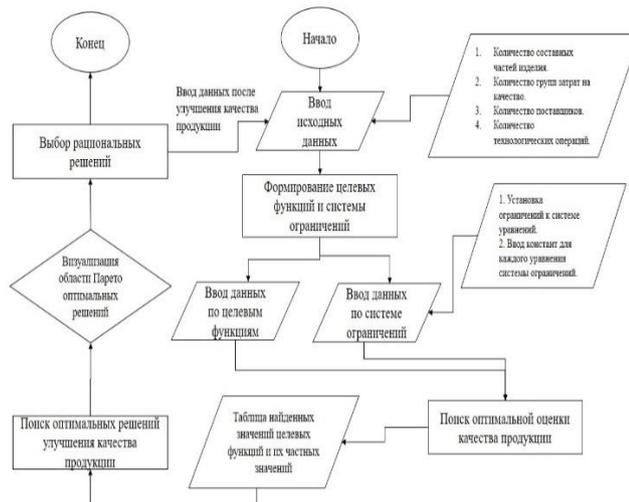


Рисунок 11 - Алгоритма работы автоматизированной системы оценки и улучшения качества

Результаты использования основных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечили снижение доли дефектной продукции на операционном контроле в среднем на 13,4% и повышение выхода годной продукции на 7%, снижение затрат на качество на 23,1%, повышение результативности мероприятия по обеспечению качества на 13,2%, уменьшение трудоемкости выполнения технологических операций в среднем на 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе достигнута поставленная цель исследования с помощью разработанной методики оценки и улучшения качества продукции приборостроения. Полученные в ходе исследования результаты позволяют улучшить процесс принятия решений путем уменьшения времени принятия решений, увеличения объема обрабатываемой информации и поиска оценки качества продукции с учетом требований к производству продукции приборостроения.

Автором достигнуты следующие результаты диссертационного исследования:

1. Определен перечень целевых функций на основе многогранника качества. Целевые функции основаны на перечне показателей качества продукции, включающие технологические, конструкторские и экономические показатели и описывают качество продукции и процесса изготовления приборостроительной продукции.

Новизна предложенных целевых функций в отличии от классической структуры иерархии качества продукции заключается в **описании состояния процессов управления качеством и организации производства приборостроения** через предложенную модель многогранника качества. При этом элементами целевых функций являются показатели, характеризующие качество продукции, применяемые технологии изготовления, экономические показатели, работу с поставщиками и позволяющие всесторонне управлять качеством продукции приборостроения.

2. Разработана методика численной идентификации показателей качества для предложенных целевых функций. Для поиска численных значений целевых функций показатели определены в виде суммы частных слагаемых, где в качестве частных слагаемых входят произведения неизвестных переменных и констант. Константы определены как частные показатели, характеризующие объект, описываемый целевой функцией, а неизвестная переменная - вес данного частного показателя.

Новизна предложенного метода определения и численной формализации целевых функций в отличие от известных квалиметрических методов оценки заключается в возможности численного **описания процессов управления качеством** путем применения методов и моделей теории информации, теории нечетких множеств и нечеткой кластеризации, что обеспечивает обработку информации, получаемой в процессе производства, и ее синтез с целью получения линейных целевых функций и их частных показателей при решении задач оценки и улучшения качества продукции.

3. Разработана аналитическая модель поиска оценки качества продукции приборостроения на основе модели двухуровневой линейной оптимизации, расширяющая и дополняющая перечень **существующих инструментов оценки и мониторинга качества продукции и процессов производства**.

Новизна предложенного метода решения задачи оценки качества продукции в отличие от известных методов (аналитических, статистических, экспертных) заключается в применении модели двухуровневой оптимизации для реализации принципов децентрализованного управления и аналитическом задании зависимости между целевыми функциями для делегирования на функцию качества опций координации и контроля над функциями нижнего уровня. Как результат применения данного метода оценки качества продукции приборостроения производитель приборостроительной продукции получает вектор численных значений, характеризующих состояние производства и качество продукции.

4. Разработана методика принятия решений, на основе численных значений показателей качества, полученных после применения методики оценки качества продукции приборостроения.

