

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тульский государственный университет»

На правах рукописи



ЕРМАКОВА ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Специальность 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.

Организация производства

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент Плахотникова Е. В.

Тула – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И КРИТЕРИЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	12
1.1 Обзор основных терминов, определений и классификаций технических систем.....	12
1.2 Обзор основных терминов, определений и классификаций показателей технической совместимости элементов системы	14
1.3 Применимость видов технической совместимости в зависимости от структуры технических систем.....	15
1.4 Описание профиля качества технических систем с учетом показателей технической совместимости.....	18
1.5 Выводы по первой главе.....	26
2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ПРОФИЛЕМ КАЧЕСТВА	28
2.1 Управление уровнем и стабильностью качества продукции с учетом потерь потребителя	28
2.2 Определение допустимых значений показателей качества для базового профиля	31
2.3 Определение допустимых значений показателей качества для требуемого профиля.....	34
2.4 Определение допустимых значений показателей качества для желаемого профиля.....	45
2.5 Анализ зависимости потерь потребителя от условий производства и профиля качества.....	47
2.6 Обобщенный алгоритм реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества	53
2.7 Выводы по второй главе	54

3	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТНОСТИ ВЛИЯНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА МНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ	56
3.1	Анализ методов оценки рисков	56
3.2	Разработка методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя	62
3.3	Обобщенный алгоритм реализации методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя.....	65
3.4	Выводы по третьей главе	66
4	РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК НА ПРИМЕРЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ПИСТОЛЕТ МОНТАЖНЫЙ».....	68
4.1	Описание технической системы «пистолет монтажный»	68
4.2	Формирование номенклатуры показателей технической совместимости системы «пистолет монтажный»	78
4.3	Моделирование выходных характеристик системы в зависимости от характеристик совмещаемых элементов.....	80
4.4	Пример реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества системы «пистолет монтажный»	85
4.5	Пример реализации методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя	92
4.6	Выводы по четвертой главе	97
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	100
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	103
	Приложение А Акт использования результатов диссертационного исследования	117

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время проблема обеспечения качества машиностроительной продукции российских производителей является особенно актуальной. С 2013 года на территории Российской Федерации реализуется государственная программа «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Ее цель - создание в стране конкурентоспособной, устойчивой, структурно сбалансированной промышленности, способной к эффективному саморазвитию на основе разработки и применения передовых промышленных технологий.

Большинство машиностроительной продукции являются сложными техническими системами, включающими в себя различное количество разнородных элементов, проектирование и производство которых осуществляется на отдельных предприятиях. Обеспечение качества технических систем в описанных условиях является сложной научно-технической задачей, успешное решение которой зависит от понимания потребностей потребителя и от возможности грамотного совмещения элементов технической системы с учетом технологического потенциала производителей.

Основными причинами снижения удовлетворенности потребителей являются их потери, связанные с вариабельностью выходных характеристик системы при техническом совмещении различных элементов ввиду естественной нестабильностью производственных процессов. Это препятствует реализации одного из главных принципов системы менеджмента качества – ориентация на потребителя. Увеличение ценности конечного продукта для потребителей, улучшение репутации организации и другие преимущества системы менеджмента могут быть достигнуты только путем согласования целей организации с ожиданиями потребителей.

Достичь согласованности в данном вопросе возможно путем применения комплексного научно-обоснованного подхода, направленного на обеспечение соответствующего уровня технической совместимости элементов – как основы ка-

чества технической системы, рационального использования возможностей производителей, задействованных в цепочке создания ценности конечного продукта, дифференциации их целей в области качества с учетом естественной нестабильностью производственных процессов и создания благоприятных условий интеграции достигнутых результатов для повышения удовлетворенности потребителей, снижения их потерь и выявления приоритетных направлений дальнейшего совершенствования продукции машиностроения.

Анализ научной литературы показывает возрастающий интерес к проблеме обеспечения технической совместимости для повышения качества машиностроительной продукции. На данный момент уже сформулированы базовые принципы теории технической совместимости, предложены общие и частные закономерности процесса ее обеспечения. Ряд терминов и базовая номенклатура показателей технической совместимости регламентированы в стандартах: ГОСТ 30709-2002 Техническая совместимость. Термины и определения, ГОСТ 22315-77 Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие положения, ГОСТР 59853-2021 Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. Обозначение, ГОСТ 30372-2017 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. Обозначение.

В научных источниках описаны более 50 видов совместимости, которые на прямую или косвенно можно отнести к объектам машиностроения, но отсутствие обобщения номенклатуры показателей и единой концепции их применимости к различным видам технических систем препятствует широкому использованию накопленных знаний. В то время, как недостаточное внимание к указанным показателям приводит к снижению уровня качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции.

Формированию комплексного подхода также препятствует недостаточная проработанность методической составляющей в части количественной оценки влияния уровня технической совместимости на степень удовлетворенности по-

ребителя и его возможных потерь, вызванных естественной нестабильностью производственных процессов.

Зависимость удовлетворенности потребителя от уровня качества принято описывать моделью Н. Кано. Модель предусматривает расслоение показателей на три профиля качества (базовый, требуемый, желаемый), которые хорошо на качественном (не количественном) уровне иллюстрируют влияние показателей качества на удовлетворенность потребителя. Формально полученную информацию можно использовать для принятия управленческих решений по совершенствованию машиностроительной продукции, но в отсутствие метрологического наполнения результатов оценки, определить их точность и достоверность, оценить возможные потери потребителя, вызванными естественной нестабильностью производственных процессов, а также произвести расчет рисков принимаемых решений, не представляется возможным.

Указанные препятствия определяют актуальность исследования, направленного на разработку инструментария обеспечения качества машиностроительной продукции, основанного на количественной оценке уровня технической совместимости элементов систем с учетом степени удовлетворенности потребителей и его возможными потерями, вызванными естественной нестабильностью производственных процессов, для обеспечения конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции в современной системе менеджмента качества.

Степень научной разработанности темы. В основу исследования положены результаты научных трудов по вопросам качества и конкурентоспособности технических систем.

Теоретические направления представленного диссертационного исследования определяют фундаментальные научные работы Э. Деминга, К. Исикавы, Н. Кано, Г. Тагути, Ф. Тейлора.

Научно-практические направления работы задаются на основе трудов выдающихся отечественных ученых: Ю. П. Адлера, В. Н. Азарова, И. З. Аронова, Д. В. Антипова, В. А. Барвинка, В. Ф. Безъязычного, В. Я. Белобрагина, Б. В. Бойцова, В. В. Бойцова, В. А. Васильева, С. А. Васина, В. Я. Кершенбаума, Ю. С. Ключ-

кова, В. Н. Козловского, М. А. Поляковой, В. Б. Протасьева, С. В. Пугачева, М. И. Розно, Т. А. Салимовой, Е. Г. Семеновой, Л. Е. Скрипко, А. Г. Сулова, Х. А. Фасхиева, А. Д. Шадрина, А. П. Шалаева, В. Л. Шпера, В. В. Щипанова, Г. Л. Юнака.

Наиболее важные научно-прикладные аспекты исследования в части технических систем и показателей технической совместимости определяются в работах А.А. Носенков, В.И. Медведев, А.М. Муллин, Г.С. Альтшуллера, Г. Буша, А.И. Половинкина, Е.П. Балашова, А.В. Кудрявцева, В.Хубки.

Цель исследования – совершенствование инструментария обеспечения качества проектирования и производство машиностроительной продукции, базирующегося на обеспечении требуемого уровня технической совместимости элементов технической системы, необходимого для повышения степени удовлетворенности потребителя.

Задачи исследования:

1. Провести анализ показателей технической совместимости и критериев классификации технических систем, как основного вида машиностроительной продукции, для формирования общего подхода к выбору базовой номенклатуры ключевых показателей, определяющих качество различных типов технических систем, с целью увязки этих показателей с профилями качества модели Н. Кано и повышения степени удовлетворенности потребителя.

2. Проанализировать варианты влияния нестабильности производственных процессов на каждый из профилей качества модели Н. Кано и разработать инструментарий по минимизации такого воздействия путем назначения наилучших допустимых значений показателей технической совместимости, без дополнительного усложнения процесса изготовления.

3. Обобщить полученные результаты и разработать методику оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы.

4. Разработать методику количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя для ранжирования целей в области качества.

5. Провести апробацию разработанных методик и инструментария на примере технической системы.

Область исследований диссертации соответствует п. 8 «Разработка научно-практического статистического инструментария управления качеством», п. 9 «Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов», п.22 «Разработка методов и средств организации производства в условиях организационно-управленческих, технологических и технических рисков» Паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке научно-методических подходов к учету влияния параметров технической совместимости на степень удовлетворенности потребителя качеством технических систем и воздействия на них для достижения наилучшего результата, включающих в себя:

- матрицу применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем, позволяющую выбрать базовую номенклатуру ключевых показателей с учетом сложности, принципа осуществления рабочего действия, функционального назначения и метода управления технической системы;

- инструментарий, позволяющий назначать допустимые значения показателей технической совместимости для каждого профиля качества технической системы, отличающийся от известных тем, что позволяет на основе методов теории вероятности и математической статистики учесть технологические возможности предприятий (нестабильность производственных процессов) и установить рациональные требования к уровню качества, удовлетворяющего потребителя и производителя;

- методику оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы, отличающуюся от известных «увязкой» уровней качества с функцией потерь потребителя, степенью их удовлетворенности и потерями, обусловленными нестабильностью производственного процесса;

- методику количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, обусловленное профилем качества (базовый, требуемый и желаемый), отличающуюся от известных, учетом степени неудовлетворенности потребителей при дифференциации и ранжировании целей в области качества, путем идентификации отказов, которые в наибольшей степени могут нанести урон производителю из-за снижения удовлетворенности потребителя.

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке методик количественной оценки качества технической совместимости элементов при проектировании и производстве технических систем на основе интеграции известных методов управления качеством и теории вероятности для обеспечения удовлетворенности потребителей и согласования целей производителей, задействованных в цепочке создания ценности сложных машиностроительных объектов. Раскрытие и описание взаимосвязей между показателями технической совместимости, удовлетворенностью потребителя и их потерями, связанными с вариабельностью выходных характеристик ввиду естественной нестабильности производственных процессов, являются предпосылками для развития методов управления качеством и формирования комплексного научно-обоснованного подхода к обеспечению качества технических систем.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке комплекса научно обоснованных методик и инструментария по обеспечению качества и повышению конкурентоспособности машиностроительной продукции, позволяющие сократить потери потребителя от 0,5% до 3% и снизить его риск в два раза.

Полученные в диссертационной работе результаты внедрены в рамках комплексной программы по повышению качества производства грузоподъемных ма-

шин в ООО «Стройтехника». Внедрение результатов научной работы в практику предприятия позволило повысить на 7-10% степень удовлетворенности потребителей выпускаемых ООО «Стройтехника» мостовых кранов.

Методология и методы исследования. При выполнении работы использовались методы теории систем, экспертные методы квалиметрии, методы и инструменты управления качеством, в том числе FMEA-анализ, метод Тагути, модель Н. Кано, элементы теории вероятности и надежности.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием значительного числа научных работ отечественных и зарубежных авторов, применением научно-обоснованных методов исследования, корректным применением математического и вероятностно-статистического аппарата, публикациями в рецензируемых научных изданиях и широким обсуждением основных положений и выводов исследования в рамках научно-технических конференций, а также отсутствием противоречий с результатами ранее проведенных исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Матрица применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем.
2. Инструментарий, позволяющий назначать допустимые значения показателей технической совместимости для каждого профиля качества технической системы.
3. Методика оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы.
4. Методика количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, обусловленное профилем качества (базовый, требуемый и желаемый).

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных результатов и выводов работы обеспечивается корректностью использования общеизвестных методов управления качеством, теории надежности, теории веро-

ятности, теории технических систем, допущений, принимаемых при математическом моделировании.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на 2-й Всероссийской научно-технической конференции Юго-западного государственного университета «Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем» (г. Курск, 2020 г.), 57-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ТулГУ (г. Тула, 2021 г.), III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (г. Тула, 2022 г.), 58-й научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием (г. Тула, 2023 г.), IV Всероссийской научно-технической конференции Тульского государственного университета с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (г. Тула, 2023 г.), VIII региональная студенческая конференция «Современные технологии в машиностроении» (г. Тула, 2023 г.).

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 9 работ (из них 4 статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 статья в издании, индексируемом в информационно-аналитических системах научного цитирования Scopus и Web of Science) .

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 125 наименований. Работа изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 16 таблиц, общий объём с учётом приложений составляет 117 страниц.

1 АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ И КРИТЕРИЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1 Обзор основных терминов, определений и классификаций технических систем

В любой сфере деятельности (человек-природа, человек-техника, человек-человек) имеет место система.

Система - это совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая образует неопределенную целостность, единство [8].

Система - это комплекс взаимодействующих элементов или совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой; множество вещей, свойств, отношений [11].

Объекты, входящие в систему, называют элементами системы или подсистемы. При этом элементы системы представляют собой простейшую часть системы, внутреннее устройство которой в рамках данного рассмотрения не имеет самостоятельного интереса. Если элемент при детальном изучении рассматривается как система, то его называют ее подсистемой.

Техническая система (ТС) - это взаимосвязь разнородных элементов, как материальных, так и человеческих, их цель - выполнять производственную работу, преобразуя элементы в соответствии с определенными пожеланиями [73].

Технические системы функциональны, а это значит, что они непременно должны давать определенные и измеримые показатели.

Взаимодействие разнородных элементов технической системы определяют результаты деятельности и не всегда совпадают с поставленными целями. Поэтому, необходимо учитывать все данные и измерять производительность системы.

Техническая система - это объект, который постоянно трансформируется. Правильное оформление процедур позволит постоянно совершенствоваться и получать оптимальный результат [9].

Техническая система представляет собой совместно работающие компоненты для достижения заданной цели.

Техническая система может быть представлена как собранная система. Однако ее компоненты могут поставляться или отдельно в виде собранных деталей, или в наборе других систем. В этом случае сборку технической системы завершают во время монтажа и подключения компонентов [89].

С точки зрения структурирования, техническая система рассматривается как объект, а его компоненты - как физические подобъекты.

Основная цель технической системы - создать производственный процесс, который является высокоэффективным в экономической и технической областях. [72].

Результаты технической системы должны поддаваться количественному измерению. Таким образом, можно оценить достигнутые уровни производительности, а также качество взаимосвязей между каждым из факторов, участвующих в системе.

Область применения технических систем очень широка и включает в себя все отрасли экономики [12].

Разнообразие, сложность, функциональность, область применения технических систем обозначили необходимость их систематизации [60].

В. Хубка в своих трудах [117] выделил классификационные признаки технических систем.

Принимая во внимание многообразие существующих классификаций технических систем [8, 23, 27, 74, 75, 117], для формирования общего подхода к выбору показателей технической совместимости для конкретной технической системы в рамках работы используем основные положения, описанные в ГОСТ Р 58908.1-2020 [48].

В соответствии с [48] «техническая система - это группа элементов, функционирующих совместно для достижения заданной цели, т.е. это некоторая «инфраструктура» для процесса».

1.2 Обзор основных терминов, определений и классификаций показателей технической совместимости элементов системы

Понятие «совместимость (compatibility)» появилось в ходе разработки американской космической программы «Аполлон» и представило собой переименование понятия согласованности электромагнитных полей радиоэлектронных средств [90].

Понятийный аппарат по отдельным видам технической совместимости представлен в ГОСТ 22315-77 [40], ГОСТ Р 59853-2021 [49], ГОСТ 30372-2017 [41]. Особого внимания заслуживает ГОСТ 30709-2002 [42], в котором впервые изложена общетехническая терминология совместимости и дана классификация видов технической совместимости по характеристикам совместимых объектов (размерная, функциональная и др.) и по объектам технической совместимости (техническая совместимость составных частей изделия, «изделие-тара (упаковка)», «изделие-материал» и др.) [59].

В [92] также даны определения механической, конструктивной, размерной, тепловой, технологической, информационной, метрологической и другим видам совместимостей.

В [90] предложены также классификационные группы совместимости техники.

Ряд классификационных совместимостей может быть представлен в виде многоуровневой иерархической подчиненности [91]:

$$C_1 \rightarrow \{C_2^1, C_2^2, \dots, C_2^m\} \rightarrow \dots \rightarrow \{C_r^1, C_r^2, \dots, C_r^n\}, \quad (1.1)$$

где C_1 – совместимость первого, высшего порядка;

C_2, C_r – совместимость второго и далее порядка.

Количественная оценка такой связи пока возможна лишь для некоторых пар «вид совместимости—показатель качества» и то не во всем ее диапазоне, а за пределами допуска: «размерная (геометрическая) совместимость - безотказность», «размерная (геометрическая) совместимость - возможность монтажа на объекте (носителе)», «антропометрическая совместимость - безотказность СЧМ», «экс-

плуатационная совместимость - безотказность (сохраняемость)», «тепловая совместимость - безотказность (сохраняемость)» и т.п.

Проведенный анализ научной литературы [64, 74, 84, 87, 90, 92, 17] показывает, что в настоящее время известно более 50 видов совместимости техники. Однако до сих пор они остаются неупорядоченными и, нередко, противоречивыми.

Таким образом, существует необходимость в формировании общего подхода к выбору показателей технической совместимости элементов системы [59].

1.3 Применимость видов технической совместимости в зависимости от структуры технических систем

Для формирования общего подхода к выбору показателей технической совместимости элементов системы разработана матрица применимости (таблица 1.1), позволяющая систематизировать виды совместимости в зависимости от структуры технических систем.

Структурирование технической системы должно основываться на взаимоотношениях составных частей с использованием аспектов представления объектов, которые действуют в качестве условных фильтров для объекта и выделяют информацию, которая имеет отношение к рассматриваемой технической системе.

Основными аспектами при структурировании технической системы являются:

- аспект функций - то, для чего предназначен объект или то, что он на самом деле делает;
- аспект продукта – по принципу осуществления рабочего действия;
- аспект сложности системы.

Учитывая, что большинство технических систем требуют наличие управляющего воздействия, в рамках работы дополнительно рассмотрим аспект управления – степень участия в работе системы человека для выполнения технического процесса.

В соответствии с изложенным наиболее часто используемые аспекты для классификации технических систем (см. таблицу 1.1) расположим по горизонтали таблицы.

По вертикали – наиболее часто встречающиеся виды совместимости.

В центральной части матрицы знак «+» означает применимость показателя совместимости к соответствующему классу технических систем, а знак «-» – неприменимость показателя. Знак «*» характеризует частичную применимость, знак «(+))» – применяемость указанных видов совместимости не для всех технических систем.

Таким образом, матрица применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем позволяет выбрать базовую номенклатуру ключевых показателей с учетом сложности, принципа осуществления рабочего действия, функционального назначения и метода управления технической системы. Следует отметить, что номенклатура показателей может быть дополнена, исходя из целей и задач производителя [60].

Для повышения удовлетворенности потребителя технической системы необходимым условием является комплексное обеспечение технической совместимости. Низкая внутренняя совместимость (согласованность) составных частей технической системы приводит к ускоренному износу и повышению расходов на производство и эксплуатацию. Не достаточная внешняя совместимость может нанести вред окружающей среде и повысить затраты на экологию [90].

Таблица 1.1 – Матрица применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем

Виды совместимости ТС	По функции (рабочему действию)				По принципу осуществления рабочего действия					По уровню сложности				По степени участия человека		
	Измерение	Крепление	Вращение	Програм. обеспечение	Механические	Гидравлические	Пиротехнические	Электронные	Оптические	I	II	III	IV	Автоматические (работающие без человека)	Автоматизированные (с участием человека)	Сложные (включают целую систему взаимосвязанных устройств)
Конструктивная (КС)	+	+	+	*	+	+	+	*	(+)	-	(+)	+	+	+	+	+
Механическая (МхС)	*	+	+	-	+	*	+	-	(+)	-	-	+	*	+	+	+
Тепловая (ТпС)	*	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	(+)	*	+	-	+
Эксплуатационная (ЭксС)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+
Размерная (РзС)	+	+	+	*	+	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
Электромагнитная (ЭМС)	*	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	-	-	+
Энергетическая (ЭнС)	+	+	+	-	-	*	+	-	-	-	-	+	+	+	(+)	+
Информационная (ИС)	(+)	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	*	(+)	+
Биофизическая (БфС)	+	(+)	(+)	*	*	-	*	*	(+)	-	-	(+)	(+)	-	+	+
Пространственно-антропометрич. (ПАС)	+	+	+	+	*	*	+	+	(+)	-	-	+	(+)	-	+	+
Метрологическая (МС)	+	-	-	-	-	-	-	-	(+)	-	-	-	(+)	-	(+)	(+)

1.4 Описание профиля качества технических систем с учетом показателей технической совместимости

Рассмотрим качество технической системы с точки зрения профиля качества – модели Н. Кано. В соответствии с ней показатели качества можно разделить на три группы: необходимые, желаемые и оригинальные характеристики [12].

Необходимые характеристики будут определять профиль базового качества. Профиль базового качества – это совокупность таких качеств, наличие которых потребитель считает обязательным.

Желаемые характеристики определяют профиль требуемого качества. Профиль требуемого качества – та совокупность показателей качества, представляющих собой технические и функциональные характеристики продукта. Они показывают, насколько продукт соответствует тому, что было задумано. Именно они, как правило, напрямую оцениваются потребителем, и в первую очередь влияют на ценность продукта.

Оригинальные характеристики определяют профиль желаемого качества. Профиль желаемого качества является собой группой параметров качества, представляющих для потребителя неожиданные ценности предлагаемого ему продукта, о наличии которых он только мечтал.

Графическое представление модели Кано представлено на рисунке 1.1.

Применительно к техническим системам указанные выше профили формируют показатели технической совместимости.

Так, для большинства технических систем базовый профиль определяется размерной совместимостью. Этот вид технической совместимости не оказывает влияния на ценность системы для потребителя, но её отсутствие повлечет за собой отрицательные эмоции потребителя.

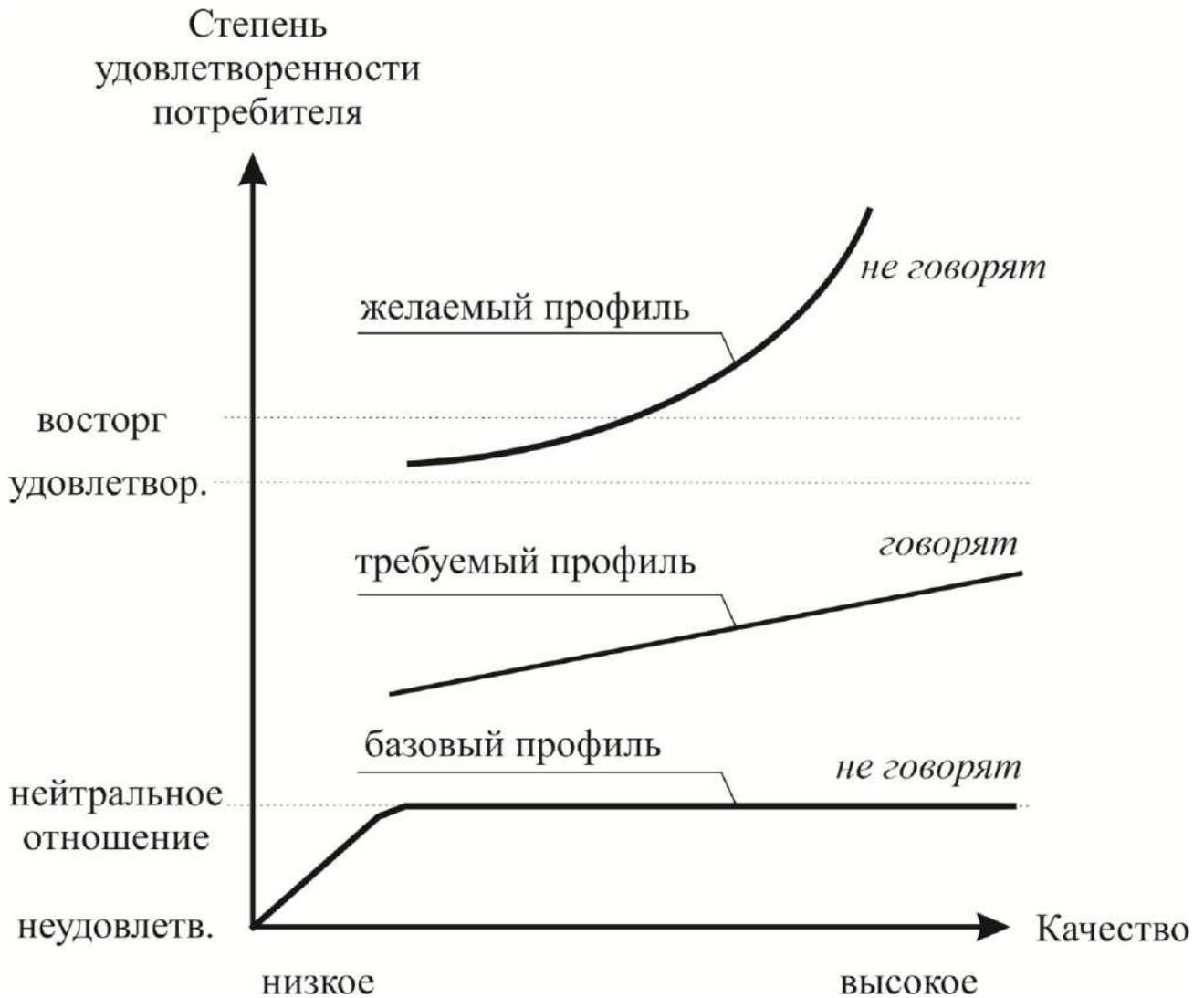


Рисунок 1.1 – Модель Канно

Обеспечивая размерную техническую совместимость элементов системы, необходимо понимать, что при достижении определенных нормированных значений, определяющих точность совмещаемых элементов, дальнейшее улучшение показателя не будет повышать ценности системы и максимум полезности не будет достигнут ни при каком значении данного показателя [94].