Новизна предложенного метода принятия решений заключается в проекции возникающих затрат или потерь, характеризующих найденное численное значение качества продукции приборостроения, на область Парето, **что позволяет оптимизировать работу организационной структуры и обслуживающих процессов** в рамках существующей системы менеджмента качества. Также новизна предложенного метода заключается в предложенном способе оценки достоверности решения задачи оценки качества продукции на основе предложенного метода принятия решений.

5. Разработана автоматизированная система поиска оценки качества продукции на базе высокоуровневого языка программирования Python. Новизна применения данного подхода заключается в применении библиотеки Puomo для задания в программе Python алгоритма расчета двухуровневой задачи оптимизации оценки качества продукции приборостроения и визуализации области Парето.

В рамках проведенных исследований разработана программа поиска оценки качества продукции на базе высокоуровневого языка программирования Python. На разработанную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. **Пипия, Г. Т.** Методы оптимизации и принятия решений в отношении качества продукции при

наличии нескольких целевых функций / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2022. – № 1. – С. 24-38. **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

2. Пипия Г.Т. Повышение эффективности и результативности принятия решений при управлении качеством продукции / Л.В. Черненкокая, Г.Т. Пипия // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2021. – Т. 4, № 11(119). – С. 65-73. **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

3. Пипия, Г.Т. Методика формализации единичных критериев качества продукции приборостроения для двухуровневой модели. Ч. 1. Единичные критерии целевых функций качества / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 7. – С. 650-656. **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

4. Пипия, Г.Т. Методика формализации единичных критериев качества продукции приборостроения для двухуровневой модели. Ч. II. Формализация единичных критериев верхнего и нижнего уровней / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 8. – С. 749-755. **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

5. Пипия Г.Т. Модель мониторинга показателей качества в многокритериальной среде / Г.Т. Пипия // Стандарты и качество. – 2019. – № 3. – С. 108 **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

6. Пипия Г.Т. Оценка уровня качества многопараметрической продукции с помощью методов условной оптимизации / Г.Т. Пипия // Контроль. Диагностика. – 2018. – № 5. – С. 20-25. **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

7. Пипия, Г.Т. Методика многокритериальной оценки как инструмент планирования мероприятий по обеспечению качества / Г.Т. Пипия // Радиопромышленность. – 2018. – № 2. – С. 115-120 **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

8. Пипия Г.Т. Мероприятия повышения надежности дефектоскопа на основе FMEA-анализа / Г.Т. Пипия, А.А. Шашмуринов // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 6(84). – С. 121-125 **(РИНЦ, ВАК, К2)**.

9. Пипия Г.Т. Оценка уровня качества при производстве электронной продукции с учетом ухудшения значений единичных показателей / Г.Т. Пипия, Г.И. Коршунов // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – № 10. – С. 89-93 **(РИНЦ, ВАК, К1)**.

10. Пипия Г.Т. Методика оценки уровня качества технической продукции на основе математической модели с учетом множества единичных показателей качества / Г.Т. Пипия, А.М. Струев // Глобальный научный потенциал. – 2017. – № 11(80). – С. 76-78 **(РИНЦ, ВАК, К2)**.

11. Пипия Г. Т. Способ формирования уточненного перечня показателей качества продукции по правилу Парето с использованием статистических данных о количестве возникающих дефектов на этапе производства / Г.Т. Пипия // *Juvenis Scientia*. – 2017. – № 8. – С. 4-7 **(РИНЦ, ВАК)**.

12. Пипия Г. Т. Аспекты математического моделирования и автоматизации плазменных методов переработки твердых видов топлива / О. И. Золотов, А. М. Струев, Г. Т. Пипия // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 76. – EDN YSAIAP **(РИНЦ, ВАК)**.

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus

1. Pipiyay G., Chernenkaya L. Modern Methods of Searching for the Optimal Assessment of Product Quality // *Advances in Automation IV: Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon2022, September 4-10, 2022, Sochi, Russia*. – Cham: Springer International Publishing, 2023. – С. 94-104 **(РИНЦ, SCOUPS, Q4)**.

2. Pipiya G.T., Chernenkaya L.V. Optimization and Decision-Making Strategies with Respect to Product Quality in the Presence of Several Objective Functions // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. – 2022. – Т. 51. – №. 7. – С. 689-701 **(РИНЦ, SCOUPS, Q3)**.