Базовый профиль системы можно описать следующими зависимостями:

$$q_i = 1 - e^{-k(x_i - x_{min})} \quad (1.2)$$

или

$$q_i = 1 - k \frac{x_{min}}{x_i}, \quad (1.3)$$

где q_i – мера полезности продукта для потребителя, определяющая его удовлетворенность ввиду реализации показателя в конечном продукте;

k – коэффициент, определяющий крутизну графика;

x_{min} – некоторое теоретически минимальное значение, позволяющее удовлетворить ожидания потребителя;

x_i – количественный уровень выраженности показателя в конечном продукте.

Профиль требуемого качества будут формировать показатели технической совместимости, определяющие полезность продукта и влияющие на степень удовлетворенности потребителя. Для большинства технических систем данный профиль определяют показатели технической совместимости по надежности и функциональности [25].

Профиль требуемого качества описывается линейной зависимостью:

$$q_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (1.4)$$

где x_{max} – некоторое теоретически максимальное значение, позволяющее полностью удовлетворить ожидания потребителя.

Профиль желаемого качества могут определять показатели технической совместимости всех видов, при условии, что их сочетание будут неожиданными для потребителя и повышать полезность системы.

Профиль желаемого качества можно описать зависимостью:

$$q_i = 1 + k \frac{x_{min}}{x_i}, \quad (1.5)$$

Модель Кано показывает, что различные характеристики продукции по-разному влияют на степень удовлетворенности потребителей (рисунок 1.1), а, следовательно, на риски и потребителей, и производителей.

Наличие только необходимых характеристик, влечет за собой нейтральное отношение потребителя к системе и увеличивает риск производителя из-за невостребованности конечного продукта (рисунок 1.2).

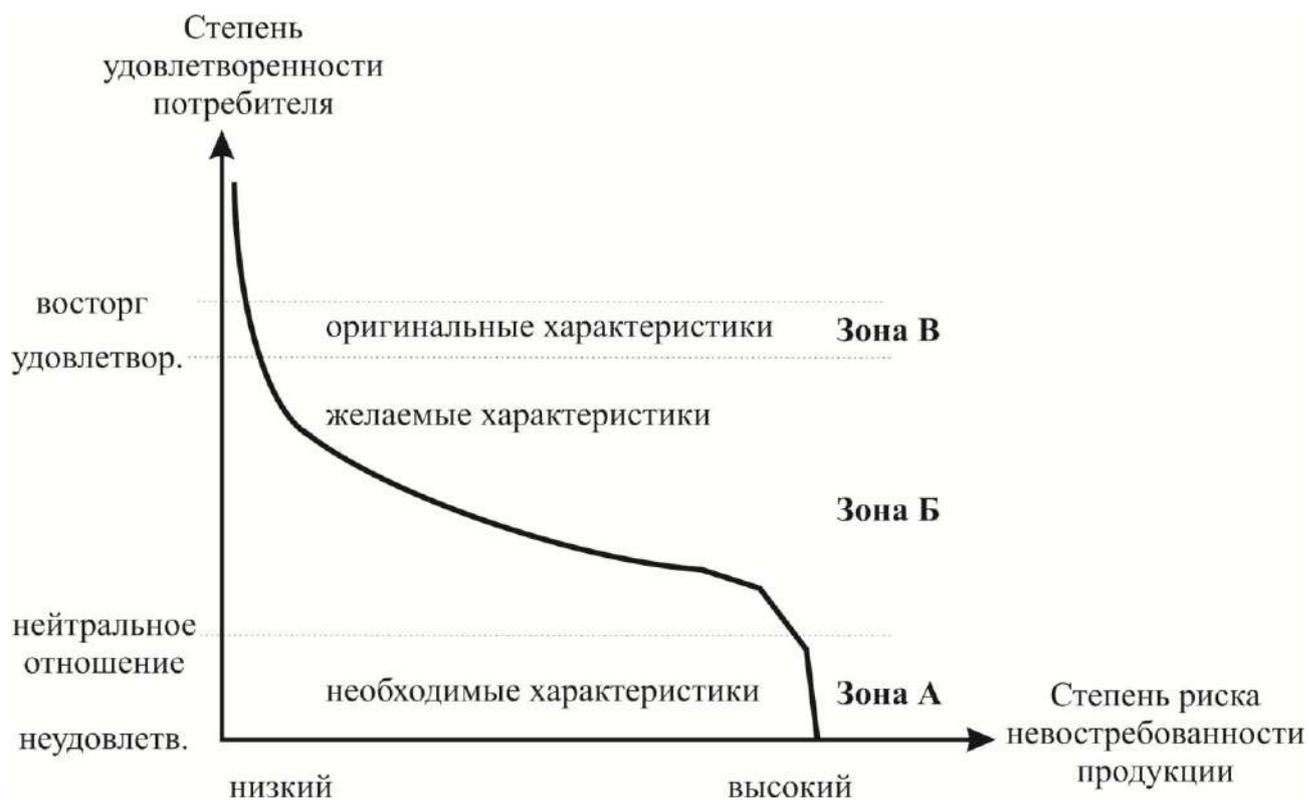


Рисунок 1.2 – Зависимость степени риска не востребоваемости продукции от степени удовлетворенности потребителя

Наличие в конечном продукте оригинальных характеристик, существенно повышает удовлетворенность потребителя, снижая риски не востребоваемости конечного продукта (рисунок 1.2).

Модель Кано показывает, что наличие необходимых, желаемых и оригинальных характеристик в продукте по-разному влияет на степень риска ее не востребоваемости. Наибольший риск, соответствующий ситуации, при которой практически невозможно реализовать продукт, возникает в случае отсутствия желаемых характеристик (зона А). Тогда, как оригинальные характеристики существенно уменьшают риск ее не востребоваемости (зона В).

На рисунке 1.3 показано влияние рисков организации машиностроительного комплекса на определённых этапах жизненного цикла продукции [106].



Рисунок. 1.3 – Влияние рисков производителя на этапах жизненного цикла продукции

Рассмотрим систему основных рисков товаропроизводителей (Рисунок 1.4) [12].

Первая группа рисков может вызвать прямые потери имущества и финансовых средств организации из-за низкого качества ее продукции. К ним относятся риски:

- возможный ущерб от рекламаций и претензий потребителей;
- возможный ущерб, связанный с юридической ответственностью за несоблюдение требований безопасности;
- возможный ущерб, связанный с юридической ответственностью за несоблюдение требований защиты окружающей среды;
- возможный ущерб от нерационального расхода трудовых и материальных ресурсов.

Минимизация данной группы рисков — важное звено системы управления качеством предприятия [66].



Рисунок 1.4 – Риски производителей

Вторая же группа рисков производителей не вызывает потери имущества и финансовых средств, но приводит к весьма тяжелым последствиям. В нее входят:

- возможный ущерб от потери репутации предприятия;
- возможный ущерб от потери или уменьшения доли рынка сбыта [12].

Следует также понимать, что неудовлетворённость потребителя может расти из-за невысокого уровня выполнения требований к технической совместимости.

Наряду с неудовлетворенностью будут расти и риски потребителей связанные с возможным ущербом от опасности продукции.

Обобщая вышесказанное и учитывая изменчивость характеристик, определяющие различные профили качества во времени (рисунок 1.1), первостепенным для производителя является удовлетворение требований потребителей при обеспечении экономической эффективности производства продукции [12].

Потребительский риск - это междисциплинарная категория, включающая экономические, социальные, биологические, правовые, поведенческие и другие аспекты. Он должен определяться совокупностью объективных и субъективных сторон.

Характеризуя степень риска, его оценивают, как максимальный, минимальный и оптимальный [70].

К рискам потребителей относятся следующие:

- возможный ущерб от ухудшения здоровья;
- возможный ущерб от опасности продукции;
- возможный ущерб от ухудшения окружающей среды;
- возможный ущерб от неудовлетворенности качеством продукта;
- возможный ущерб от неудовлетворенности функциональным качеством;
- возможный ущерб от потери доверия к предприятию.

Как видно из рисунка 1.5 указанные риски приводят к дополнительным затратам потребителей [20].

Первая группа последствий отличается тем, что финансовая составляющая ущерба от них, не является важной.

Вторая составляющая возможных экономических потерь потребителей определяется надежностью продукции в эксплуатации [14].

К ним относятся затраты:

- на простой;
- на техобслуживание продукции;
- на ремонты изделий.

Третья группа возможных экономических затрат определяется степенью совершенства продукции и удовлетворения запросов покупателей. Здесь могут быть следующие потери:

- на приобретение продукта;
- на использование продукта по назначению;
- на изъятие из потребления и утилизацию.

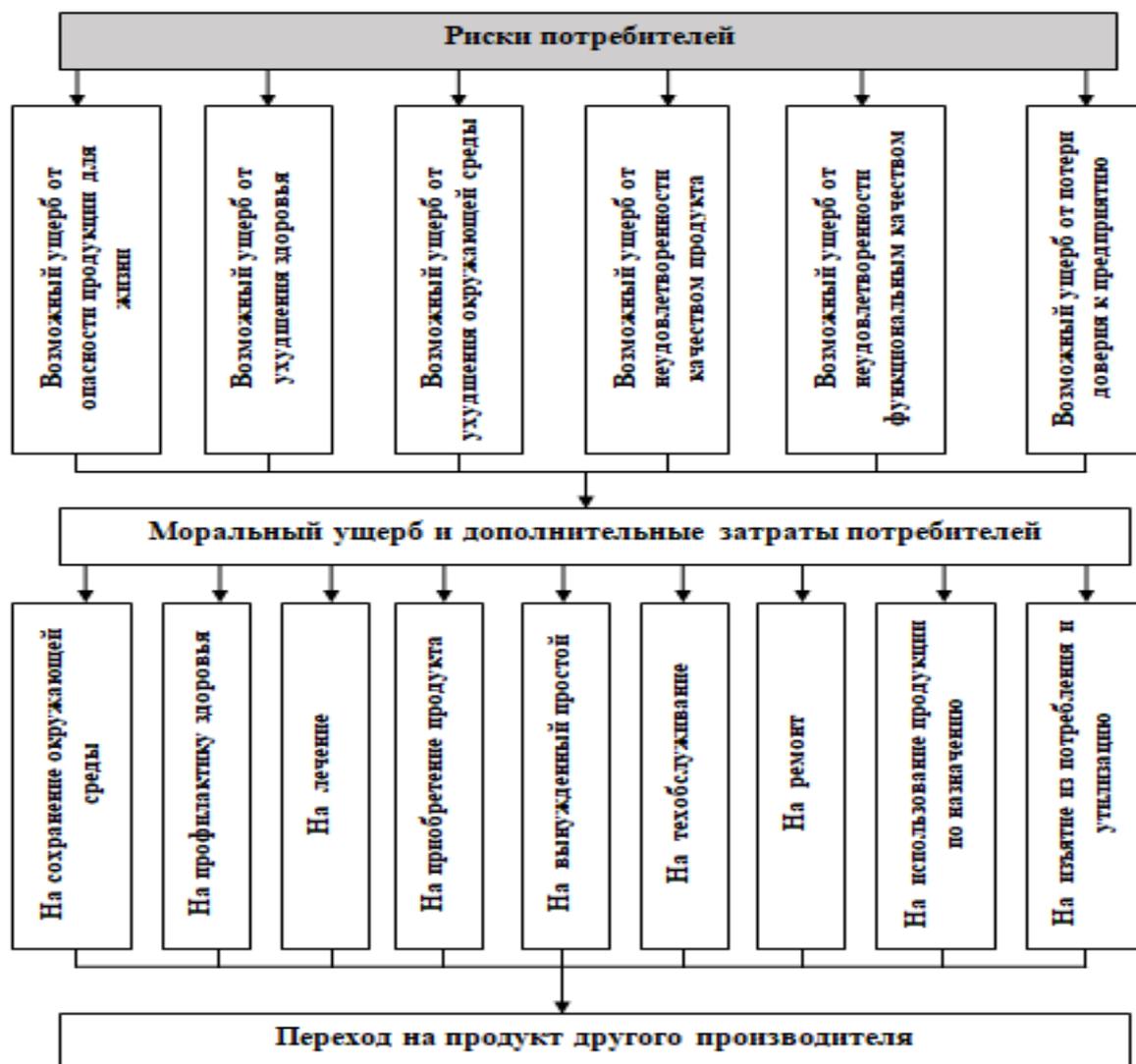


Рисунок 1.5 – Риски потребителей

Данные ущербы определяются высокой ценой за низкое качество продукта, чрезмерными затратами ресурсов при низкой экономичности и КПД.

Наиболее тяжелым последствием указанных рисков является потеря клиентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что многие риски потребителей являются причинными факторами рисков производителей [6].

Для создания продукции на должном уровне необходимо знать, чего ожидает потребитель и для этого. Не обязательно обеспечивать самый высокий уровень качества.

На рисунке 1.6 представлены следующие области характеристик качества продукта:

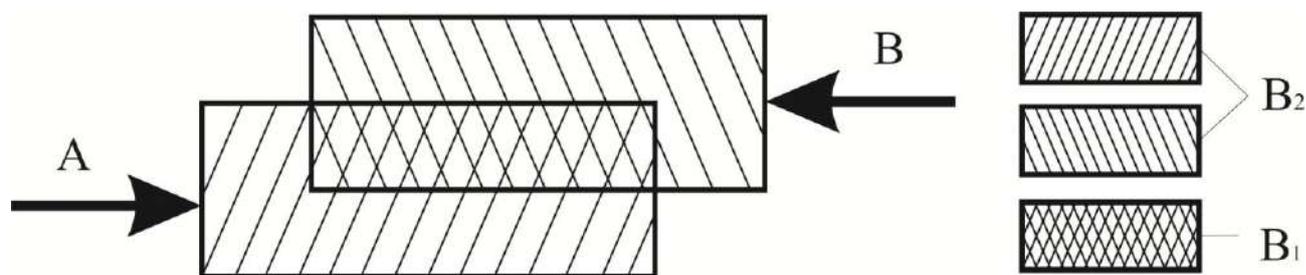


Рисунок 1.6 – Области характеристик продукта

- область А — совокупность характеристик, составляющих качество продукта для производителей;
- область В — совокупность характеристик, составляющих качество продукта для потребителей;
- область B_1 , — характеристики, значимые для потребителя и действительно присутствующие в продукте;
- область B_2 — характеристики, значимые для потребителя, но отсутствующие в продукте. Различия областей А и В — главная причина неудовлетворенности потребителя продукцией производителя.

Следовательно, ключевым звеном удовлетворенности покупателя будет обеспечение максимального совмещения полей А и В. То есть целевая функция может быть записана следующим образом:

$$B_2 \rightarrow \min \quad (1.6)$$

Решить поставленную задачу возможно путем снижения разброса между ожиданиями потребителей и субъективным интересом производителей.

1.5 Выводы по первой главе

1. Проведенный анализ основных классификаций технических систем позволил установить общие аспекты, используемые для описания структуры систем машиностроительного назначения. К ним относятся: сложность технической системы, принцип осуществления рабочего действия, функциональное назначение и метод управления. Указанные аспекты действуют в качестве некоторых условных фильтров для технических систем и являются основой для формирования номенк-

латуры показателей качества, без обеспечения которых невозможно спроектировать продукцию требуемой структуры и качества.

2. Анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов по вопросам обеспечения качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции на стадии проектирования и производства позволил установить, что одним из ключевых направлений обеспечения качества технических систем, является обеспечение технической совместимости их элементов для удовлетворения желаний потребителей. В настоящее время известно более 50 видов совместимости техники, которые до сих пор остаются неупорядоченными, противоречивыми и до конца неизученными.

3. Обобщение результатов проведенного анализа позволило разработать матрицу применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем. Матрица позволяет выбрать базовую номенклатуру ключевых показателей в зависимости от требуемой структуры системы.

4. Для повышения удовлетворенности потребителя при проектировании и производстве продукции целесообразно проводить стратификацию показателей технической совместимости в соответствии с профилями качества модели Н. Кано. Группировка показателей по профилям качества, позволит установить направления и объем мероприятий по обеспечению качества, для снижения разброса между ожиданиями потребителей и интересами производителей.

2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СООТВЕТСТВИИ С ПРОФИЛЕМ КАЧЕСТВА

2.1 Управление уровнем и стабильностью качества продукции с учетом потерь потребителя

Стремление потребителя к максимальному уровню качества ограничивается затратами производителя на обеспечение этих желаний.

Математически это выражается в «увязке» уровня качества, выраженное в определенных единицах EK , с функцией потерь потребителя.

Потери потребителя можно описать двумя параметрами, предложенными Генити Тагути [76]:

- 1) минимальный уровень затрат потребителя, соответствующий оптимальному уровню качества;
- 2) дополнительные потери, вызванные нестабильностью Δ уровня качества продукции (рисунок 2.1).

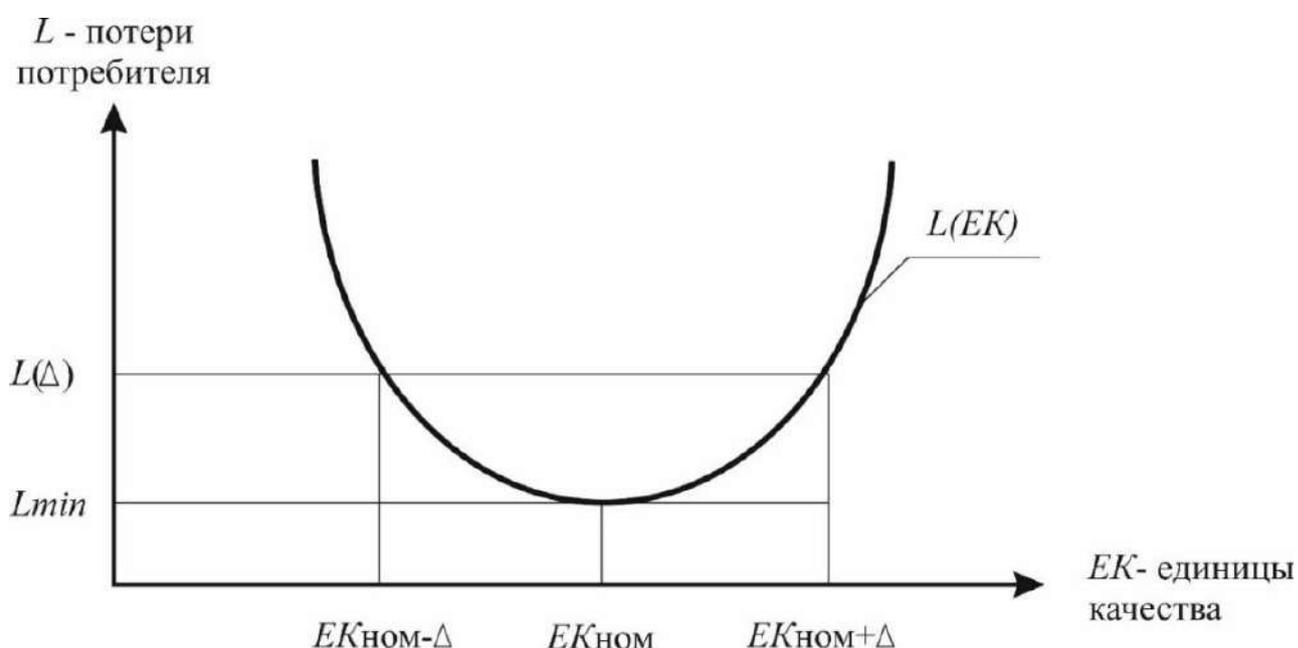


Рисунок 2.1 – Функция потерь потребителя (Г. Тагути)

Управлять минимально возможными потерями потребителя предлагается с помощью методики [32].

Основу подхода составляет расчет потерь потребителя от рисков производителя, потребителя, а также уровней качества EK_{max} , EK_{min} :

$$L = K_n \cdot PRQ \cdot \left(\frac{CRQ}{PRQ} \right)^{\frac{EK_{max}-EK}{EK_{max}-EK_{min}}}, \quad (2.1)$$

где L – потери потребителя в зависимости от единиц качества;

K_n – коэффициент потерь – цена дефектности;

EK_{max} – максимальный уровень качества;

EK_{min} – минимальный уровень качества;

PRQ – риск производителя;

CRQ – риск потребителя.

Формула 2.1 позволяет поставить в соответствие выбранный уровень качества продукции EK и соответствующие ему потери потребителя L .

Анализ формулы показывает, что при неизменных рисках потребителя CRQ , рисках производителя PRQ , коэффициента потерь K_n , потери потребителя будут определяться разностью показателей EK_{max} и EK_{min} , степенью удаленности уровня качества EK от EK_{max} .

Чем меньше числитель ($EK_{max}-EK$) и больше знаменатель ($EK_{max}-EK_{min}$) в показателе степени формулы (2.1), тем меньше будут потери потребителя.

Знаменатель ($EK_{max}-EK_{min}$) в показателе степени можно считать константой. Поэтому, чем ближе показатель EK к значению EK_{max} , тем ближе затраты потребителя к минимуму.

Однако, повышение с некоторого уровня значения параметра EK приведет к серьезному росту затрат производителя (рисунок 2.2), и как следствие, росту стоимости продукции, что будет явиться причиной уменьшения спроса (рисунок 2.3) [113].

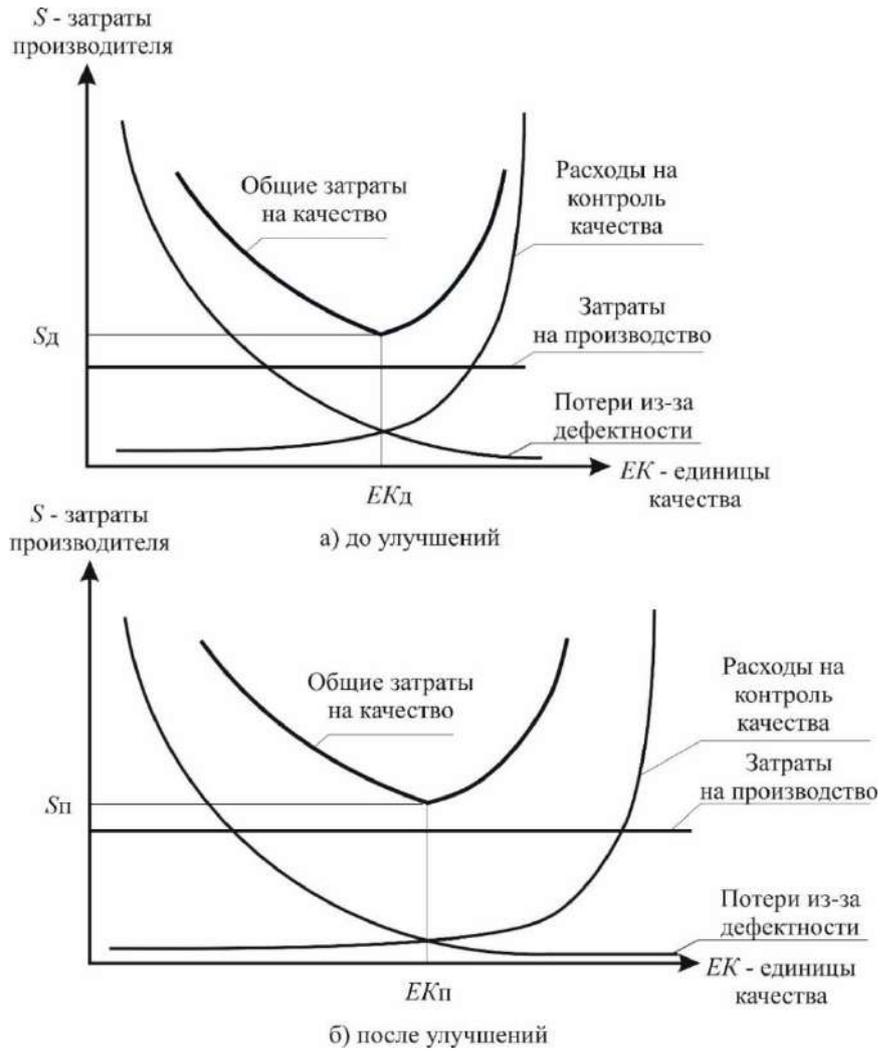
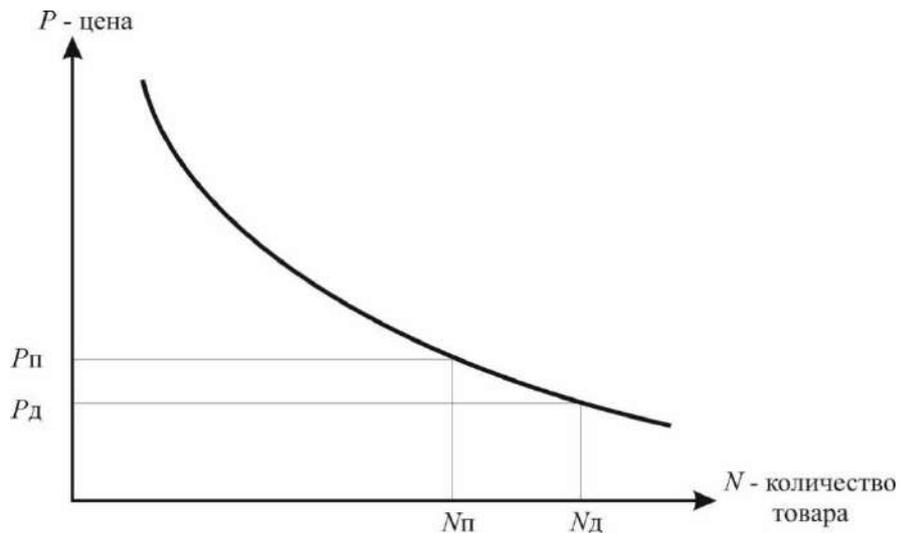


Рисунок 2.2 – Зависимость затрат производителя от уровня качества продукции



P_d - цена продукции до повышения качества, P_p – цена продукции после повышения качества, N_d – количество приобретаемого товара до увеличения цены, N_p - количество приобретаемого товара после увеличения цены

Рисунок 2.3 – Зависимость спроса от цены продукции

Таким образом, важно определить наилучшее допустимое значение уровня качества $EK_{\text{доп}}$, которое с одной стороны обеспечит приемлемый уровень потерь потребителя, а с другой – не будет уменьшать спрос (рисунок. 2.4).

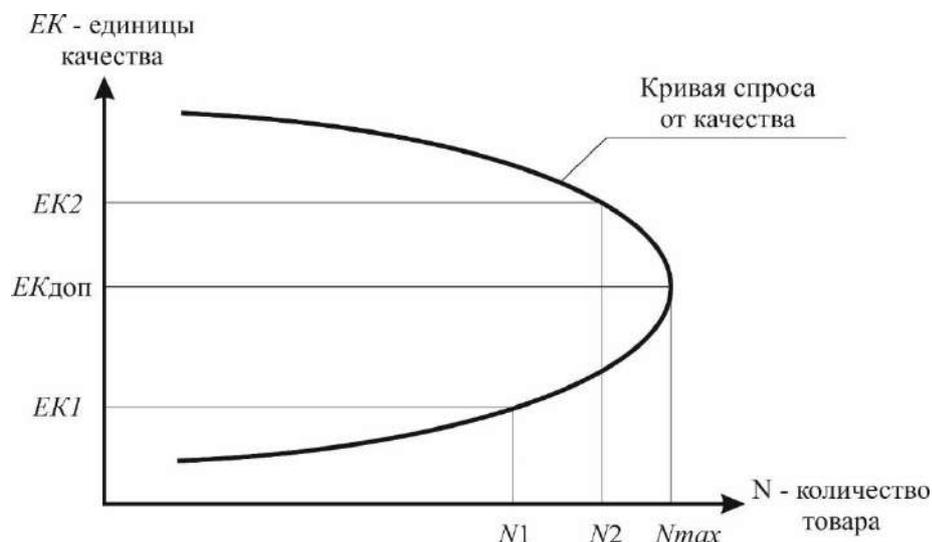


Рисунок 2.4 – Зависимость спроса от качества продукции

Очевидно, что для показателей различного профиля качества подходы определения наилучшего допустимого значения будут отличаться. Но во всех случаях следует учитывать, что выпускать продукцию одинакового качества не возможно. Процесс производства изделия предусматривает поля допусков на все исполняемые параметры изделия, что приводит к случайному колебанию Δ показателя EK относительно принятого значения от изделия к изделию (см. рисунок 2.1).

2.2 Определение допустимых значений показателей качества для базового профиля

Исходя из того, что повышение уровня качества базового профиля не влечет увеличения заинтересованности потребителя (рисунок 1.3), предпринимать меры по улучшению не целесообразно, так как это может повысить стоимость конечного продукта.

Таким образом, при назначении нижнего допустимого уровня качества ($EK_{\text{доп. min}}$) достаточно определить некоторое теоретическое значение показателя

EK'_{min} в интервале $[EK_{min} \dots EK_{max}]$ (рисунок 2.5 а), позволяющее удовлетворить ожидания потребителя $EK_{доп.min}$ (рисунок 2.5 б).

На рисунке 2.5 пунктиром условно показана часть кривой потерь потребителя, которая присутствует в поле допуска, ограниченная минимально и максимально допустимым значением того или иного параметра изделия. В рассматриваемом случае ограничений по верхнему допустимому пределу базового профиля качества нет.

Верхний уровень качества целесообразно оценивать, исходя из технологических возможностей оборудования, которое будет использоваться. В качестве исходных данных для определения максимально возможного достижимого уровня качества следует выбирать те отклонения от заданных значений (настроечные размеры оборудования), наилучшим образом благоприятны для обеспечения более высокого уровня качества. Например, при изготовлении подшипника скольжения вал и втулку подвергают термообработке для получения требуемой твердости *HRC*. Обеспечить одинаковую твердость для всех деталей невозможно. Поэтому на твердость назначается некоторое поле допуска. Чем выше твердость в пределах поля допуска, тем выше ресурс работы подшипника скольжения, тем больше $EK_{доп}$.

То есть, при определении максимального значения допустимого уровня качества ($EK_{доп.max}$) следует использовать верхнее предельное отклонение поля допуска (рисунок 2.5 с).

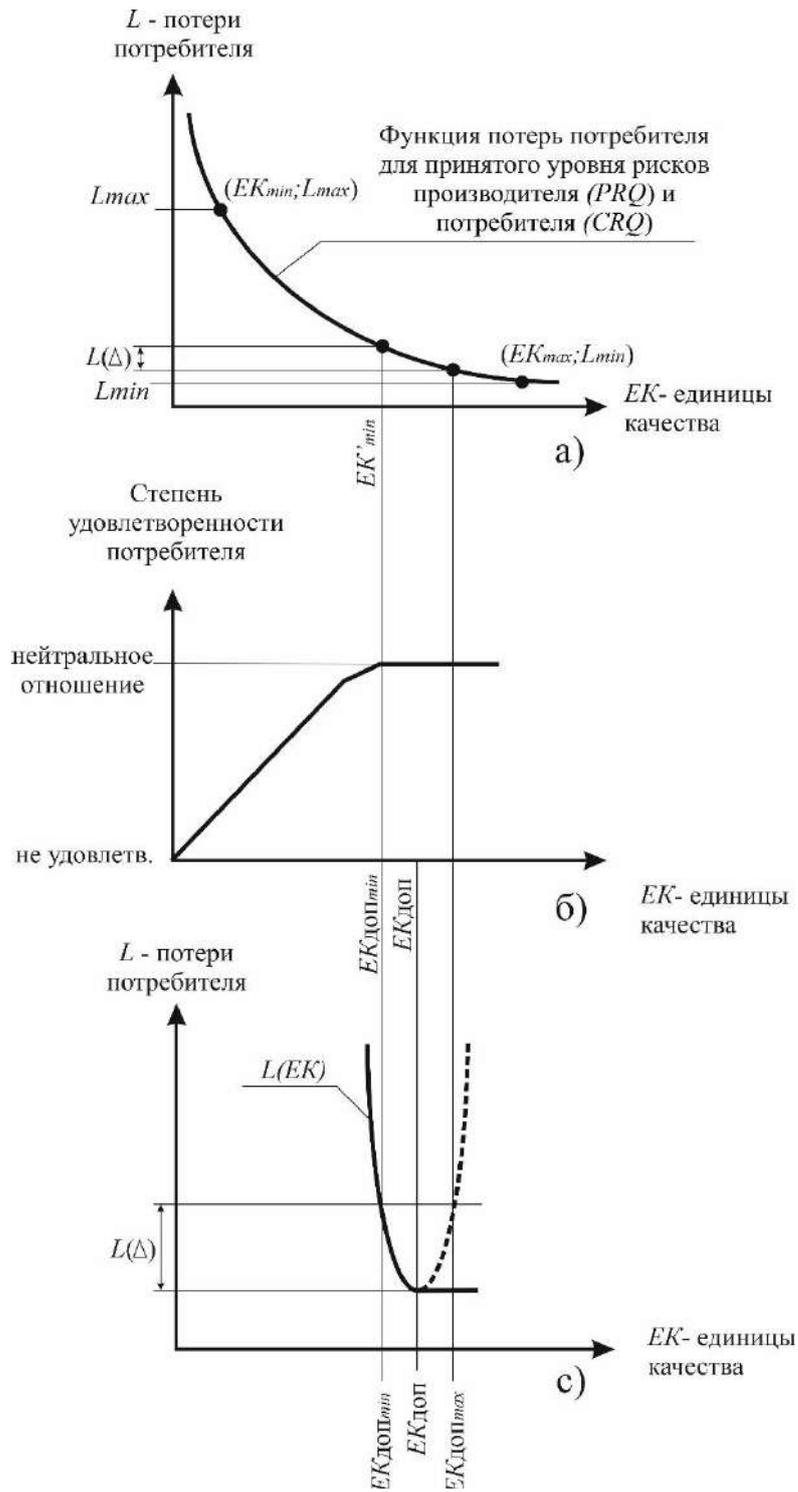


Рисунок 2. 5 – Графики взаимосвязей уровня качества показателей базового профиля с потерями потребителя L (а), степенью удовлетворенности потребителя (б), потерями потребителя L , связанными с нестабильностью производственного процесса (с)

Нижний уровень качества $EK_{доп.min}$ тоже является случайным значением, вызванным технологической нестабильностью характеристик выпускаемой продукции. В отличие от рассмотренного выше случая, при определении этого уровня

следует выбирать такие допустимые значения технологических параметров продукции, которые характерны для неблагоприятной ситуации, т.е. для наиболее низкого уровня качества.

Оценить приемлемость этих предельных значений уровня качества необходимо с помощью методов Тагути. Кривая потерь потребителя покажет на сколько сильно будет влиять нестабильность качества на затраты потребителя (см. рисунок 2.5 с). Если снижение приведет к большому увеличению затрат, то нужно будет совершенствовать производство. Если нижний допустимый уровень качества $EK_{\text{доп. min}}$ приведет к заметному увеличению затрат потребителя, то необходимо совершенствовать технологический процесс и конструкцию изделия и быть готовым к увеличению цены.

Подводя общий итог, следует отметить, что для показателей базового уровня качества основная задача производителя - определить допустимое значение показателя путем нахождения величины нижнего допустимого уровня $EK_{\text{доп. min}}$, который в общем случае будет регламентироваться нормативной документацией или техническими условиями.

2.3 Определение допустимых значений показателей качества для требуемого профиля

Как отмечалось ранее (см. п.1.3), профиль требуемого качества будут формировать показатели качества, определяющие полезность продукта и влияющие на степень удовлетворенности потребителя.

В данном случае с одной стороны целью производителя является максимальное повышение качества, что приведет к повышению удовлетворенности потребителя, а с другой стороны, снижение возможных рисков невостребованности продукции из-за повышения стоимости на обеспечение качества.

Для пояснения последнего, приведем описание механизмов влияния качества на спрос используем положения основного закона спроса, представленные в работе [113].

На рисунке 2.6 представлен график иллюстрирующий закон спроса, устанавливающий связь между количеством (объемом) продукции и ценой товара.

Кривая спроса (D) – это график, иллюстрирующий связь между ценой определенного товара и количеством товара, которое может и хочет купить потребитель по данной цене. Кривая имеет отрицательный наклон, что говорит о желании потребителей приобрести большее количество товара при меньшей цене. Таким образом, между уровнем цены (P) на товар и величиной спроса на него (N) существует обратная взаимосвязь.

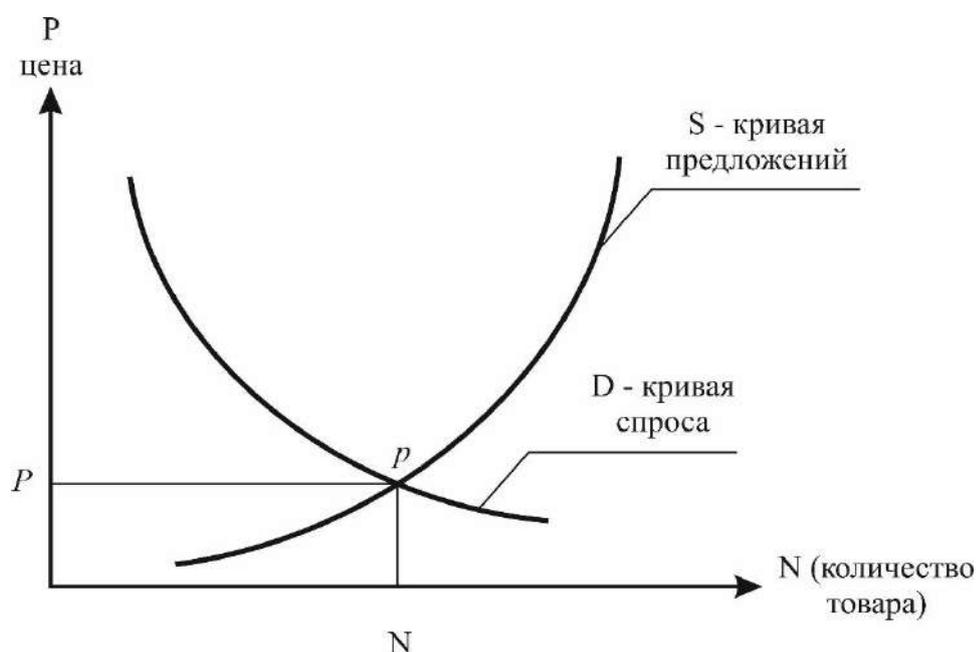


Рисунок 2.6 – График рыночного равновесия спроса и предложения

Кривая предложения (S) показывает количество товара, предлагаемого к продаже по разным ценам в течение конкретного интервала времени.

Чем ниже стоимость товара, тем больше людей готовы их купить и меньше продавцов, желающих их продать. И наоборот, чем дороже продукция, тем больше продавцов, но меньший процент потребителей, способных ее приобрести.

Между этими крайностями есть точка равновесия (p). Она означает, что цена соответствует уровню покупательской способности.

Расположение кривых спроса и предложения определяется ценовыми и не-ценовыми факторами.

Ценовые факторы в обоих случаях определяют форму кривых, а неценовые факторы их движение влево и вправо.

Неценовыми факторами, влияющими на спрос, являются: вкусы и предпочтения потребителя, число потребителей на рынке, доходы и т.д.

Неценовыми факторами, влияющими на предложения, являются: цены на сырье, технология изготовления, количество продавцов на рынке и т.д.

Согласно закону спроса от качества товара [113] при увеличении качества товара объем потребления должен увеличиться, что определит смещение кривой спроса D вправо. Кривая предложений, напротив, будет смещаться влево, так как для производителя, любые улучшения качества будут связаны с дополнительными затратами на производство, что автоматически снизит количество предложений на рынке.

Для пояснения сравним графики, представленные на рисунке 2.7 и 2.8. Первый график (рисунок 2.7) определяет механизм формирования цены при необоснованном увеличении качества показателей базового уровня.

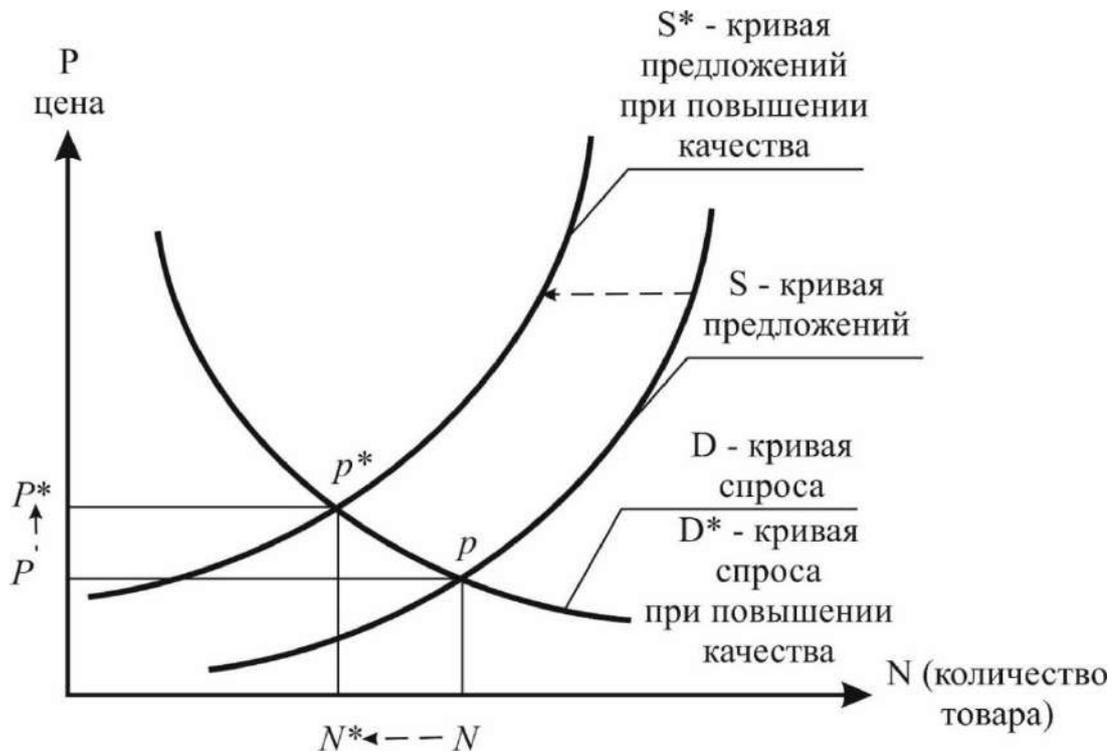


Рисунок 2.7 – График спроса и предложения при улучшении показателей базового профиля

Значение показателей повышается, кривая предложений сдвигается влево, при этом кривая спроса остается на прежнем уровне, так как потребитель не чувствует изменений в качестве продукции и его отношение к продукции не изменяется.

Второй график (рисунок 2.8) показывает изменение спроса при повышении качества показателей требуемого уровня. Здесь новые предложения более качественной продукции, повышая степень удовлетворенности потребителя, приводят к увеличению спроса. Несмотря на то, что равновесная цена p^* увеличивается, спрос на продукцию растет и как следствие снижается риск производителя, связанный с невостребованностью продукта.

Очевидно, что даже при видимой выгоде повышения качества показателей требуемого профиля необходимо учитывать ограничения по значениям максимального уровня качества – EK_{max} и минимального уровня качества – EK_{min} . Они будут зависеть от принятых значений риска потребителя CRQ и рисках производителя PRQ и определять потери потребителя L (см. формулу 2.1).

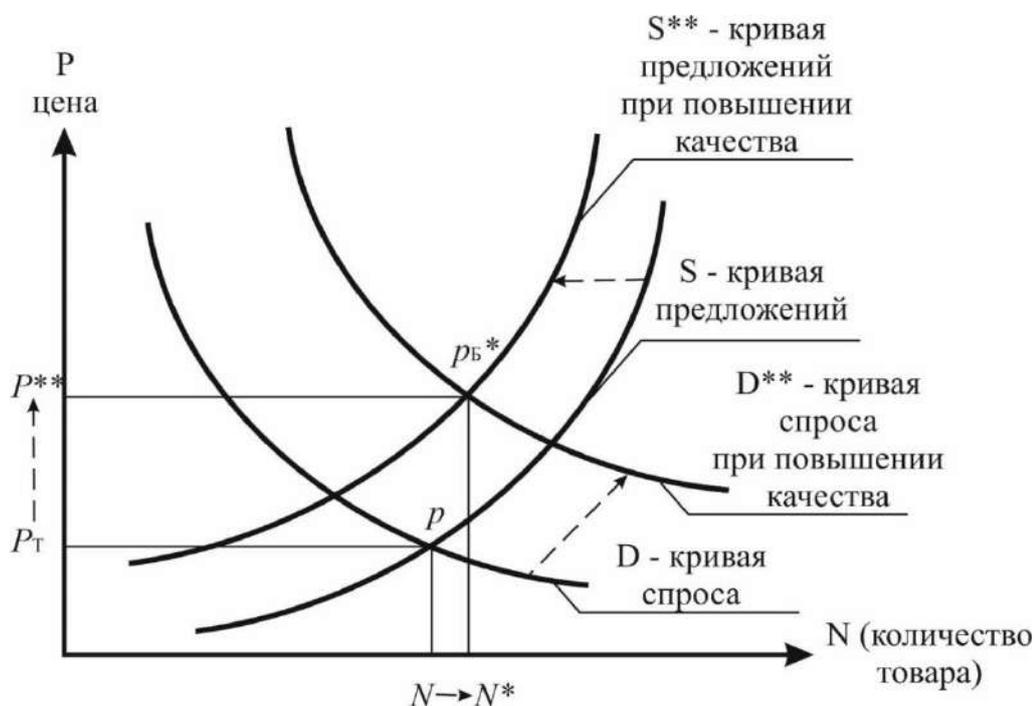


Рисунок 2.8 – График спроса и предложения при улучшении показателей требуемого профиля

Таким образом, в общем случае подход назначения допустимых значений показателей качества $EK_{доп}$ будет заключаться в определении граничных значений показателей (EK_{max} – максимальный уровень качества и EK_{min} – минимальный уровень качества) с учетом закона спроса, для минимизации риска производителей обусловленных невостребованностью продукции. Значения максимального и минимального допустимого уровня качества $EK_{доп,max}$ и $EK_{доп,min}$ будут определяться полем допуска и технологическими возможностями производства.

Решить поставленную задачу предлагается путем учета в функции желательности весовую значимость показателя и интегральной оценки качества конечного продукта [21].

Показатель желательности – безразмерные характеристики качества, изменяющиеся в пределах от нуля до единицы при любом диапазоне изменения размерных показателей качества EK_i . Вычисляют показатели желательности q_i каждого i -го единичного показателя с помощью вспомогательных показателей y_i по следующей формуле:

$$q_i = \exp \left[-\frac{1}{y_i} \right] = \frac{1}{e^{y_i}}, \quad (2.2)$$

где q_i – количественная оценка удовлетворенности потребителя в принятой градации качества,

y_i – соответствующий безразмерный вспомогательный показатель.

Значение y_i можно определить из формулы (2.2):

$$y_i = \frac{1}{\ln \left(\frac{1}{q_i} \right)}. \quad (2.3)$$

В таблице 2.1 приведены расчеты безразмерного вспомогательного показателя при изменении степени удовлетворенности от 0 до 1 с шагом 0,1.

Как видно из таблицы 2.1, в соответствии с количественными значениями были поставлены качественные характеристики удовлетворенности потребителей.

Данную градацию можно получить экспертным или социологическим методом [2].

Таблица 2.1 – Значение показателей удовлетворенности q_i и соответствующих безразмерных вспомогательных показателей y_i

Качественная характеристика удовлетворенности потребителя	Значение показателей удовлетворенности – q_i	Значение вспомогательных показателей – y_i
не удовлетворён	0,1	0,434
	0,2	0,621
нейтральное отношение	0,3	0,831
удовлетворен	0,4	1,091
	0,5	1,443
	0,6	1,958
	0,7	2,804
	0,8	4,481
восторг	0,9	9,491

Для оценки удовлетворенности потребителя при заданном значении показателя качества EK_i необходимо решить уравнение:

$$y_i = a_0 + EK_i \cdot a_1, \quad (2.4)$$

где коэффициенты a_0 , a_1 определяются в зависимости от того, какие значения q_i заданы для максимального и минимального уровней качества путем решения системы уравнений:

$$y_{maxi} = a_0 + EK_{maxi} \cdot a_1, \quad (2.5)$$

$$y_{mini} = a_0 + EK_{mini} \cdot a_1,$$

где y_{maxi} , y_{mini} – значения безразмерных вспомогательных показателей, соответствующие количественной оценке удовлетворенности (q_{maxi} и q_{mini}) при обеспечении производителем соответственно максимального (EK_{maxi}) и минимального (EK_{mini}) уровне качества показателя.

Значение EK_{maxi} может соответствовать мировому уровню. Значение EK_{mini} уровню, нормированному в документации на продукцию.

Учитывая, что требуемые показатели повышают удовлетворенность потребителя, значения показателей удовлетворенности для разных уровней качества требуемого профиля будут изменяться в пределах от q_{max}^T до q_{min}^T (например, для приведенной выше шкалы оценивания (см. таблицу 2.1) от 0.4 до 0.8).

Значения q_{maxi} и q_{mini} для отдельно взятого показателя качества будут зависеть от весовой значимости показателя, определяющей ценность показателя для потребителя, так как не все показатели качества могут привести потребителя к максимальной степени удовлетворенности.

$$q_{maxi} = q_{max}^T \cdot m_i, \quad (2.6)$$

$$q_{mini} = q_{min}^T \cdot m_i, \quad (2.7)$$

где m_i – относительный коэффициент весомости i -го показателя (весовая значимость показателя).

Оценить весовую значимость отдельно взятого показателя возможно, как экспериментально (экспертным методом), так и теоретически (расчетным методом) [21].