3. Pipiyay G.T. Method of Forming an Updated List of Technical Products Fuzzy Quality Indicators Based on Fuzzy Clustering / G.T. Pipiyay, L.V. Chernenkaya, V.E. Mager // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2022. – Vol. 857 LNEE. – P. 324-336. **(РИНЦ, SCOUPS, Q4)**.

4. Pipiyay G.T. Quality Indicators of Instrumentation Products According to the "quality 4.0" Concept / G.T. Pipiyay, L.V. Chernenkaya, V.E. Mager // *Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28 января 2021 года*. – Moscow, 2021. – P. 1032-1036. **(РИНЦ, SCOUPS, Q4)**.

5. Pipiyay G. et al. Fuzzy inference system for a bilevel quality assessment optimization model // *International Journal of Productivity and Quality Management*. – 2021. – Т. 1. – №. 1 **(SCOUPS, Q3)**.

6. Pipiyay G. Fuzzy Formalization of Individual Quality Criteria for Quality Level Evaluation by Using Two-Level Optimization Model / G. Pipiyay, L. Chernenkaya, V. Mager // *6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020) : Серия Lecture Notes in Mechanical Engineering, Sochi, Russia, 18–22 мая 2020 года*. – Sochi, Russia: Springer International Publishing, 2021. – P. 557-565. **(РИНЦ, SCOUPS, Q4)**.

7. **Pipiy G.T.** Solution of the Decentralized Task of Evaluating and Improving Product Quality / G.T. Pipiy, L.V. Chernenkaya, V.E. Mager // Proceedings of the International Scientific Conference "FarEastCon" (ISCFEC 2020): Серия: Advances in Economics, Business and Management Research, Vladivostok, 01–04 октября 2019 года. – Vladivostok: Atlantis Press, 2020. **(РИНЦ, WOS).**

Статьи и материалы конференций

1. **Пипия Г. Т.** Управление качеством продукции приборостроения на основе математических методов двухуровневой оптимизации и принятия решений / Г. Т. Пипия, Л. В. Черненкокая // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXVI Международной научно-практической конференции. В 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 3. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2023. – С. 95-102. **(РИНЦ).**

2. **Пипия Г.Т.** Алгоритм работы системы мониторинга качества продукции при децентрализованном управлении / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Сборник докладов Третьей Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 18–22 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 178-182. **(РИНЦ).**

3. **Пипия Г.Т.** Методы двухуровневой оптимизации в задачах управления качеством продукции / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве: Тезисы докладов I Международного форума, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. – С. 251-253. **(РИНЦ).**

4. **Пипия Г.Т.** Двухуровневая оптимизация оценки качества продукции приборостроения / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч., Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2021. – С. 357-363. **(РИНЦ).**

5. **Пипия Г. Т.** Методика определения показателей качества на основе статистического анализа данных / Л. И. Назарова, Г. Т. Пипия, Л. В. Черненкокая // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 июня 2019 года / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Том Часть 3. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2019. – С. 263-272. **(РИНЦ).**

6. **Пипия Г.Т.** Целевые критерии для многокритериальной модели условной оптимизации оценки качества продукции / Г.Т. Пипия // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22–24 мая 2018 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. – С. 184-190. – **(РИНЦ).**

7. **Пипия Г.Т.** Определение векторных критериев для оценки уровня качества продукции на этапе производства / Г.Т. Пипия, А.А. Шашмурин // Вестник современных исследований. – 2018. – № 8.1(23). – С. 290-293. **(РИНЦ).**

8. **Пипия Г. Т.** Сравнительный анализ квалиметрических методов свертки единичных показателей качества на примере многофункционального информационного комплекса / Г. Т. Пипия // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Сборник докладов, Санкт-Петербург, 06–10 апреля 2015 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2015. – С. 70-73. **(РИНЦ).**

Свидетельство о государственной регистрации

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661438 Российская Федерация. Программа поиска оптимальной оценки качества продукции: № 2022660814: заявл. 10.06.2022: опублик. 21.06.2022 / Г.Т. Пипия, Л.В. Черненкокая; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».