Установив соотношение между EK_{maxi} и q_{maxi} , EK_{mini} и q_{mini} , и определив по таблице соответствующие значения y_{maxi} и y_{mini} , можно, решив систему уравнений (2.5), определить значения коэффициентов a_0 , a_1 :

$$a_1 = \frac{y_{maxi} - y_{mini}}{EK_{maxi} - EK_{mini}}, \quad (2.8)$$

$$a_0 = y_{maxi} - EK_{maxi} \cdot a_1. \quad (2.9)$$

При известных значениях коэффициентов a_0 , a_1 можно установить функциональную зависимость между значениями конкретного показателя качества EK_i и количественной оценки удовлетворенности потребителя q_i :

$$q_i = \frac{1}{e^{a_0 + EK_i \cdot a_1}}. \quad (2.10)$$

Как отмечалось ранее, на удовлетворенность потребителя может повлиять не только обеспечиваемый уровень качества показателя (EK_i), но и стоимость обеспечения данного уровня, влияющая на конечную цену продукта.

Возможное изменение цены и учет её влияние на удовлетворенность потребителя можно выразить через интегральный показатель качества.

Интегральный показатель качества $Q_{ин}$ принимают для расчета тогда, когда установлен суммарный полезный эффект от эксплуатации и суммарные затраты на создание и эксплуатацию изделия. Интегральный показатель качества есть

комплексный показатель в виде отношения суммарного полезного эффекта от эксплуатации к суммарным затратам на его создание, приобретение, монтаж у потребителя и наладку и т.п.

Интегральный показатель уровня качества оцениваемого изделия находят как частное от деления значения интегрального показателя свойств оцениваемого изделия ($P_{ин.оц.}$) на соответствующее базовое значение ($P_{ин.баз.}$):

$$Q_{ин} = \frac{P_{ин.оц.}}{P_{ин.баз.}} \quad (2.11)$$

Значения показателей ($P_{ин.оц.}$, $P_{ин.баз.}$) определяют по формуле:

$$P_{ин} = \frac{W}{(K_c \cdot \varphi(t) + Z_3)}, \quad (2.12)$$

где W – полезный эффект;

K_c – суммарные капиталовложения, включающие оптовую цену, а также затраты на установку, наладку и другие работы;

Z_3 – эксплуатационные затраты за весь срок службы изделия;

$\varphi(t)$ – поправочный коэффициент, зависящий от срока службы изделия t лет.

Коэффициент $\varphi(t)$ вычисляют по формуле:

$$\varphi(t) = \frac{E_n \cdot (1 + E_n)^{t-1}}{(1 + E_n)^t - 1}, \quad (2.13)$$

где E_n – нормативный коэффициент окупаемости капиталовложений, обычно принимаемый равным 0,15.

Очевидно, что повышение уровня качества конкретного показателя может быть только в целях увеличения суммарного полезного эффекта, таким образом формулу (2.12) можно записать в виде:

$$P_{ЕКинi} = \frac{EK_i}{S_i}, \quad (2.14)$$

где $S_i = K_c \cdot \varphi(t) + Z_3$, данная замена произведена для упрощения.

Тогда формулу (2.11) можно записать в виде:

$$Q_{ЕКинi} = \frac{\frac{EK_{ia}}{S_{ia}}}{\frac{EK_{ib}}{S_{ib}}}, \quad (2.15)$$

где EK_{ia} – значения показателя качества после изменений технологии производства, материала и т.д.;

S_{ia} – суммарные после изменений технологии производства, материала и т.д.;

EK_{ib} – значения показателя качества до изменений технологии производства, материала и т.д.;

S_{ib} – суммарные затраты до изменений.

Приведем формулу (2.15) к виду:

$$Q_{EK_{ини}} = \frac{EK_{ia}}{EK_{ib}} \cdot \frac{S_{ib}}{S_{ia}}, \quad (2.16)$$

Из формулы (2.16) видно, что значение интегрального показателя будет зависеть от отношения показателей качества после (EK_{ia}) и до (EK_{ib}) внесения изменений, но все достигнутые преимущества направленные на повышения удовлетворенности потребителя могут быть нивелированы отношением суммарных затрат до (S_{ib}) и после (S_{ia}) изменений.

Повысить удовлетворенность можно лишь в том случае если значение интегрального показателя будет больше 1 ($Q_{EK_{ини}} > 1$). При значении интегрального показателя равном 1 ($Q_{EK_{ини}} = 1$), удовлетворенность потребителя останется на прежнем уровне. Если значение интегрального показателя будет меньше 1 ($Q_{EK_{ини}} < 1$) уровень удовлетворенности снизится [21].

Условие обеспечения удовлетворенности потребителя при внесении изменений, влекущих повышение суммарных затрат, можно записать неравенством (2.17):

$$\frac{EK_{ia}}{EK_{ib}} \cdot \frac{S_{ib}}{S_{ia}} \geq 1$$

или

$$EK_{ia} \geq EK_{ib} \cdot \frac{S_{ia}}{S_{ib}}. \quad (2.17)$$

Подводя общий итог, можно сделать вывод, что при назначении допустимого значения показателя качества $EK_{доп}$ требуемого профиля, необходимо учиты-

вать весовую значимость показателя и условие (2.17), обеспечивающее сохранение уровня удовлетворенности потребителя.

Графически пояснить алгоритм выбора допустимых значений показателей требуемого профиля позволяет рисунок 2.8.

На рисунке 2.9 а представлена функция потерь потребителя в зависимости от рисков потребителя, производителя и уровней качества EK_{max} , EK_{min} . Точка А с координатами $(EK_{min}; L_{max})$ будет соответствовать наименьшему значению показателя качества (например, соответствующего требованиям ТУ) и максимальным потерям потребителя L_{max} при которых возможно вести речь о некоторой степени удовлетворенности потребителя. В данном случае, степень удовлетворенности (см. рисунок 2.9 б) будет принимать наименьшее значение в интервале от q_{min} до q_{max} . Ширина интервала значений удовлетворенности потребителя $(q_{min} \dots q_{max})$ будет определяться в зависимости от весовой значимости показателя (его важности с позиции потребителя) и ограничиваться максимальной (q_{max}^T) и минимальной степенью удовлетворенности (q_{min}^T) в рамках требуемого профиля.

На рисунке 2.9 пунктиром условно показана часть кривой потерь потребителя, которая присутствует в поле допуска, ограниченная минимально и максимально допустимым значением того или иного параметра изделия. В рассматриваемом случае ограничений по верхнему допустимому пределу требуемого профиля качества нет.

На рисунке 2.9 представлены два отрезка прямых, определяющих изменением степени удовлетворенности от достигнутых значений показателя качества.

Прямая b позволяет определить степень удовлетворенности потребителя при неизменном уровне суммарных затрат. Прямая a показывает тенденцию изменения степени удовлетворенности потребителя при повышении уровня суммарных затрат. Сдвиг прямой a относительно прямой b учитывает условие обеспечения удовлетворенности потребителя при внесении изменений влекущих повышения суммарных затрат (неравенство 2.17).

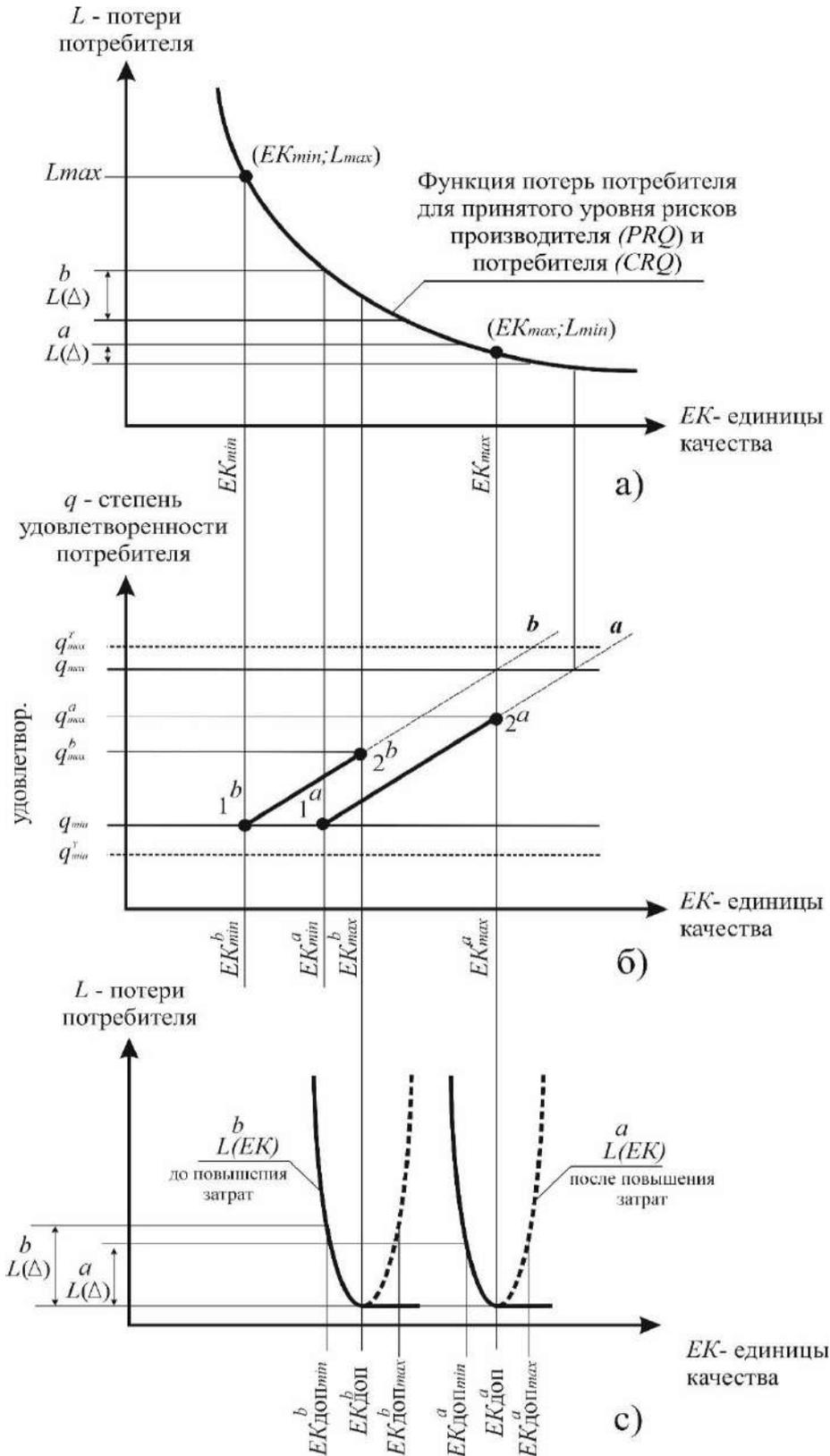


Рисунок 2. 9 – Графики взаимосвязей уровня качества показателей требуемого профиля с потерями потребителя L (а), степенью удовлетворенности потребителя (б), потерями потребителя L, связанными с нестабильностью производственного процесса (в)

Отрезок на прямой b , ограниченный точками 1^b и 2^b показывает возможности производства без повышения суммарных затрат. Точка 1^b соответствует минимальному уровню показателя качества, 2^b – максимально достижимому уровню показателя в заданных условиях производства. Именно этот уровень будет определять допустимый уровень качества (EK^b доп.) без повышения затрат (рисунок 2.9 с).

Отрезок на прямой a , ограниченный точками 1^a и 2^a показывает возможности производства с повышением суммарных затрат. Точка 1^a соответствует минимальному уровню показателя качества, 2^a – максимально достижимому уровню показателя в заданных условиях производства. Именно этот уровень будет определять допустимый уровень качества (EK^a доп.) с повышением затрат (рисунок 2.9 с).

Далее, как и в случае с базовым уровнем качества (см. п. 2.2), с помощью метода Тагути [78] необходимо оценить влияние нестабильности качества (см. рисунок. 2.5 с). При этом все рассуждения, изложенные в п. 2.2, будут справедливы.

2.4 Определение допустимых значений показателей качества для желаемого профиля

Для желаемого профиля все тенденции в изменении уровня качества и заинтересованности потребителя качественно будут такими же, как для базового уровня, но отличаться количественно (рисунок 2.10).

На рисунке 2.10 пунктиром условно показана часть кривой потерь потребителя, которая присутствует в поле допуска, ограниченная минимально и максимально допустимым значением того или иного параметра изделия. В рассматриваемом случае ограничений по верхнему допустимому пределу желаемого профиля качества нет.

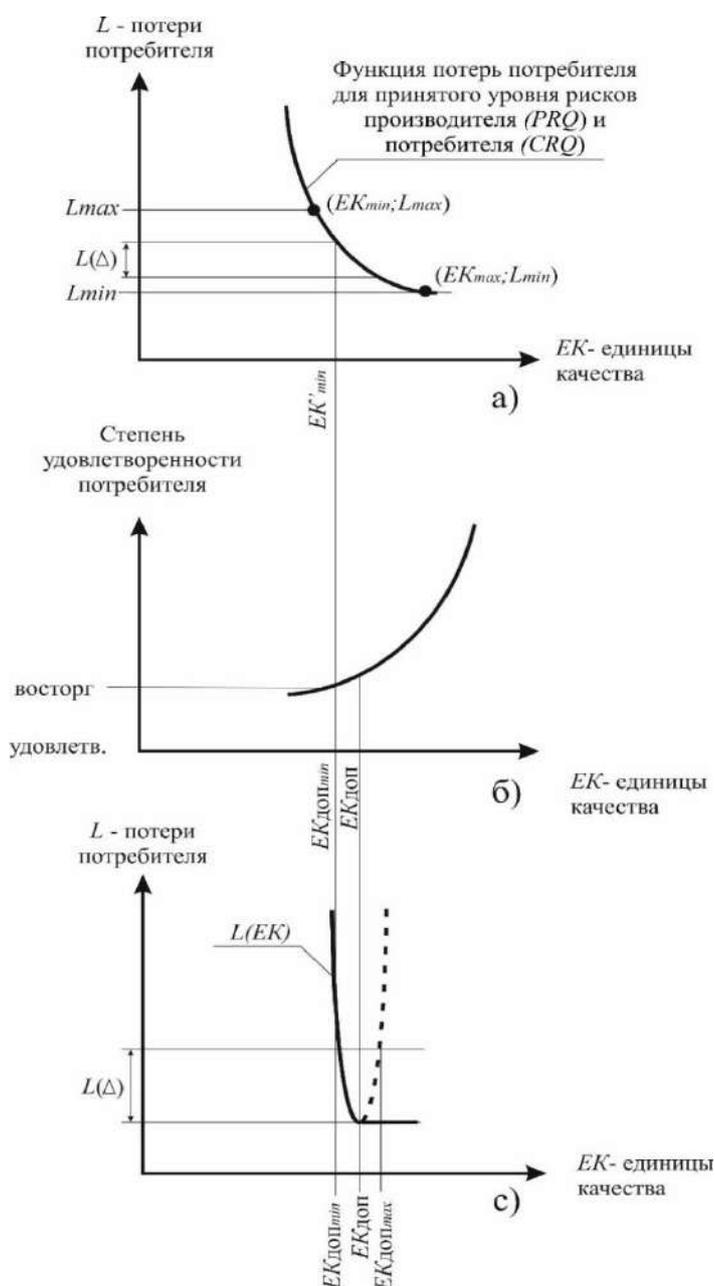


Рисунок 2. 10 – Графики взаимосвязей уровня качества показателей желаемого профиля с потерями потребителя L (а), степенью удовлетворенности потребителя (б), потерями потребителя L , связанными с нестабильностью производственного процесса (в)

Повышенная интенсивность изменения уровня заинтересованности потребителя будет накладывать более жесткие ограничения на нижнее предельное отклонение уровня качества от заданного. Слишком большое отклонение уровня качества в меньшую сторону приведет к серьезному снижению спроса при сделанных затратах на обеспечение желаемого качества (см. рисунок 2.10).

2.5 Анализ зависимости потерь потребителя от условий производства и профиля качества

Для условий производства одной и той же продукции функция потерь потребителя для различных профилей качества будет иметь вид, представленный на рисунке 2.11.

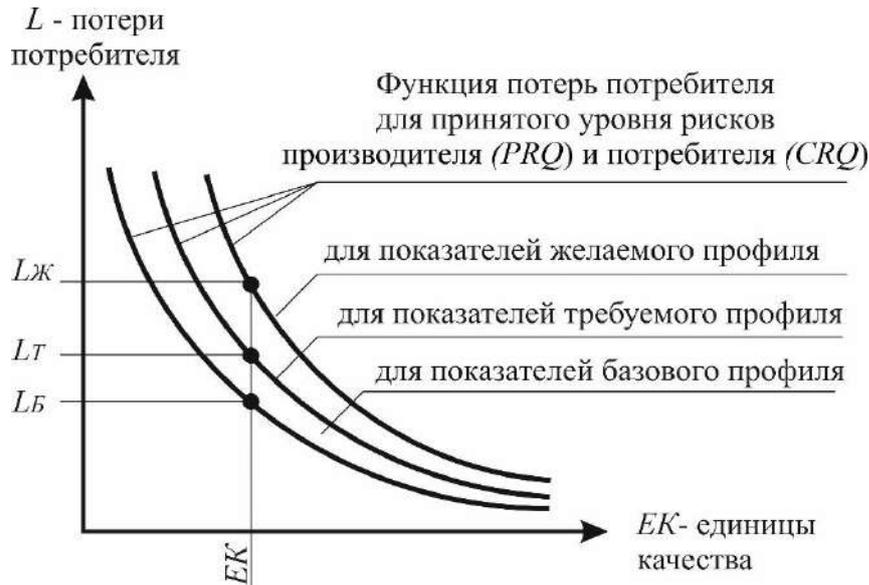


Рисунок 2. 11 – Графики функций потерь потребителей для различных профилей качества

На базовом уровне потери потребителя будут наименьшими (см. рисунок 2.11) по сравнению с другими профилями, поскольку базовый профиль обеспечивается наиболее простыми и отработанными в производстве показателями качества. Эти показатели качества обеспечивают возможность функционирования продукции на уровне, который всегда удовлетворяет потребителя, если объект не выходит из строя.

Требуемый и желательный профили обеспечиваются более сложными показателями качества, что повышает риск потребителя и производителя, а также стоимость дефекта (см. формулу 2.1). Это приводит к росту потерь потребителей, что отражено на графике (см. рисунок 2.11).

Как было описано ранее (см. пп. 2.2-2.4), уровень качества, выраженный в единицах EK , в процессе производства изменяет свое значение в некоторых пре-

делах (в границах поля допуска), что приводит к изменению потерь потребителя при эксплуатации различных экземпляров изделий, изготовленных одним и тем же производителем, по одной и той же технологии.

Меньше всего таким колебаниям подвержены изделия при базовом профиле качества, поэтому здесь требования к стабильности показателей качества будут наименьшими по сравнению с остальными профилями.

Наиболее жесткие требования предъявляются к стабильности значений показателей качества для желаемого и требуемого профиля.

На рисунке 2.12 проиллюстрирована ситуация, возникающая в реальных условиях производства, с точки зрения риска выхода показателей качества EK за пределы минимально допустимого значения, что, как отмечалось ранее, вызовет увеличение потерь потребителя до уровня, сильно снижающего заинтересованность в продукте.

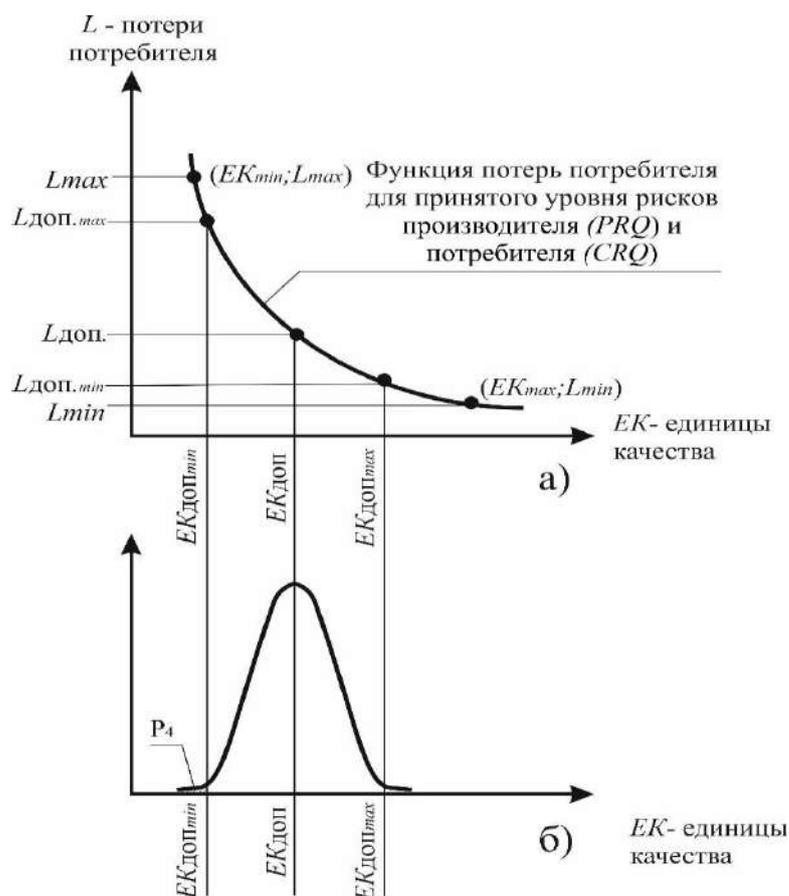


Рисунок 2.12 – Влияние естественной нестабильности уровня качества в пределах поля допуска на функцию потерь потребителя

Риск возникновения такой ситуации можно оценить следующим образом.

Примем следующие допущения:

1. Распределение вероятности значений показателей качества EK соответствует нормальному закону.

2. Отклонение значения показателей качества от принятого допустимого значения ($EK_{\text{доп}}$) не превышает «трех сигм» (3σ), то есть вероятность попадания реальных значений показателей EK в назначенное поле допуска соответствует $P=0,9973$.

Поскольку превышение уровня качества относительно допустимого значения не приводит к увеличению потерь потребителей, то учтем этот факт с вероятностью равной:

$$P_1=0,5$$

Рассматриваемый интервал равен от $EK_{\text{доп}}$ до $EK = +\infty$.

Для желаемого уровня вероятность того, что показатель качества будет иметь приемлемое значение характеризуется вероятностью попадания его в интервал от $EK_{\text{доп}}$ до $EK_{\text{доп}}^{\text{min}}$, которая составит:

$$P_2 = \frac{P}{2} = \frac{0,9973}{2} = 0,49865.$$

Вероятность того, что при имеющемся уровне производства будет обеспечено приемлемое значение показателя качества EK равна:

$$P_3=P_1+P_2 = 0,99865.$$

Вероятность того, что показатель качества выйдет за пределы:

$$P_4=1-P_3 = 0,00135 \approx 0,0014.$$

Для требуемого уровня требования к стабильности производства будут также достаточно высокими. На рисунке 2.13 проиллюстрирована ситуация, в которой технологический процесс настраивается на значение показателя равное допустимому ($EK_{\text{доп}}$) и обеспечивает заинтересованность потребителя в продукции. Настройка производства на более высокий уровень связана с существенными затратами.

Случайное превышение уровня качества по отношению к $EK_{\text{доп}}$ характеризуется вероятностью $P'=0,5$.

Вероятность того, что показатель качества попадет в интервал от $EK_{\text{доп}}^{\text{min}}$ до $EK_{\text{доп}}$ составит:

$$P_1 = \frac{P}{2} = \frac{0,9973}{2} = 0,49865.$$

С такой вероятностью потери потребителя будут в интервале от $L_{\text{доп. max}}$ до $L_{\text{доп.}}$.

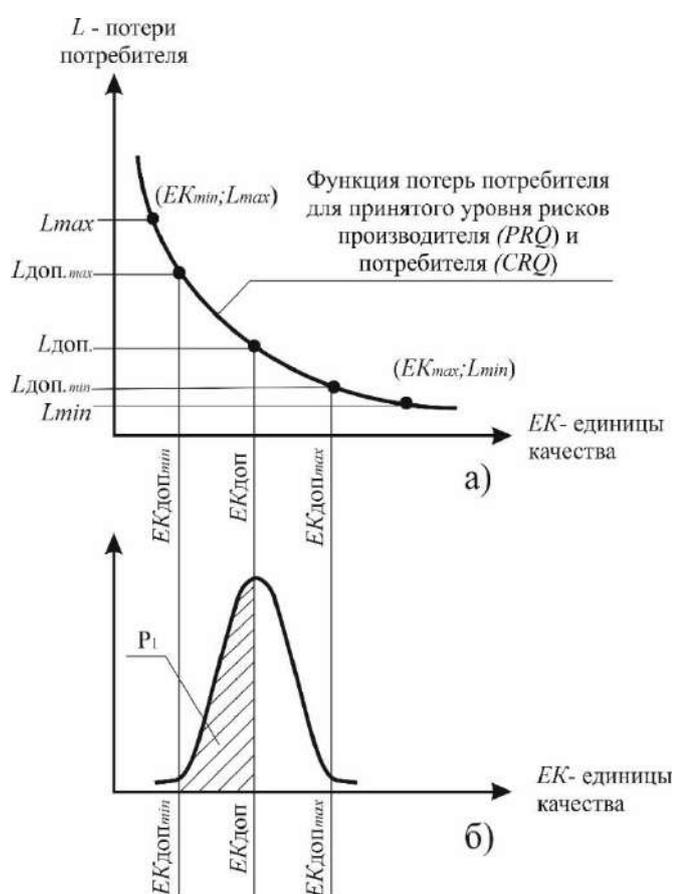


Рисунок 2.13 – Влияние естественной нестабильности уровня качества в пределах поля допуска на функцию потерь потребителя

По сравнению с желаемым профилем вероятность повышения затрат потребителя свыше приемлемого уровня заметно выросла. Это должно привести к более жестким требованиям к стабильности производства, чем при желаемом профиле. Следует понимать, что решающую роль здесь будет играть стоимость исправления дефекта.

В качестве примера приведем результаты расчета при моделирование потерь потребителя (см. формулу 2.1) для следующих данных: K_n - коэффициент потерь – цена дефектности для базового профиля 10% от стоимости продукции ($K_{нБ}=10\%$), для требуемого профиля 30% от стоимости продукции ($K_{нТ}=30\%$) и для желаемого профиля 60% ($K_{нЖ}=60\%$) при едином уровне качества показателей в рамках указанных профилей $EK_{max}=100$ и $EK_{min}=80$, принимая значения риска производителя равный 5% ($PRQ=5\%$), а риск потребителей равный 10% ($CRQ=10\%$). Результаты расчета сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета потерь потребителя для базового, требуемого и желаемого профилей качества при значениях: $EK_{max}=100$, $EK_{min}=80$, $PRQ=0,05$ и $CRQ=0,1$

Профиль качества	Цена дефектности K_n (%)	Значение уровня качества (EK)							
		100	95	90	85	80	75	70	65
		EK_{max}				EK_{min}			
Потери потребителя в % отношении к стоимости продукции									
Базовый	10%	0,5	0,6	0,7	0,8	0,10	0,12	0,14	0,17
Требуемый	30%	1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	3,6	4,2	5,0
Желаемый	60%	3,0	3,6	4,2	5,0	6,0	7,1	8,4	10,0

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что в рамках допустимых значений уровня качества (EK_{max} и EK_{min}) значение потерь потребителя будут находиться в пределах принятого в рамках профиля интервала допустимых значений от L_{max} до L_{min} . При 10% отклонении уровня качества от принятого минимального значения потери потребителя будут увеличиваться. Так, по результатам расчета для базового профиля увеличение будет составлять 0,4%, для требуемого профиля 1,2% и для желаемого профиля 2,4%, что безусловно скажется на удовлетворенности потребителя.

Учитывая, что качество любой продукции является комплексной характеристикой, обобщить полученные результаты поможет графическое изображение за-

зависимости потерь потребителя от реализации профилей качества (базового, требуемого и желаемого) при проектировании продукции (рисунок 2.14).

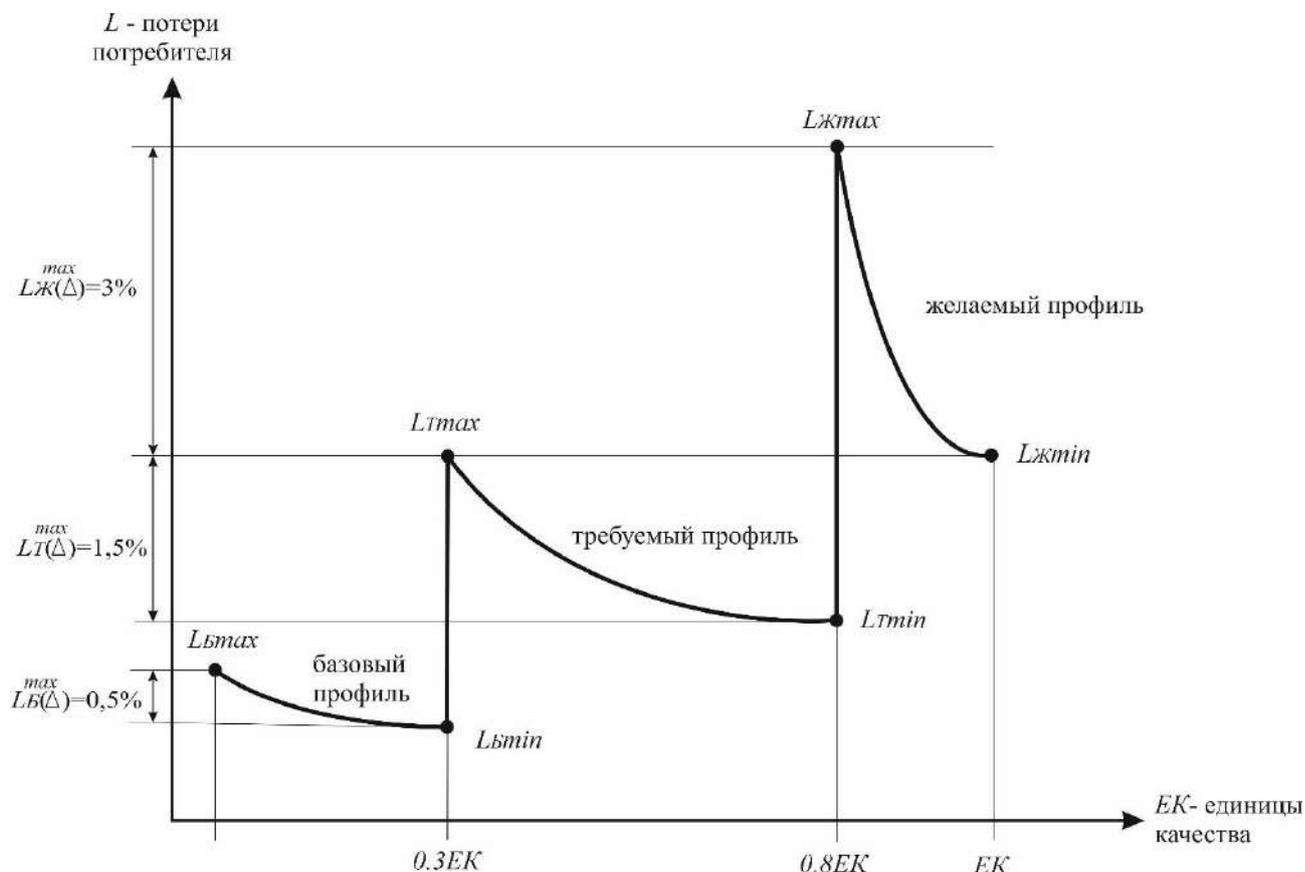


Рисунок 2.14 – Накопление суммы потерь при формировании качества продукции с учетом весовой значимости показателей базового, требуемого и желаемого профиля

Графическая интерпретация накопления суммы потерь потребителя при реализации показателей различных профилей качества (см. рисунок 2.14) позволяет сделать вывод, что использование предложенного в работе инструментария может не только определить минимальные допустимые значения уровня качества, удовлетворяющие требованиям потребителя и производителя, но и при необходимости уменьшить потери потребителя. Для рассматриваемого примера в рамках базового уровня потери можно снизить до 5% от стоимости дефекта, в рамках требуемого до 15% и в рамках желаемого уровня до 30% при заданных значениях рисков потребителя и производителя 10% и 5% соответственно.

2.6 Обобщенный алгоритм реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества

Обобщая вышеизложенное, методику оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества можно описать следующим алгоритмом (см. рисунок 2.15).

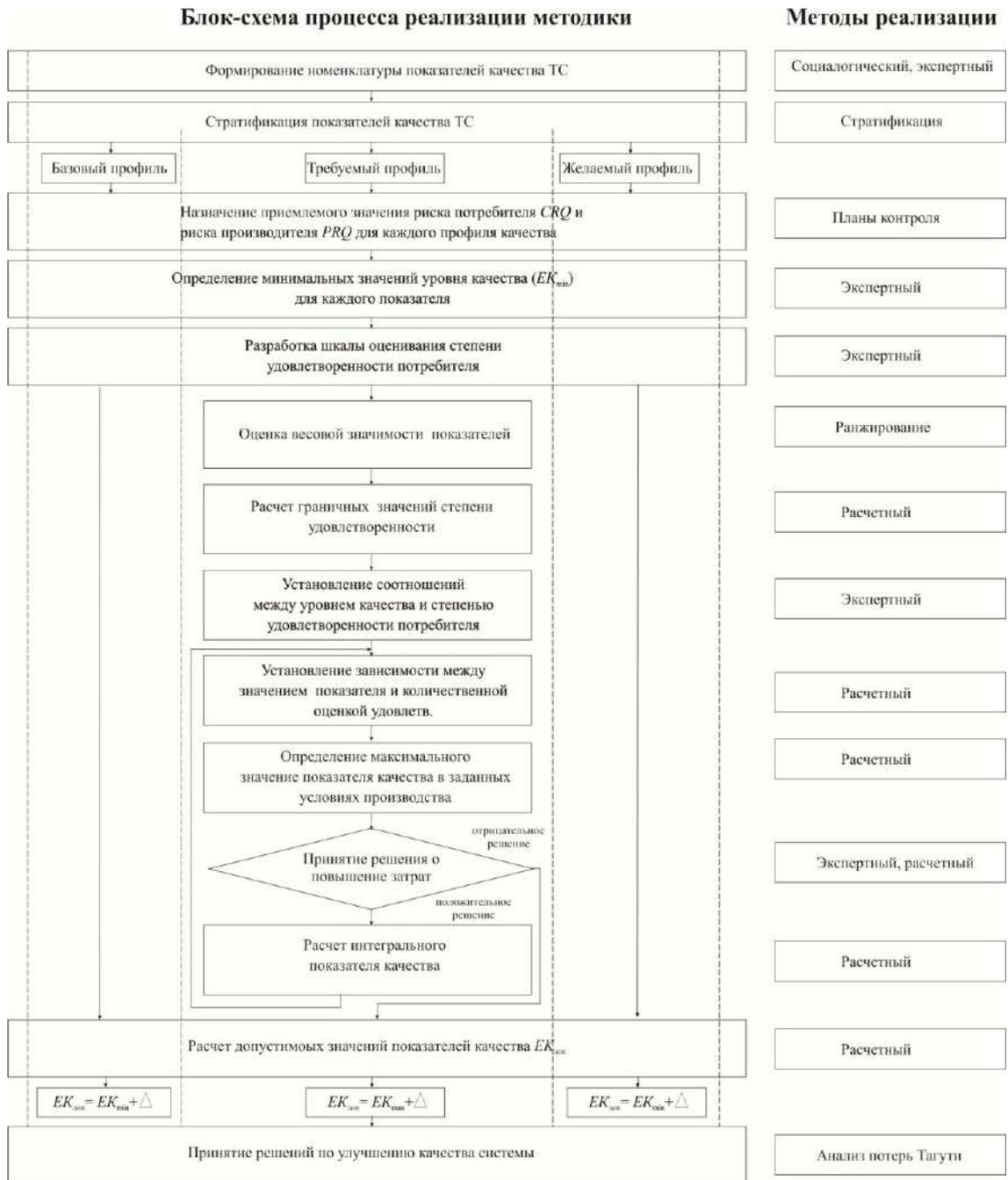


Рисунок 2.15 – Блок-схема алгоритма реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества

Представленный алгоритм позволил реализовать методику оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы в ООО «Стройтехника», повысив удовлетворенность потребителей на 8% (Приложение А).

2.7 Выводы по второй главе

1. Разработана методика оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилями качества технической системы. В основу методики положен подход, позволяющий установить взаимосвязь между степенью удовлетворенности потребителя и его потерями, связанными с нестабильностью производственного процесса.

2. Проанализированы варианты влияния нестабильности производственных процессов на каждый из профилей качества модели Н. Кано. Предложен инструментарий по минимизации такого воздействия и сформулированы основные задачи производителей, решение которых позволит обеспечить требуемый уровень удовлетворенности потребителя. Установлено, что:

2.1 Для показателей базового профиля такой задачей является определение допустимого значения показателя качества путем нахождения величины нижнего допустимого уровня качества.

2.2 Для требуемого профиля допустимые значения показателей качества должны назначаться с учетом их весовой значимости для потребителя и суммарных затрат производителя.

2.3 Для желаемого профиля следует учитывать, что есть предел отклонения уровня качества, который приведет к серьезному снижению спроса на продукцию.

3. Установлено, что потери потребителя напрямую зависят от профиля качества. Требуемый и желательный профили обеспечиваются более сложными показателями качества, что повышает потери потребителя и риски производителя ввиду увеличения стоимости исправления дефектов.

4. Увязка вероятности случайного выхода отклонения показателей качества за установленные пределы в связи с естественной нестабильностью производства со степенью удовлетворенности потребителя позволила установить, что:

4.1 На стадии проектирования изделия необходимо закладывать в показатель базового профиля такой уровень качества, который позволит снизить риск неудовлетворенности потребителя, вызванный естественными случайными колебаниями параметров технологического процесса изготовления этого изделия, с 0,5 до 0,0014.

4.2 Для показателей требуемого и желаемого профилей качества значение риска может достигать значения 0,49865, но снижение этой вероятности будет определяться стоимостью исправления дефектов.

5 Результаты типового расчета потерь потребителя при принятых значениях цены дефектности для базового, требуемого и желаемого профилей 10%, 30% и 60% от стоимости продукции соответственно, при риске производителей 5% и риске потребителей 10% показали, что предлагаемый инструментарий позволяет снизить потери потребителя на 0,5% для показателей базового профиля, на 1,5% для показателей требуемого профиля и 3,0% для показателей желаемого профиля, т.е. уменьшить потери потребителя на каждом из профилей до двух раз.

6. Разработанный алгоритм реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества можно использовать для широкого спектра машиностроительной продукции.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПРИОРИТЕТНОСТИ ВЛИЯНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА МНЕНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ

3.1 Анализ методов оценки рисков

Одним из основных элементов успеха организации является удовлетворенность потребителя продукцией/услугой, т.е. восприятие потребителем степени выполнения его надежд.

При измерении и мониторинге удовлетворенности потребителей организации следует оценивать риски, которые могут проявиться [66].

ГОСТ Р 58771-2019 [47] является руководством по выбору и применению технологий оценки риска. Технологии оказывают содействие в принятии решений и предоставлении информации о конкретных рисках.

Методы, используемые при анализе риска, могут быть качественными, количественными или смешанными. Степень глубины и детализации анализа зависит от конкретной ситуации, доступности достоверных данных и потребностей организации, связанных с принятием решений. Некоторые методы и степень детализации анализа могут быть установлены в соответствии с правовыми и обязательными требованиями [14].

При выборе технологий учитывают их значимость для проявляющих интерес сторон [72].

ГОСТ Р 58771-2019 [47] предлагает классификацию (рисунок 3.1) и описание технологий управления рисками.



Рисунок 3.1 – Применение технологий в процессе управления рисками

Для идентификации риска оптимальным образом подходит технология идентификации, включающая в себя следующие методы оценки рисков:

- контрольные списки, классификация и систематизация;
- анализ видов и последствий отказов (FMEA) и анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA);
- изучение опасности и работоспособности (HAZOP);
- сценарный анализ;
- структурированный метод «Что если?» (SWIFT).

Выбрать метод, необходимый для оценки риска потребителя, позволяет таблица 3.1.

Из анализа таблицы 3.1 можно сделать вывод, что наиболее подходящий метод для оценки риска потребителя в приобретении продукции ненадлежащего качества является FMEA-анализ. Основанием для выбора данного метода из рассмотренных пяти методов идентификации рисков стала специфика и область применения метода, знания специалистов, проводящих анализ, а также качественно-количественное определение риска.

Главным преимуществом данного инструмента управления качеством является его действие до факта появления возможного дефекта, а также использование для разных процессов [19].

Таблица 3.1 – Индикаторные характеристики методов оценки рисков

Метод	Описание	Прим.-е	Масшт.	Времен-ной го-ризонт	Ур-нь прин. реш-й	Необх.-сть информа-ции/ данных	Опыт спец.-а	Качеств./ колич.	Прим. усилий	Входы	Выходы
Контроль-ные списки, классифика-ция и систе-матизация	Списки, основан-ные на опыте или концепциях и мо-делях, которые могут использо-ваться для опре-деления рисков или мер по управ-лению ими	Идентифи-кация рис-ков или контролей	2/3	Любой	Любой	Высокая для развития/ Низкая для исполъз.	Низкий/ Умерен.	Качеств.	Низкие/ Средние	Данные или мо-дели, из которых можно разрабо-тать действую-щие контроль-ные списки, так-сономии или типографии	- Контрольные списки, под-сказки или ка-тегории и схе-мы классифи-кации; - Понимание риска от их использования, включая спи-ски рисков и группировки рисков)
Изучение опасности и работоспо-собности (HAZOP)	Структурирован-ное и системати-ческое рассмотре-ние запланиро-ванного или суще-ствующего про-цесса с целью вы-явления и оценки проблем, которые могут представ-лять угрозу	Идентифи-кация и анализ рисков	3	Средний/ Длинный	2/3	Средняя	Высокий для ве-дущего, умерен-ный для участни-ков	Качеств.	Сред-ние/ Вы-сокие	Чертежи, специ-фикации, техно-логические схе-мы, схемы управления тех-нологическими процессами и логические схе-мы, а также про-цедуры эксплуа-тации и обслу-живания	Протоколы совещаний с отклонениями по каждому зарегистриро-ванному пунк-ту обзора

Продолжение таблицы 3.1

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) и анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA)	Рассматриваются возможные пути возникновения отказов каждого компонента системы, а также причины и последствия этого отказа. За FMEA может последовать анализ критичности отказов, который позволяет определить уровень критичности каждого отказа (FMECA)	Идентификация рисков	2/3	Любой	2/3	В зависимости от применения	Умерен.	Оба	Низкие/ Высокие	Чертежи, блок-схемы, информация о среде, в которой работает система, исторические данные, информация о сбоях	- Рабочий лист с режимами отказа, эффектами, причинами и существующими элементами управления; - Показатель критичности каждого режима отказа (если FMECA) и методология, используемая для его определения; - Любые рекомендации для дальнейшего анализа, изменения дизайна или функции, которые должны быть включены в планы испытаний
Сценарный анализ	Определяются возможные будущие сценарии посредством предположений, экстраполяции текущего состояния или моделирования.	Идентификация риска, анализ последствий	Любой	Средний/ Длинный	Любой	Низкая/Средняя	Умерен.	Качеств.	Низкие/ Средние	Данные о текущих тенденциях, изменениях и идеях для будущих изменений	Правдоподобные детали, которые добавляются к сценариям

Продолжение таблицы 3.1

Структурированный метод «Что если?» (SWIFT)	Более простая форма HAZOP с подсказками "что, если", используемая для определения отклонений от ожидаемого состояния	Идентификация риска	1/2	Средний/ Длинный	1/2	Средняя	Низкий/ Умерен.	Качеств.	Низкие/ Средние	Системы, процедуры, элементы установки и/или изменения, а также внешней и внутренней области применения	Регистр рисков с оценками риска
--	--	---------------------	-----	---------------------	-----	---------	--------------------	----------	--------------------	---	---------------------------------

3.2 Разработка методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя

В качестве основы для разработки методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя предлагается использовать метод FMEA - Анализ видов и последствий отказов.

Метод FMEA (далее FMEA) направлен на выявление видов отказа объектов или процессов и способов предотвращения таких отказов в дальнейшем. FMEA представляет собой систематизированный метод идентификации видов отказов и их последствий для объекта или процесса на локальном и глобальном уровне. Этот метод может включать в себя определение причин отказов. Виды отказов могут быть ранжированы для использования при принятии решений об их устранении [37].

Ранг приоритетности риска (RPN) выводят путем объединения полуколичественных оценок, выполненных по порядковым шкалам, со значениями для последствий, вероятности и обнаруживаемости. Иногда этот метод также называют методом SOD. Общая формула ранга приоритетности риска (RPN) — это произведение рангов значимости последствий, вероятности возникновения отказа и обнаруживаемости отказа

$$RPN = S \cdot O \cdot D, \quad (3.1)$$

где S - ранг значимости последствий отказа;

O - ранг вероятности возникновения отказа;

D - ранг обнаруживаемости отказа.

Диапазон значений RPN зависит от диапазона шкал трех параметров S , O , D , для оценки которых обычно используют порядковые шкалы от 1 до 10. Таким образом, значения RPN могут изменяться в диапазоне от 1 до 1000.

Значения параметров S , O и D определяют с помощью таблиц рангов, в которых для каждого уровня параметра дано описательное предложение, которое помогает аналитику объективно и последовательно выбирать ранг.

Обнаруживаемость D может характеризовать собой среднюю вероятность, с которой вид отказа будет обнаружен во время работы до того, как возникнут существенные последствия отказа. Это число обычно ранжируют в обратном порядке по отношению к значимости последствий и вероятности возникновения отказа - чем выше значение параметра обнаружения D , тем меньше вероятность обнаружения. Следовательно, более низкая вероятность обнаружения приводит к более высокому RPN и более высокому рангу вероятности возникновения вида отказа.

Расчет RPN в соответствии с формулой 3.1 позволяет получить комплексную количественную оценку риска возможного отказа и принять соответствующее управленческое решение для снижения указанного риска. Основанием для принятия решения является превышение расчетного значения RPN принятого на предприятии граничных значений $RPN_{гр}$.

Анализ литературы [38, 45, 46] показал, что единых норм для установления $RPN_{гр}$ не существует. Критическая граница $RPN_{гр}$ может варьироваться от 100 до 250 или принимать другое значение, внося некоторую субъективность в результаты оценки, и влиять на объективность управленческих решений.

Поскольку RPN согласно формуле 3.1 определяется как произведение параметров S , O и D , то это произведение при расчете RPN различных элементов системы может в итоге мало отличаться друг от друга, но соответствовать различным ситуациям. Близкие значения RPN могут соответствовать отказам с высокой вероятностью возникновения, но низкой значимостью последствий, либо с высокой значимостью последствий и высокой уровнем обнаруживаемости.

В указанных ситуациях, хорошей практикой использования RPN является проведение тщательного анализа значений исходных параметров до формирования заключения об оценке критичности и определения действий по их обработке.

Одним из вариантов для обоснования значения $RPN_{гр}$ может быть стратификация возможных отказов в зависимости от их принадлежности к показателям технической совместимости, формирующим различные профили качества технической системы.

Суть предлагаемого подхода состоит во включении неудовлетворенности потребителя в случае возникновения отказа в комплексную количественную оценку риска, позволяющую прийти к обобщенной характеристике риска, учитывающей риски как производителя, так и потребителя.

Степень неудовлетворенности потребителя можно рассчитать, используя следующую зависимость:

$$N_i = 1 - q_i, \quad (3.2)$$

где q_i – значение показателей удовлетворенности, которой для разных профилей качества будет принимать индивидуальные значения (см. п. 2.3).

Учитывая, что показатели удовлетворенности и неудовлетворенности являются относительными значениями, для расчета обобщенной характеристики риска для каждого профиля качества необходимо выразить значение RPN в относительных единицах:

$$RPN_{\Gamma\text{Ротн}}^{\text{Б}} = \frac{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Б}}}{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Б}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Т}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Ж}}}, \quad (3.3)$$

$$RPN_{\Gamma\text{Ротн}}^{\text{Т}} = \frac{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Т}}}{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Б}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Т}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Ж}}}, \quad (3.4)$$

$$RPN_{\Gamma\text{Ротн}}^{\text{Ж}} = \frac{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Ж}}}{RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Б}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Т}} + RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Ж}}}, \quad (3.5)$$

где $RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Б}}$, $RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Т}}$, $RPN_{\Gamma\text{Р}}^{\text{Ж}}$ – значения критических границ для базового, требуемого и желаемого профилей качества соответственно.

Принятые значения критических границ будут характеризовать риск того, что оцениваемый отказ, несмотря на принятые управленческие решения, может произойти. В этом случае степень воздействия на мнение потребителя можно описать зависимостью:

$$P_{\text{неуд.}} = RPN_{\Gamma\text{Ротн}}^i \cdot N_i, \quad (3.6)$$

где $RPN_{\Gamma\text{Ротн}}^i$ – относительные значения критических границ для базового, требуемого и желаемого профилей качества соответственно.

С учетом изложенного, степень воздействия для каждого профиля можно описать зависимостями:

$$P_{\text{неуд.Б}} = RPN_{\text{ГРотн}}^{\text{Б}} \cdot N_{\text{Б}}, \quad (3.7)$$

$$P_{\text{неуд.Т}} = RPN_{\text{ГРотн}}^{\text{Т}} \cdot N_{\text{Т}}, \quad (3.8)$$

$$P_{\text{неуд.Ж}} = RPN_{\text{ГРотн}}^{\text{Ж}} \cdot N_{\text{Ж}}, \quad (3.9)$$

где $P_{\text{неуд.Б}}$, $P_{\text{неуд.Т}}$, $P_{\text{неуд.Ж}}$ - степень воздействия на мнение потребителя при возникновении отказа на базовом, требуемом и желаемом профиле соответственно.

Если относительные значения критических границ для базового, требуемого и желаемого профилей качества будут иметь равнозначные значения, то количественная оценка степени воздействия будет зависеть только от степени неудовлетворенности потребителя. Но следует понимать, что возникновение отказа системы на каком-либо уровне играет своего рода роль «правила вето» для последующих уровней. То есть, если отказ по какой-либо причине приводит к нарушению базового профиля качества, то неудовлетворенность потребителя на остальных уровнях становится максимальной.

Учет степени воздействия на мнение потребителя при анализе результатов FMEA-анализа позволит скорректировать приоритетность управленческих решений [77] или обосновать критических границы значений RPN в зависимости от профиля качества. Например, для базового профиля назначать более жесткие значения, учитывая его влияние на лояльность потребителя, границы же требуемого и желаемого профиля делать более широкими, за исключением случаев непосредственного влияния показателей профиля на безопасность.

3.3 Обобщенный алгоритм реализации методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя

Обобщая вышеизложенное, методику оценки количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, обусловленное профилем качества, можно описать следующим алгоритмом:

1. Этап. Формирование FMEA - команды.
2. Этап. Составление списка тех элементов системы, которые могут привести к возникновению отказов.
3. Этап. Составление списка возможных отказов.
4. Этап. Присвоение рангов значимости последствий отказа (S), вероятности возникновения отказа (O) и обнаруживаемости отказа (D).
5. Этап. Расчет ранга приоритетности риска (RPN) (формула 3.1).
6. Этап. Назначение критическая границ $RPN_{гр}$ для каждого профиля качества.
7. Этап. Разработка шкалы оценивания степени удовлетворенности потребителя в зависимости от профиля качества.
8. Этап. Группировка отказов в соответствии с профилем качества.
9. Этап. Расчет значений степени неудовлетворенности потребителя для каждого профиля качества в соответствии с назначенными критическими границами.
10. Расчет значений рисков неудовлетворенности потребителя для каждого отказа.
11. Оценка степень воздействия на мнение потребителя каждого отказа.
12. Анализ полученных результатов и принятие соответствующих управленческих решений.

3.4 Выводы по третьей главе

1. Разработана методика количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, определяемая профилями качества (базовый, требуемый и желаемый) и алгоритмом её реализации.
2. В основу методики заложен подход, используемый в методе анализа видов и последствий отказов (FMEA-анализ), как наиболее приемлемый метод анализа рисков технических систем на этапе проектирования и производства.

3. Отличие разработанной методики от FMEA-анализа заключается в учете степени неудовлетворенности потребителей при дифференциации и ранжировании целей в области качества путем идентификации отказов, которые в наибольшей степени могут нанести ущерб производителю ввиду снижения удовлетворенности потребителя.

4. Методика позволяет, выделив дополнительную номенклатуру отказов, возникновение которых приведет к потере удовлетворённости потребителя, пересмотреть значимость конструкторских и технологических решений при проектировании и производстве продукции, уменьшая риск производителя, связанный со снижением уровня удовлетворенности потребителя и, как следствие, снижение конкурентоспособности продукции.

4 РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК НА ПРИМЕРЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ПИСТОЛЕТ МОНТАЖНЫЙ»

4.1 Описание технической системы «пистолет монтажный»

Техническая система «пистолет монтажный» представляет собой сложную техническую систему из совокупности следующих элементов: строительномонтажный поршневой пистолет, монтажный патрон и дюбель-гвоздь). Каждый из перечисленных элементов в свою очередь также представляет собой сложную техническую систему, характеризующуюся индивидуальными единичными показателями качества (показателями надежности, назначения, технологичности, экономичности и т.д.). Качество системы в целом будет определяться показателями технической совместимости элементов.

Пистолет поршневой ПЦ-84 - однозарядный, самовзводный, ручной монтажный инструмент с поршневым принципом забивки дюбелей за счет использования энергии расширяющихся пороховых газов, возникающих при сгорании пиросостава патрона. Предназначен для забивки дюбелей в железобетонные и бетонные строительные конструкции, в стальные конструкции и кирпичную кладку [101]. Этот инструмент относится к категории профессионального.

Технические характеристики пистолета ПЦ-84 приведены в таблице 4.1 [101].

Таблица 4.1 – Технические характеристики пистолета монтажного ПЦ-84

Параметр	ПЦ-84
Габаритные размеры, мм	385x75x150
Масса в рабочем состоянии, кг	4,6
Наработка до предельного состояния, количество выстрелов	25000
Используемые патроны, шифр	Д, К
Длина забиваемых дюбелей, мм:	

Продолжение таблицы 4.1

дюбеля-гвоздя	30-100
дюбеля-винта	35-70
Диаметры стержней забиваемых дюбелей, мм	3,7 и 4,5
Уровень звукового давления выстрела, дБ·А	Не более 105
Способ воспламенения патрона	Самовзводным ударно-пусковым механизмом
Запирание патрона в момент выстрела	Инерционное
Экстракция стреляной гильзы из патронника	Полуавтоматическая при открывании
Блокировка от случайного выстрела	Без прижатия к поверхности строительной конструкции; при неполностью закрытом пистолете; при падении пистолета с высоты не более 1,5 м; при прижатии направлятелем к строительной конструкции с усилием менее 49 Н
Защита от возможного рикошета дюбеля и разлета частиц поверхности строительной конструкции	Обоймой, средствами индивидуальной защиты

Сборочная схема пистолета монтажного представлена на рисунке 4.1.

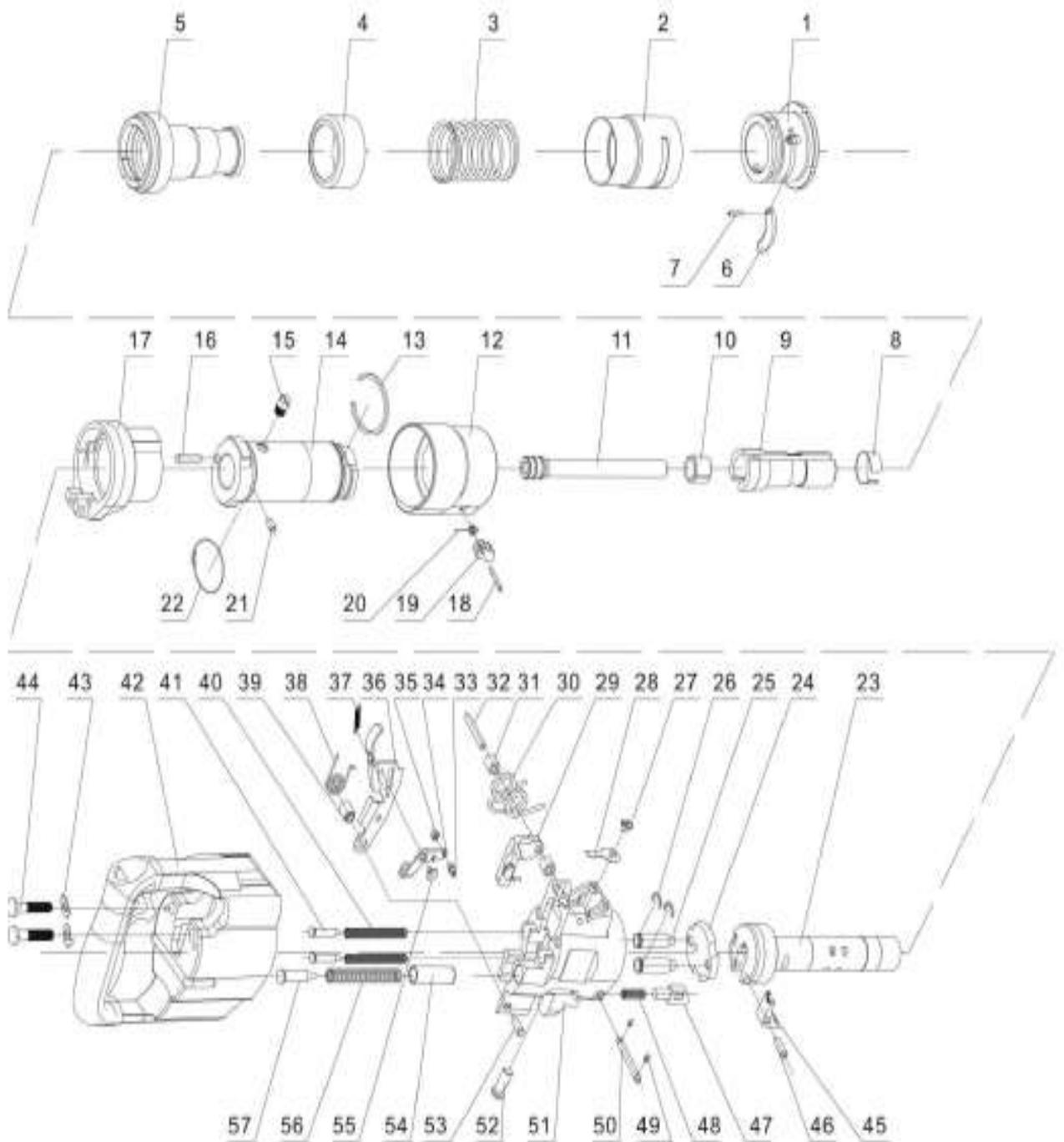


Рисунок 4.1 – Сборочная схема пистолета монтажного

В таблице 4.2 представлены наименования деталей пистолета монтажного.

Таблица 4.2 – Наименования деталей пистолета

№	Наименование	№	Наименование	№	Наименование
1	Обойма	20	Пружина защелки	39	Втулка
2	Фиксатор	21	Фиксатор ствола	40	Пружина затвора
3	Пружина обоймы	22	Пружина фиксатора ствола	41	Стержень пружины затвора
4	Кожух	23	Ствол	42	Рукоятка
5	Прижим	24	Остов затвора	43	Шайба
6	Защелка	25	Втулка затвора	44	Винт
7	Ось защелки	26	Кольцо втулки	45	Экстрактор
8	Стопор	27	Винт пружины отбоя	46	Ось экстрактора
9	Направитель	28	Пружина отбоя	47	Упор
10	Амортизатор	29	Курок	48	Пружина упора
11	Поршень	30	Пружина боевая	49	Фиксатор оси
12	Кожух муфты	31	Ролик	50	Ось коробки
13	Кольцо запорное	32	Ось курка	51	Коробка
14	Муфта	33	Ось рока взводителя	52	Вкладыш ствола
15	Винт муфты	34	Взводитель	53	Ось рычага спускового
16	Штифт ствола	35	Ролик взводителя	54	Втулка пружины ствола
17	Серьга муфты	36	Рычаг спусковой	55	Ось взводителя
18	Ось защелки	37	Пружина взводителя	56	Пружина ствола
19	Защелка прижима	38	Пружина рычага	57	Стержень пружины ствола

По технологическим причинам некоторые детали пистолета представлены в сборочные узлы (рисунок 4.2).

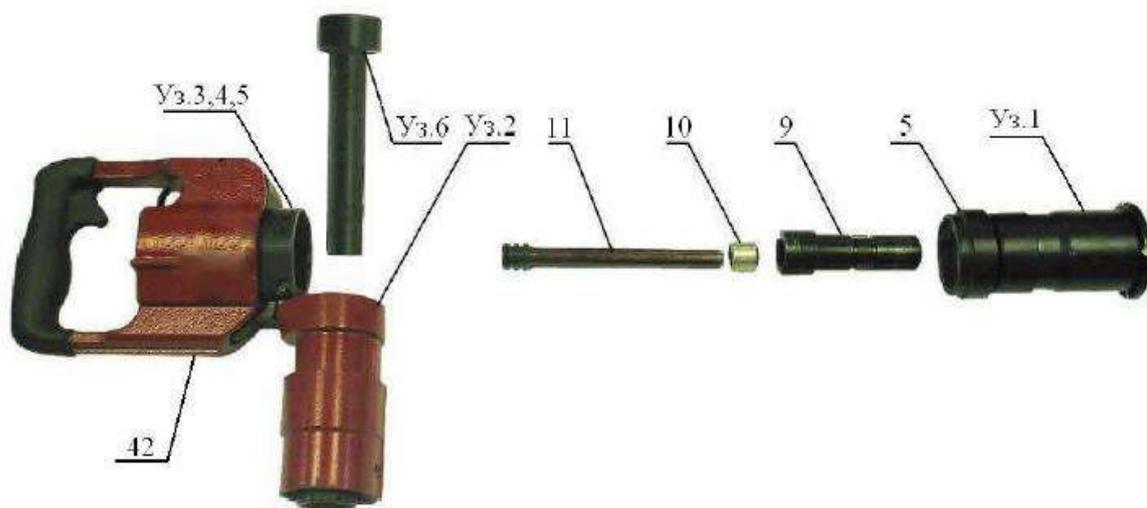


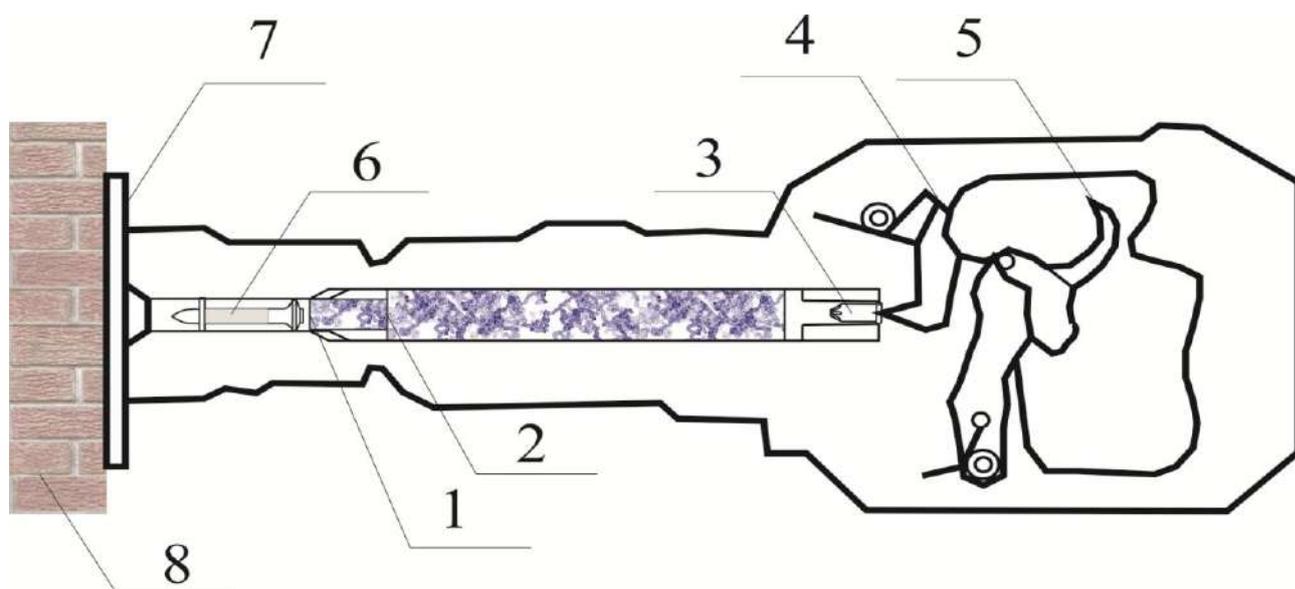
Рисунок 4.2 – Сборочная схема пистолета монтажного

В таблице 4.3 приведены обозначения сборочных узлов пистолета.

Таблица 4.3 – Сборочные узлы пистолета монтажного

№ сборочного узла	Наименование блока	Номера деталей в составе блока
Уз.1	Защитный блок	1-4, 6, 7
Уз.2	Термо блок	12-22
Уз.3	Блок затвора	24-26
Уз.4	Спусковой блок	33-39, 55
Уз.5	Блок коробки	27, 28, 51-53
Уз.6	Блок ствола	24, 45, 46

Выполнение крепления дюбелями с применением пистолета ПЦ-84 представлена на рисунке 4.3.

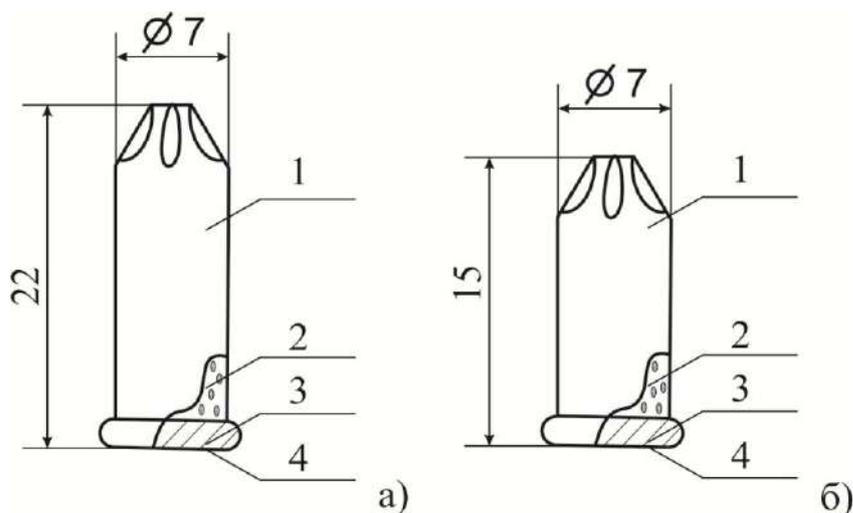


1 - поршень; 2 - амортизатор; 3 - патрон; 4 - курок; 5 - спусковой рычаг; 6 - дюбель; 7 - монтажное изделие; 8 - строительная конструкция; 9 - диафрагма

Рисунок 4.3 – Выполнение крепления

Перед началом работы необходимо подготовить пистолет к использованию и зарядить его. Процесс забивки дюбеля представлен в [101].

К пороховым строительным пистолетам нужны монтажные патроны [116], энергия которых обеспечивает забивку дюбелей в различные поверхности. Путём подбора соответствующего по мощности патрона регулируют мощность воздействия на дюбель [109].



1 – стальная гильза; 2 – пороховой заряд; 3 – пыж; 4 - ударный воспламеняющий состав

Рисунок 4.4 – Монтажные патроны шифр Д (а), шифр К (б)

Технические характеристики промышленных патронов представлены в таблице 4.4 а, таблице 4.4.б.

Таблица 4.4 а – Технические характеристики патрона шифра Д

Номер патрона	Условная мощность	Цвет места отличительной окраски (звездки)	Патрон шифра Д		
			Обозначение	Масса заряда, г	Энергия порохового заряда, Дж
1	Слабая	Белый	Д1	0,32	874
2	Средняя	Желтый	Д2	0,34	928
3	Сильная	Синий	Д3	0,38	1037
4	Сверхсильная	Красный	Д4	0,43	1174

Таблица 4.4 б – Технические характеристики патрона шифра К

Номер патрона	Условная мощность	Цвет места отличительной окраски (звездки)	Патрон шифра К		
			Обозначение	Масса заряда, г	Энергия порохового заряда, Дж
1	Слабая	Белый	К1	0,20	548
2	Средняя	Желтый	К2	0,22	603
3	Сильная	Синий	К3	0,25	683
4	Сверхсильная	Красный	К4	0,29	795

Крепление пистолетом ПЦ-84 предусматривает применение дюбелей-гвоздей (рисунок 4.5).

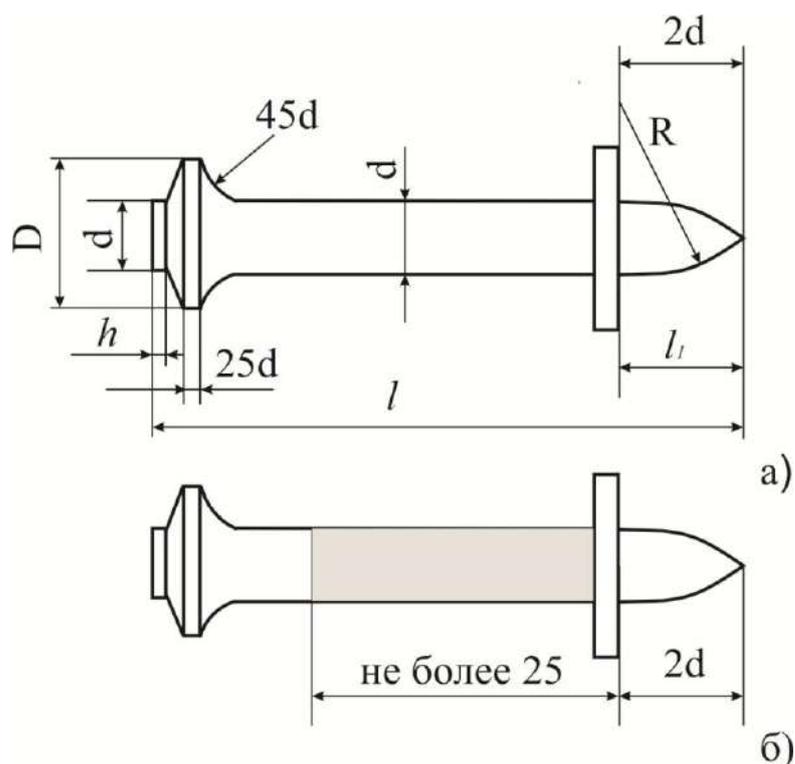


Рисунок 4.5 – Дюбель-гвоздь исполнение 1 (а), исполнение 2 (б)

Дюбель, пробивая закрепляемое изделие или вспомогательную деталь, внедряется в строительное основание и закрепляется в нем. Так осуществляется, например крепление кронштейна трубопровода к бетонному основанию; профильного стального настила к стальному основанию из сортового проката; деревянной рейки к кирпичному или бетонному основанию и др. Технические характеристики дюбель-гвоздей представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Технические характеристики дюбель-гвоздей

Обозначение	Размеры, мм						Теоретическая масса 1000 дюбель-гвоздей с шайбами (справочная), кг
	$d \pm 0,1$	$D_{-0,2}^{+0,4}$	$l_{-1,6}$	$h^{+0,4}$	l_1^{+3}	R	
ДГ 3,7x30	3,7	8,0	30	1	7	18	4,30
ДГ 3,7x35	3,7	8,0	35	1	7	18	4,70
ДГ 3,7x40	3,7	8,0	40	1	7	18	5,20
ДГ 3,7x50	3,7	8,0	50	1	7	18	6,00
ДГ 3,7x60	3,7	8,0	60	1	7	18	6,80

Продолжение таблицы 4.5

ДГ 3,7x70	3,7	8,0	70	1	7	18	7,60
ДГ 4,5x30 P	4,5	10	30	1,2	9	22	5,55
ДГ 4,5x35	4,5	10	35	1,2	9	22	6,20
ДГ 4,5x40	4,5	10	40	1,2	9	22	6,75
ДГ 4,5x50	4,5	10	50	1,2	9	22	7,95
ДГ 4,5x60	4,5	10	60	1,2	9	22	9,15
ДГ 4,5x80	4,5	10	80	1,2	9	22	12,20
ДГ 4,5x100	4,5	10	100	1,2	9	22	14,60

С целью исключения возможных неисправностей при проведении работ монтажным пистолетом необходимо осуществить оптимальный выбор патрона, дюбель-гвоздя, рабочих поверхностей (см. таблицу 4.6).

Таким образом, принимая во внимание технические характеристики пистолета монтажного (см. таблицу 4.1), монтажных патронов (см. таблицу 4.4), дюбель-гвоздей (см. таблицу 4.5), а также толщину и материал скрепляемых поверхностей, можно судить об очевидной сложности рассмотренной системы «пистолет монтажный».

Таблица 4.6 – Рекомендуемые дюбели и патроны для пистолета монтажного ПЦ-84

Материал строительного основания	Материал, пристреливаемый дюбелем, его толщина, мм		Материал, пристреливаемый дюбелем, его толщина, мм		Материал, пристреливаемый дюбелем, его толщина, мм		Материал, пристреливаемый дюбелем, его толщина, мм	
	Сталь		Алюминий		Древесина, фанера		Древесина, фанера	
	1-2 мм	2-4 мм	2-3 мм	3-5 мм	6-15 мм	15-25 мм	25-35 мм	35-60 мм
	Дюбель/патрон		Дюбель/патрон		Дюбель/патрон		Дюбель/патрон	
Тяжелый бетон марки выше М200 с заполнителем естественных пород - блоки, перемычки, ригели и др.	ДГ 3,7х30/ Д-1; Д-2	ДГ 4,5х40/ Д-1; Д-2	ДГ 3,7х30/ Д - 1	ДГ 4,5х40/ Д - 1	ДГ 3,7х40/ Д - 1	ДГ 4,5х50/ Д - 1	ДГ 4,5х60/ Д - 1	ДГ 4,5х80/ Д - 1
Неоштукатуренная кирпичная кладка, кирпич глиняный и силикатный (белый) без пустот	ДГ 3,7х30/ К-4; Д-1	ДГ 4,5х40/ Д - 1	ДГ 3,7х30/ К- 3; К-4	ДГ 4,5х40/ К - 4; Д - 1				
Оштукатуренная кирпичная кладка (штукатурный слой 15...20 мм)	ДГ 4,5х50/ К-4; Д-1	ДГ 4,5х60/ Д - 1	ДГ 4,5х50/ К-3; К - 4	ДГ 4,5х60/ К - 4; Д - 1	ДГ 4,5х60/ К - 4; Д - 1	ДГ 4,5х60/ К-4; Д-1	ДГ 4,5х80/ К-4; Д-1	ДГ 4,5х80/ К-4; Д-1
Стальные конструкции из сортовой стали (прогоны, фермы, колонны и т.п.) толщина стали в месте забивки дюбеля до 12 мм	ДГ 4,5х30 / Д-3; Д-4	ДГ 4,5х30/ Д - 3; Д-4	ДГ 4,5х30/ Д-3; Д - 4	ДГ 4,5х30/ Д-3; Д - 4				

4.2 Формирование номенклатуры показателей технической совместимости системы «пистолет монтажный»

Понятие совместимости для технической системы «пистолет монтажный» имеет сложную иерархическую структуру. Требования к совместимости должны быть выполнены как в отношении сборочных узлов пистолета (см. таблицу 4.3), так и в отношении монтажного патрона (см. рисунок 4.4), от мощности которого зависит пробивная способность дюбель-гвоздя [56].

Рассмотрим техническую систему «пистолет монтажный» с учетом предложенных в Главе 1 аспектов представления объектов. В данном случае система будет иметь вид:

- аспект функций – для забивания дюбелей и дюбель-винтов в различные поверхности;
- аспект продукта – пиротехническое устройство;
- аспект сложности системы – техническое устройство III уровня сложности;
- аспект управления – автоматизированные.

Такое структурирование технической системы позволяет выбрать из разработанной матрицы применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем (см. таблицу 1.1) те виды технической совместимости, которые следует учитывать в работе системы «пистолет монтажный», а именно конструктивную, механическую, эксплуатационную, размерную, энергетическую и пространственно-антропометрическую совместимости.

Качество любой технической системы представляет собой совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности. Степень проявления каждого свойства или комплекса свойств оценивается с помощью показателей качества [65].

Выделяют десять групп показателей качества промышленной продукции: показатели назначения, надежности, технологичности, унификации, транспортабельности, безопасности и другие.

Основными показателями качества технической системы «пистолет монтажный» являются:

- показатели назначения (классификационные показатели, показатели функциональные и технической совместимости, конструктивные показатели, показатели состава и структуры);
- показатели надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость);
- показатели технологичности;
- показатели безопасности (вероятность безопасной работы, уровень шума и т.д.).

Из-за конструктивных особенностей и специфики технической системы «пистолет монтажный» качество на базовом и требуемом уровне также будет определять техническая совместимость вида «изделие-среда», «изделие-тара (упаковка)», «человек-изделие», функциональная совместимость и совместимость по надежности [42].

Таким образом, с целью дальнейшего учета влияния видов технической совместимости на качество системы «пистолет монтажный» сформируем номенклатуру показателей технической совместимости для базового и требуемого профиля качества (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Номенклатура показателей технической совместимости для системы «пистолет монтажный»

Показатели качества Профиль качества	Назначения	Надежности	Технологичности	Безопасности
	Виды технической совместимости (ТС)			
Базовый	ТС «изделие-среда», ТС «изделие-тара», размерная ТС	ТС по надежности энергетическая ТС	ТС составных частей изделия	эксплуатационная ТС
Требуемый	функциональная, конструктивная ТС	энергетическая ТС	технологическая ТС	ТС «человек-изделие»

4.3 Моделирование выходных характеристик системы в зависимости от характеристик совмещаемых элементов

В соответствии с разработанной номенклатурой показателей технической совместимости для системы «пистолет монтажный» (см. таблицу 4.7) одной из выходных характеристик требуемого профиля качества технической системы является энергетическая совместимость элементов системы, определяющая показатели надежности системы.

Процесс забития дюбель-гвоздя в поверхность – сложный термодинамический и газодинамический процесс быстрого превращения энергии пороха сначала в тепловую, а затем в кинетическую энергию пороховых газов. Энергия пороховых газов воздействует на поршень, который, разгоняясь, совершает поступательное движение вместе с дюбелем, передавая ему свою кинетическую энергию, достаточную для пробития скрепляемых материалов [13].

Для комплексной оценки показателя энергетической совместимости необходимо рассчитать энергию забития, значение которой будет зависеть от технических характеристик монтажного пистолета, выбранных типов монтажных патронов и размеров дюбель-гвоздей.

В общем виде расчет энергии забития можно представить формулой:

$$E = p \cdot A \cdot h \cdot \eta, \quad (4.1)$$

где E – энергия забития, Дж;

p – баллистическое давление в камере, Па;

A – рабочая площадь поршня, м²;

h – величина рабочего хода ударной части, м;

η – коэффициент полезного действия, равный 0,7.

Рабочую площадь поперечного сечения поршня определим по формуле:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (4.2)$$

где π – математическая постоянная;

D – диаметр поршня, м.

Расчет кинетической энергии производится по формуле:

$$E_{\text{кин.}} = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (4.3)$$

где $E_{\text{кин.}}$ – кинетическая энергия, Дж;

m – приведенная масса поршня-толкателя, включающая в себя массу поршня и массу дюбель-гвоздя, кг;

v – суммарная скорость движения поршня и дюбель-гвоздя, м/с.

Большинство конструкций рабочих машин ударного действия характеризуются переменным количеством сжатого воздуха в рабочих полостях [104]. При разработке их математической модели простейшие законы термодинамики неприемлемы, расчет необходимо вести исходя из уравнения энергетического баланса.

В общем случае для составления математической модели следует составить уравнение движения механической части и теплового баланса в полостях рабочих камер с учетом уравнения состояния воздуха [54].

Изменение давления может быть найдено на основании уравнения, полученного из первого закона термодинамики для процессов с переменной массой газов m , записанного в дифференциальной форме:

$$i_H dm_H + i_C dm_C = dU + dL + dQ, \quad (4.4)$$

где i_H, i_C – энтальпия газа, натекающего в полость и истекающего из нее

$$i_{H(C)} = C_p T_{H(C)}, \quad (4.5)$$

где C_p – изобарическая теплоемкость газа;

$T_{H(C)}$ – температура газа, натекающая в полость и истекающая из нее;

$m_{H(C)}$ – масса газа, натекающего в полость и истекающего из нее, рассчитывается по формуле:

$$dm_{H(C)} = G_{H(C)} dt, \quad (4.6)$$

где $G_{H(C)}$ – расход газа, натекающего в полость и истекающего из нее;

t – текущее значение времени.

Внутренняя энергия элементарной массы газа определяется по выражению:

$$dU = C_v d(mT), \quad (4.7)$$

где C_v – изохорная теплоемкость газа.

Элементарная работа газа в полости выражается зависимостью:

$$dL = \rho dV \quad (4.8)$$

Количество тепла, подводимого к газу, находящегося в полости Q, примем равным нулю.

Подставляя зависимости (4.5) – (4.8) в уравнение (4.4), получаем

$$C_p T_H G_H = C_p T_C G_C = C_v d(mT)/dt + \rho(dV/dt), \quad (4.9)$$

где T_C , G_C – температура и расход газа, сбрасываемого в полости.

Состояние газа, находящегося в полости, описывается зависимостью

$$\rho V = mRT, \quad (4.10)$$

где R - газовая постоянная.

После умножения левой и правой части формулы (4.10) на C_v/R и дифференцируя по времени, учтя, что $C_p - C_v = R$, после ряда преобразований получим искомое уравнение, описывающее изменение давления в зависимости от времени в полости, имеющей переменный объем, снабженной выходными и входными отверстиями:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{k}{v} \left[R(T_H G_H - T_C G_C) - p \frac{dV}{dt} \right], \quad (4.11)$$

где $k = C_p/C_v$.

Процесс истечения газа считается подчиняющимся закону адиабаты.

Расход газа G определяем по формуле Сан-Венана и Ванцели:

при некритическом истечении

$$G = f \mu \rho_H \sqrt{\frac{2k}{k-1} (\sigma^{2/k} - \sigma^{k+1/k}) \frac{1}{RT_H}} \quad (4.12)$$

при критическом истечении газа:

$$G = f \mu \rho_H \sqrt{\frac{2}{k-1} (\sigma^{2/k} - \sigma^{k+1/k}) \frac{1}{RT_H}}, \quad (4.13)$$

где σ – отношение давлений (в числителе всегда давление той среды, куда истекает газ, а в знаменателе – давление среды, из которой вытекает газ);

f – площадь выходного канала;

μ – коэффициент истечения;

k – показатель адиабаты (для воздуха $k=1,41$).

Формула расхода может быть представлена в более компактном виде:

$$G = \mu f K_1 \rho_H \varphi(\sigma) / \sqrt{T_H}, \quad (4.14)$$

где $\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{2/k} - \sigma^{k+1/k}}$;
 $K_1 = \sqrt{2kR/(k-1)}$

Для определения изменений температуры воздуха в зависимости от времени в рассматриваемой проточной полости используем уравнение состояния Клайперона в дифференциальной форме:

$$V dp = R(T_{dm} + m dT), \quad (4.15)$$

где $dm = G dt = (G_H - G_C) dt$.

Учитывая введенные ранее зависимости $k = C_p/C_v$ и $R = C_p - C_v$, а также $T = T_c$, получим искомую зависимость:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T}{\rho V} \left[\left(k - \frac{T}{T_H} \right) R T_H G_H - (k-1) R T G_C - (k-1) \rho \frac{dV}{dt} \right] \quad (4.16)$$

Полученные зависимости используются при построении математических зависимостей рабочих машин [53].

Моделирование рабочего цикла пистолета произведем в системе Mathcad. Дифференциальные уравнения, описывающие движение поршня инструмента (рабочий ход), в стандартной форме выглядят следующим образом:

Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$G_{01}(P_H, P_c, T_H) := \begin{cases} f_{01} \cdot \mu_{01} \cdot P_H \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_0} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \text{ if } (P_H \geq 2 \cdot P_c) \\ f_{01} \cdot \mu_{01} \cdot P_H \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_c}{P_H}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_c}{P_H}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \cdot \frac{1}{R \cdot T_H} \text{ if } (P_H < 2 \cdot P_c) \end{cases} \quad (4.17)$$

$$G_{23}(P_H, P_c, T_H) := \begin{cases} f_{23} \cdot \mu_{23} \cdot P_H \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_H} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \text{ if } (P_H \geq 2 \cdot P_c) \\ f_{23} \cdot \mu_{23} \cdot P_H \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_c}{P_H}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_c}{P_H}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \cdot \frac{1}{R \cdot T_H} \text{ if } (P_H < 2 \cdot P_c \wedge P_H > P_c) \\ 0 \text{ if } (P_c \geq P_H) \end{cases} \quad (4.18)$$

$$G13(P_H, P_C, T_H) := \begin{cases} f13 \cdot \mu13 \cdot P_H \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_H} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \text{ if } (x_0 \geq x_{кл} \wedge P_H \geq 2 \cdot P_C) \\ f13 \cdot \mu13 \cdot P_H \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_C}{P_H}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_C}{P_H}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right] \cdot \frac{1}{R \cdot T_H}} \text{ if } (x_0 \geq x_{кл} \wedge P_H < 2 \cdot P_C) \\ 0 \text{ if } (x_0 < x_{кл} \vee P_C \geq P_H) \end{cases} \quad (4.19)$$

$$G32(P_H, P_C, T_H) := \begin{cases} f32 \cdot \mu32 \cdot P_H \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_H} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \text{ if } (P_H \geq 2 \cdot P_C) \\ f32 \cdot \mu32 \cdot P_H \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot \left[\left(\frac{P_C}{P_H}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_C}{P_H}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right] \cdot \frac{1}{R \cdot T_H}} \text{ if } (P_H < 2 \cdot P_C \wedge P_H > P_C) \\ 0 \text{ if } (P_C \geq P_H) \end{cases} \quad (4.20)$$

$$\delta1(s, V) := \begin{cases} 1 \text{ if } (V > 0 \wedge s \geq \Delta) \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad \delta2(s, V) := \begin{cases} 1 \text{ if } (V > 0 \wedge s > \Delta + 1 \text{дюб}) \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$D(t, x) := \frac{\begin{aligned} & \frac{k}{s1(x_0 + H_0)} \cdot [R \cdot (T_0 \cdot G01(P_0, x_1, T_0) - x_2 \cdot G13(x_1, x_5, x_2, x_0)) - x_1 \cdot s1 \cdot x_7] \\ & \frac{x_2}{x_1 \cdot s1(x_0 + H_0)} \cdot \left[\left(k - \frac{x_2}{T_0}\right) R \cdot T_0 \cdot G01(P_0, x_1, T_0) - (k-1) \cdot R \cdot x_2 \cdot G13(x_1, x_5, x_2, x_0) - (k-1)x_1 \cdot s1 \cdot x_7 \right] \\ & \frac{k}{(s1 - s2) \cdot (\Delta + 1 \text{дюб} + f - x_0)} \cdot [R \cdot (x_6 \cdot G32(x_5, x_3, x_6) - x_4 \cdot G23(x_3, x_5, x_4)) - x_3 \cdot (s2 - s1) \cdot x_7] \\ & \frac{x_4}{x_3 \cdot (s1 - s2)(\Delta + 1 \text{дюб} + f - x_0)} \cdot \left[\left(k - \frac{x_4}{x_6}\right) R \cdot x_6 \cdot G32(x_5, x_3, x_6) - (k-1) \cdot R \cdot x_6 \cdot G23(x_3, x_5, x_4) - (k-1) \cdot x_3 \cdot (s2 - s1) \cdot x_7 \right] \\ & \frac{k}{V_{const}} \cdot [R \cdot (x_2 \cdot G13(x_1, x_5, x_2, x_0) + x_4 \cdot G23(x_3, x_5, x_4) - x_6 \cdot G32(x_5, x_3, x_6))] \\ & \frac{x_6}{x_5 \cdot V_{const}} \cdot \left[\left(k - \frac{x_6}{x_2}\right) \cdot R \cdot x_2 \cdot G13(x_1, x_5, x_2, x_0) + \left(k - \frac{x_6}{x_2}\right) \cdot R \cdot x_4 \cdot G23(x_3, x_5, x_4) - (k-1) \cdot R \cdot x_6 \cdot G32(x_5, x_3, x_6) \right] \\ & \frac{1}{m\pi + \delta1(x_0, x_7) \cdot m\Gamma B} \cdot [x_1 \cdot s1 - x_3(s1 - s2) - \text{sing}(x_7) \cdot F_{Tp} - \delta1(x_0, x_7) \cdot F_{Вн} - \delta2(x_0, x_7) \cdot Fa] \end{aligned} \quad (4.21)$$

Вектор начальных условий

$$x := \begin{pmatrix} 0 \\ P_{атм} \\ T_{атм} \\ P_{атм} \\ T_{атм} \\ P_{атм} \\ T_{атм} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \times 10^5 \\ 290 \\ 1 \times 10^5 \\ 290 \\ 1 \times 10^5 \\ 290 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Параметры интегрирования

$$t_0 := 0 \quad t_1 := 0,0112 \quad N := 1000$$

Результаты интегрирования

$$Z := \text{Radau}(x, t_0, t_1, N, D)$$

$T := Z^{(0)}$	- время, с		
$S := Z^{(1)}$	- координата поршня, м	$V := Z^{(8)}$	- скорость поршня, м
$P1 := Z^{(2)}$	- давление в камере 1, Па	$Temp1 := Z^{(3)}$	- температура в камере 1, К
$P2 := Z^{(4)}$	- давление в камере 2, Па	$Temp2 := Z^{(5)}$	- температура в камере 2, К
$P3 := Z^{(6)}$	- давление в камере 3, Па	$Temp3 := Z^{(7)}$	- температура в камере 3, К

4.4 Пример реализации методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества системы «пистолет монтажный»

Произведем в системе Mathcad расчет выходной характеристики (энергия забития) для строительно-монтажного поршневого пистолета ПЦ-84, монтажного патрона Д1 и дюбель-гвоздя ДГ 3,7х40, используя смоделированные расчеты рабочего цикла (см.п.4.3).

Исходные данные для моделирования процесса.

$H_0 := 0,005$ м, начальная высота рабочей камеры.

$P_0 := 8 \cdot 10^5$ Па, давление в камере после детонации патрона Д1.

$P_{атм} := 10^5$ Па, давление атмосферное.

$m_п := 0,130$ кг, масса поршня.

$m_{гв} := 0,0052$ кг., масса гвоздя.

$k := 1,41$, показатель адиабаты.

$s_1 := 0,00154$ м², площадь поршня.

$s_2 := 9,5 \cdot 10^{-6}$ м², площадь штока.

$f_{01} := 1,26 \cdot 10^{-5}$ м², площадь отверстия.

$\Delta := 0,015$ м, толщина поршня.

$\mu_{01} := 0,8$, коэффициент расхода.

$l_{дуб.} := 0,06$ м, длина дюбеля.

$f := 0,009$ м, ход амортизатора.

$R := 287$ Дж/(кг·К), универсальная газовая постоянная.

$T_{атм} := 293$ К, начальная температура камер.

$T_0 := 290 \text{ K}$, температура в магистрали.

$F_{\text{тр}} := 20 \text{ Н}$, сила трения.

$F_{\text{вн.}} := 1500 \text{ Н}$, сила внедрения дюбеля.

$F_a := 200 \text{ Н}$, усилие амортизатора.

$x_{zv} := (\Delta + l_{\text{дюб}} + f)$, м, максимальный ход поршня.

$V_{\text{const}} := 0,713 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, объем амортизационной камеры.

$f_{13} := 5,65 \cdot 10^{-8}$

$\mu_{13} := 0,8$

$x_{\text{кл}} := 0,078$

$f_{23} := 3,39 \cdot 10^{-4}$

$\mu_{23} := 0,8$

Результатом обработки данных стали следующие графики зависимостей.

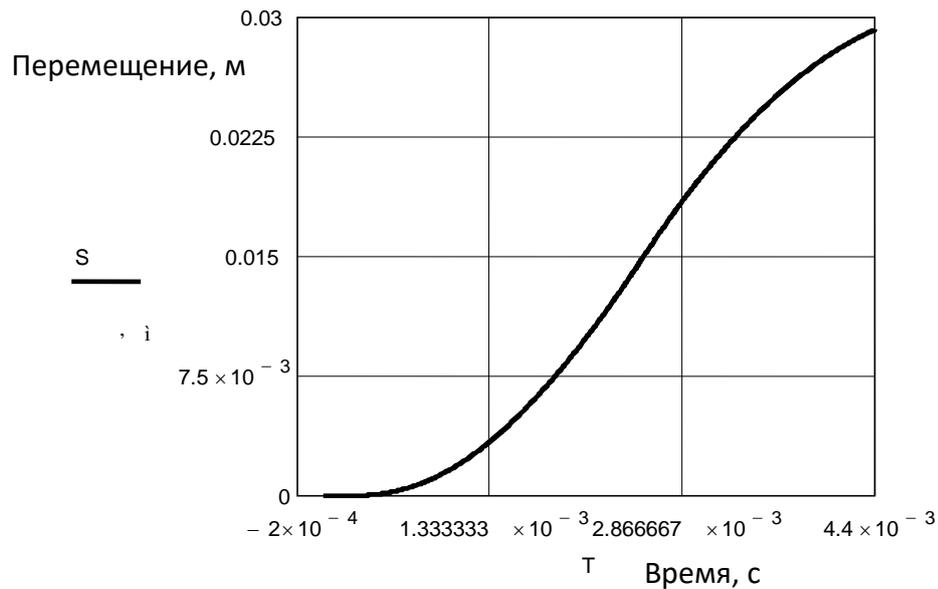


Рисунок 4.6 – График изменения перемещения

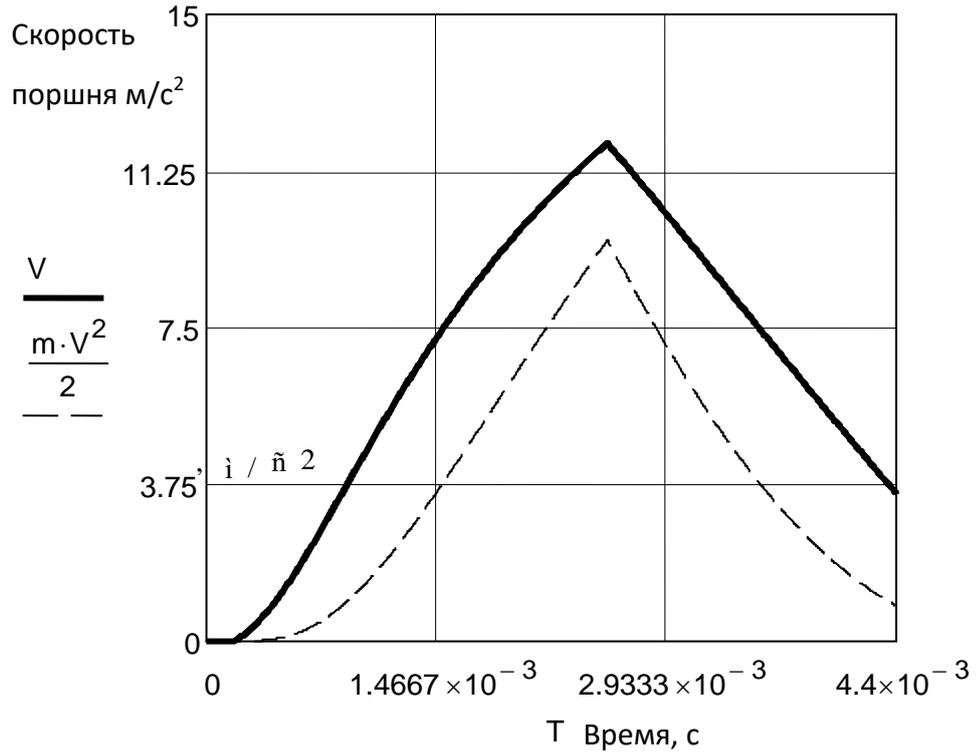


Рисунок 4.7 – График изменения скорости и кинетической энергии

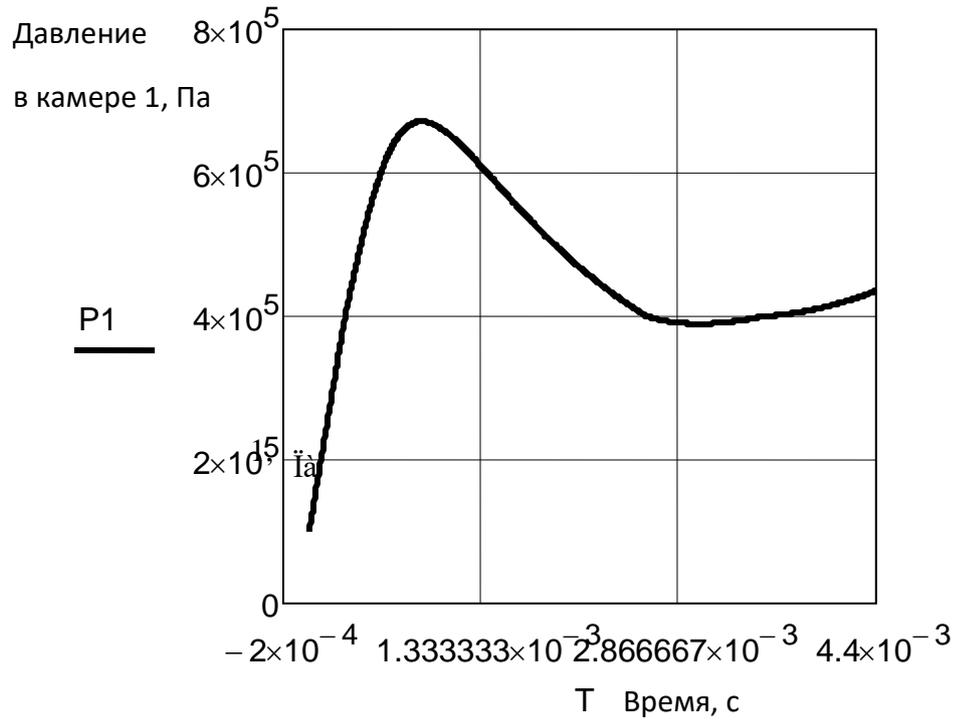


Рисунок 4.8 – График изменения давления в камере

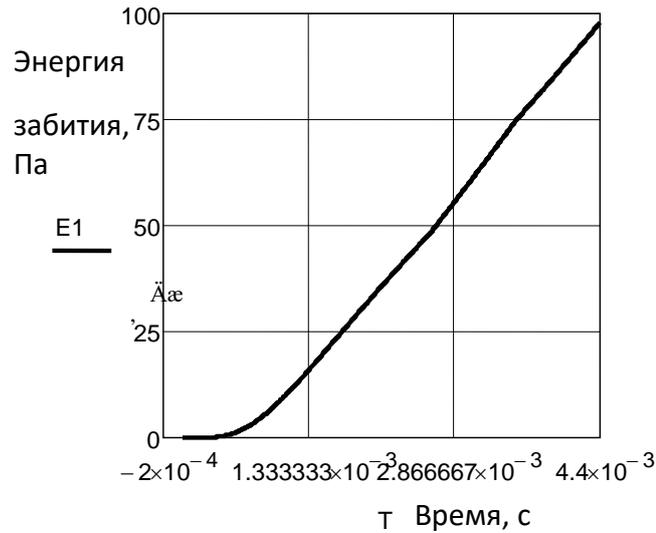


Рисунок 4.9 – График изменения энергии забития

Поскольку технические условия предусматривают диапазон допустимых значений длины дюбель-гвоздя (см. таблицу 4.5), проведем расчет выходной характеристики (энергия забития) для дюбель-гвоздя, вариabельность показателей длины и массы приведена в таблице 4.8. При этом значения массы и длины дюбеля при моделировании энергии забития рассматривались как независимые (некоррелированные) случайные величины.

Таблица 4.8 – Вариabельность показателей дюбель-гвоздя

Длина, м	0,0396	0,0392	0,0388	0,0384
Масса, кг	0,005148	0,005096	0,005044	0004992

Совмещение графиков изменения энергии забития для каждого из вариантов моделирования наглядно продемонстрирует вариabельность процессов и может сделать вывод о разбросе выходной характеристики.

В виду вариabельности характеристик дюбель-гвоздя и поршня пистолета соответственно возникает и вариabельность такого важного показателя процесса забивания дюбелей как энергия забития. Закон распределение вероятности этой энергии в зависимости от изменения параметров дюбеля предполагался нормальным. Его можно охарактеризовать следующими параметрами: средним арифметическим значением энергии, являющимся оценкой математического ожидания, и

рассеянием, характеризуемым стандартным отклонением, являющимся оценкой среднего квадратического отклонения.

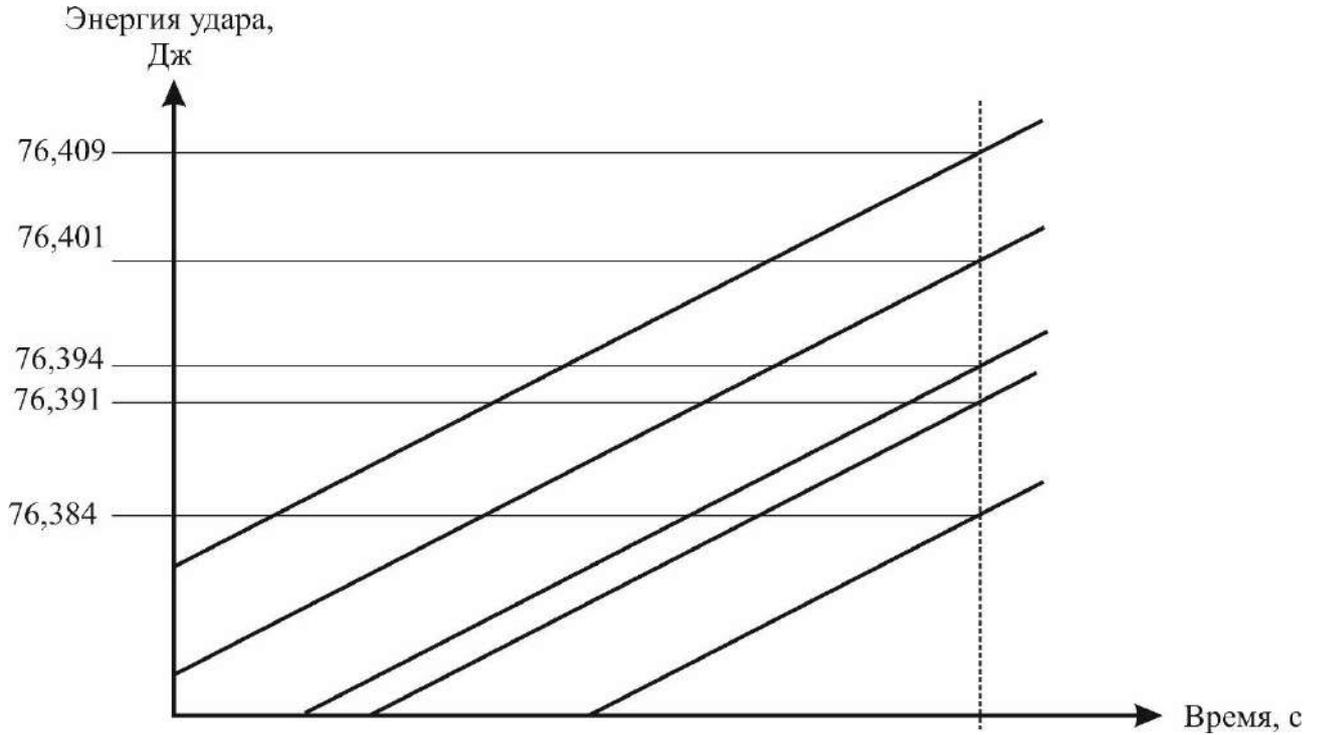


Рисунок 4.10 – График изменения энергии забития пяти моделируемых процессов

По итогам моделирования этой выходной характеристики (см. п. 4.4, рисунок 4.10) указанные выше параметры можно рассчитать следующим образом:

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (4.22)$$

$$S_E = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}, \quad (4.23)$$

n=1...5

Результаты моделирования энергии забития представлены в таблице 4.9 пятью полученными значениями.

Таблица 4.9 – Результаты моделирования вариабельности забития дюбель-гвоздя монтажного пистолета

i	1	2	3	4	5
E_i , Дж	76,384	76,391	76,394	76,401	76,409

Подставив значения энергии E_i в формулы (4.22) и (4.23), получим следующие значения параметров \bar{E} и S_E :

$$\bar{E} = 76,396 \text{ Дж}; S_E = 0,009576 \sim 0,0096 \text{ Дж}$$

Нормальное распределение вероятности с такими показателями будет иметь вид:

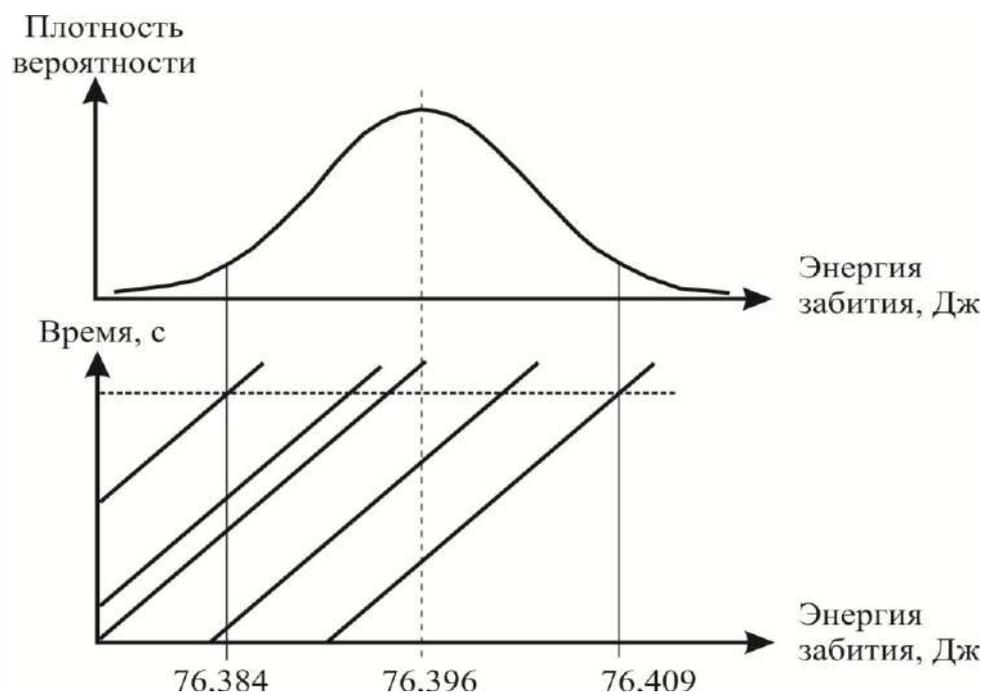


Рисунок 4.11 – График распределения вероятности энергии забития в зависимости от вариабельности параметров дюбель-гвоздя

Из графика видно, что энергия забития находится с некоторой вероятностью в диапазоне значений, симметричном относительно математического ожидания. Вполне возможно, что её случайное попадание в диапазон меньших значений может оказать отрицательное влияние на удовлетворенность потребителя базовым уровнем качества и отказу от дальнейшего использования монтажного пистолета данной модели (рисунок 4.12).

Для снижения такого риска обычно номинальную (среднюю) энергию забития закладывают в параметры пистолета с небольшим запасом (см. рисунок 4.12). При этом оказывается, что нижняя граница значений энергии забития, полученная при моделировании (76,384 Дж), будет «допускать» вероятность брака 0,109 (10,9%).

Это соответствует данным, что примерно в 8-10% случаев происходит неполное забитие дюбеля даже при правильном выборе патрона.

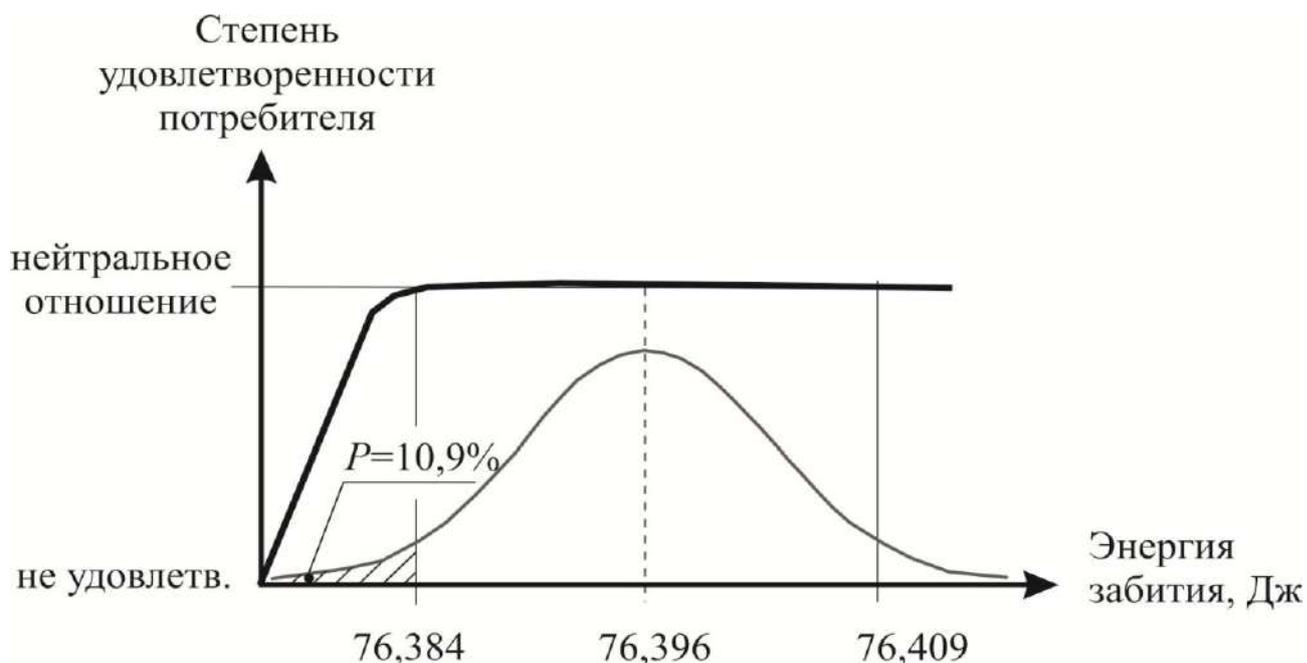


Рисунок 4.12 – График зависимости степени удовлетворенности потребителя от вариабельности энергии забития дюбель-гвоздя до внесения поправок в параметры пистолета

Избежать такой ситуации позволит увеличение энергии забития на 0,01 Дж, при этом риск неполного забития дюбель-гвоздя снизится до 0,028 (2,8%) (рисунок 4.13), что в 3 раза уменьшит потери потребителя по данному дефекту.

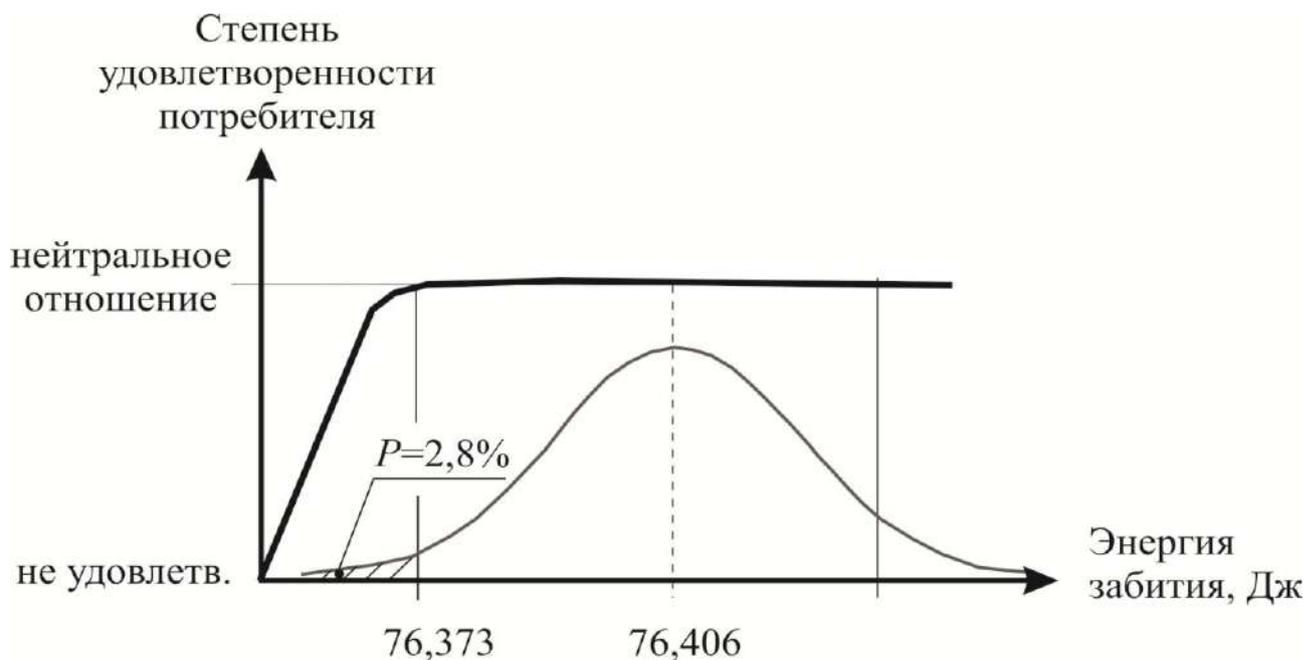


Рисунок 4.13 – График зависимости степени удовлетворенности потребителя от вариабельности энергии забития дюбель-гвоздя после внесения поправок в параметры пистолета

Таким образом, за счет использования методики и введения поправки на значение параметра базового показателя технической совместимости, определенной в соответствии с предлагаемой методикой, риск неудовлетворенности потребителя снизится не менее, чем на 7%, а его потери сократятся почти в 3 раза.

4.5 Пример реализации методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя

В процессе транспортирования, хранения и эксплуатации рассматриваемого пистолета могут возникать различные виды отказов (рисков), которые необходимо оценить, чтобы предпринять соответствующие действия по их снижению или предотвращению.

При применении метода FMEA необходимо определить значимость последствий (S), вероятность возникновения отказа (O) и обнаруживаемость отказа (D). Значения факторов S, O и D определяют с помощью таблиц рангов, в которых для каждого уровня параметра дано описание, которое помогает точно и последовательно выбирать ранг. Таблицы рекомендуемых рангов для факторов S, O, D приведены в таблице 4.10. [59].

Таблица 4.10 – Описание рангов факторов S, O, D

Фактор S	Фактор O	Фактор D
1 – очень низкая	1 – очень низкая	1 – почти наверняка обнаружение дефекта
2 – низкая	2 – низкая	2 – очень хорошее обнаружение
3 – не очень серьезная	3 – не очень низкая	3 – хорошее
4 – ниже средней	4 – ниже средней	4 – умеренно хорошее
5 – средняя	5 – средняя	5 – умеренное
6 – выше средней	6 – выше средней	6 – слабое
7 – довольно высокая	7 – близкая к высокой	7 – очень слабое
8 – очень высокая	8 – высокая	8 – плохое
9 – высокая с предупреждением	9 – очень высокая	9 – очень плохое
10 – катастрофическая	10 – 100%-я	10 – почти обнаружить невозможно

Далее по формуле 3.1 вычисляется RPN для каждой причины отказа.

Результаты FMEA-анализа для технической системы «пистолет монтажный» с учетом профилей качества представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Результаты FMEA-анализа

Этап	Проявление отказа	Причина отказа	Профиль качества	Последствия	S	O	D	RPN
Изготовление	Размеры деталей не соответствуют требованиям КД	Нарушение ТС составных частей изделия (Неправильная настройка оборудования)	Базовый	Детали не пригодны для сборки	8	2	2	32
Хранение	Негодность пистолета и патронов	Нарушение ТС вида «изделие – среда» (Нарушение условий хранения)	Базовый	Пистолет и патроны не пригодны для эксплуатации	9	5	8	360
		Нарушение ТС вида «изделие – тара (упаковка)» (Нарушение условий хранения)	Базовый		8	3	3	72
Транспортирование	Негодность пистолета и патронов	Нарушение ТС вида «изделие-тара (упаковка)» (Нарушение условий транспортирования)	Базовый	Пистолет и патроны не пригодны для эксплуатации	8	3	3	72
Эксплуатация	Плохое крепление материала	Нарушение функциональной ТС (Слишком короткий дюбель)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	7	3	6	126
		Нарушение функциональной ТС (Мягкий материал)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	7	3	3	63
		Нарушение функциональной ТС (Недостаточная мощность патрона)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	7	3	6	126
		Нарушение функциональной ТС (Слишком длинный дюбель)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	7	3	6	126
		Нарушение функциональной ТС (Твердый материал)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	7	3	3	63
		Нарушение функциональной ТС (Твердый материал)	Требуемый	Изгиб дюбеля	7	3	3	63
		Нарушение ТС по надежности (Деформация поршня)	Базовый	Деформация головки дюбеля	7	3	3	63
		Нарушение функциональной ТС (Избыточная мощность патрона)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	7	3	3	63
			Требуемый	Изгиб дюбеля	7	3	3	63
			Требуемый	Поломка дюбеля	7	3	3	63
Требуемый	Деформация головки дю-		7	3	3	63		

Этап	Проявление отказа	Причина отказа	Профиль качества	Последствия	S	O	D	RPN	
				беля					
			Требуемый	Дюбель деформирует материал	7	3	3	63	
	Проблемы при выстреле	Нарушение ТС вида «человек – изделие» (Плохое прижатие пистолета к основанию)	Требуемый	Пистолет не стреляет	8	3	5	120	
		Нарушение ТС по надежности (Пороховой нагар)	Базовый		8	5	2	80	
		Нарушение ТС по надежности (Неисправный ствол)	Базовый		8	4	2	64	
		Нарушение ТС по надежности (Неисправный курок)	Базовый		8	4	2	64	
		Нарушение ТС по надежности (Осечка патрона)	Базовый		8	5	5	200	
		Нарушение ТС по надежности (Повреждение поршня)	Базовый		Снижение мощности выстрела	6	4	5	120
		Нарушение ТС по надежности (Повреждение амортизатора)	Базовый			6	4	5	120

Для базового, требуемого и желаемого профилей качества установим критическую границу ($RPN_{гр}$) равную 125. Предприятия могут назначить свои критические значения при проведении анализа, как например, ОАО «ТВЗ» устанавливает это значение в пределах от 80 до 150, а ГОСТ Р 51814.2-2011 [45] от 100 до 125.

Чем ниже значение $RPN_{гр}$, тем выше требования к качеству и надежности рассматриваемой технической системы.

Анализ таблицы 4.11 показал, что на стадиях жизненного цикла системы «Пистолет монтажный» возможны: нарушения следующих видов ТС составных частей изделия, ТС вида «изделие – среда», ТС вида «изделие – тара (упаковка)», ТС вида «человек – изделие», функциональной ТС, ТС по надежности. Это проявляется в том, что фактическое значение RPN (360; 200; 126) превосходит $RPN_{гр}$ (125), то есть по результатам анализа должны разрабатываться и внедряться корректирующие/предупреждающие действия для снижения или устранения риска последствий пяти причин отказа. Там, где фактическое значение не превосходит

$RPN_{гр}$, считается, что объект анализа не является источником существенного риска и корректирующие/ предупреждающие действия не требуются.

Проведем дополнительный анализ полученных данных с учетом показателя, характеризующего неудовлетворенность потребителя в случае риска возникновения отказов.

В качестве примера примем значение неудовлетворенности потребителя для базового уровня равное 0,7 ($N_B=0,7$), для требуемого уровня - 0,2 ($N_T=0,2$).

Согласно формул (3.3), (3.4), (3.5) рассчитаем обобщенную характеристики риска для каждого профиля качества:

$$RPN_{ГРотн}^B = RPN_{ГРотн}^T = RPN_{ГРотн}^Ж = \frac{125}{125+125+125} = 0,33,$$

Степень воздействия на мнение потребителя при возникновении отказа на базовом и требуемом профиле определим по формулам (3.7) и (3.8) соответственно.

$$P_{неуд.гр..Б} = 0,33 \cdot 0,7 = 0,231$$

$$P_{неуд.гр..Т} = 0,33 \cdot 0,2 = 0,066$$

Результаты FMEA-анализа для технической системы «пистолет монтажный» с учетом показателя, характеризующего неудовлетворенность потребителя в случае риска возникновения отказов, представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты FMEA-анализа с учетом неудовлетворенности потребителя

Этап	Проявление отказа	Причина отказа	Профиль качества	Последствия	RPN	RPN отн.	N	P неуд.	Оче-редн.
Изготовление	Размеры деталей не соответствуют требованиям КД	Нарушение ТС составных частей изделия (Неправильная настройка оборудования)	Базовый	Детали не пригодны для сборки	32	0,256	0,7	0,126	
Хранение	Негодность пистолета и патронов	Нарушение ТС вида «изделие – среда» (Нарушение условий хранения)	Базовый	Пистолет и патроны не пригодны для эксплуатации	360	2,02	0,7	1,4	1
		Нарушение ТС вида «изделие – тара (упаковка)» (Нарушение условий хранения)	Базовый		72	0,57	0,7	0,4	3

Транспортирование	Негодность пистолета и патронов	Нарушение ТС вида «изделие-тара (упаковка)» (Нарушение условий транспортирования)	Базовый	Пистолет и патроны не пригодны для эксплуатации	72	0,57	0,7	0,4	3	
Эксплуатация	Плохое крепление материала	Нарушение функциональной ТС (Слишком короткий дюбель)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	126	1	0,2	0,2		
		Нарушение функциональной ТС (Мягкий материал)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
		Нарушение функциональной ТС (Недостаточная мощность патрона)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	126	1	0,2	0,2		
		Нарушение функциональной ТС (Слишком длинный дюбель)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	126	1	0,2	0,2		
		Нарушение функциональной ТС (Твердый материал)	Требуемый	Недостаточное заглубление дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
		Нарушение функциональной ТС (Твердый материал)	Требуемый	Изгиб дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
		Нарушение ТС по надежности (Деформация поршня)	Базовый	Деформация головки дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
		Нарушение функциональной ТС (Избыточная мощность патрона)	Требуемый	Избыточное заглубление дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
			Требуемый	Изгиб дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
			Требуемый	Поломка дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
			Требуемый	Деформация головки дюбеля	63	0,5	0,2	0,1		
			Требуемый	Дюбель деформирует материал	63	0,5	0,2	0,1		
		Проблемы при выстреле	Нарушение ТС вида «человек – изделие» (Плохое прижатие пистолета к	Требуемый	Пистолет не стреляет	120	0,96	0,2	0,19	

		основанию)							
		Нарушение ТС по надежности (Пороховой нагар)	Базовый		80	0,64	0,7	0,4	3
		Нарушение ТС по надежности (Неисправный ствол)	Базовый		64	0,5	0,7	0,35	4
		Нарушение ТС по надежности (Неисправный курок)	Базовый		64	0,5	0,7	0,35	4
		Нарушение ТС по надежности (Осечка патрона)	Базовый		200	1,6	0,7	1,12	1
		Нарушение ТС по надежности (Повреждение поршня)	Базовый	Снижение мощности выстрела	120	0,96	0,7	0,67	2
		Нарушение ТС по надежности (Повреждение амортизатора)	Базовый		120	0,96	0,7	0,67	2

Анализ таблицы 4.12 показал, что, несмотря на то, что RPN базового профиля (например, 120) не выходит за критическую границу (RPN_{гр}), принятие управленческих решений имеет приоритет второго уровня, так как напрямую зависит от степени воздействия на удовлетворенность потребителя ($P_{неуд.}=0,67$).

В то время, как малая степень неудовлетворенности потребителя отодвигает очередность принятия управленческих решений, несмотря на то, что RPN требуемого профиля (например, 126) выходит за критическую границу (RPN_{гр}).

4.6 Выводы по четвертой главе

1. На примере технической системы «пистолет монтажный», включающей три разнородных элемента (строительно-монтажный поршневой пистолет, монтажный патрон и дюбель-гвоздь), проведена реализация методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы и методикой количественной оценки приоритетности влияния воз-

можных отказов технической системы на мнение потребителя, определяемой профилем качества (базовый, требуемый и желаемый).

2. Установлено, что одним из главных показателей базового профиля системы «пистолет монтажный» является показатель энергетической совместимости элементов, количественной оценкой которого является энергия забития.

3. Математическое описание системы и расчет выходных параметров на примере строительно-монтажного поршневого пистолета ПЦ-84, монтажного патрона Д1 и дюбель-гвоздя ДГ 3,7x40 позволило установить зависимость выходных параметров энергии забития от вариабельности геометрических размеров дюбель-гвоздя и провести расчет параметров при вариации длины дюбель-гвоздя в интервале, определяемой полем допуска.

4. Установлено, что энергия забития находится с некоторой вероятностью в диапазоне значений, симметричном относительно математического ожидания. При проектировании системы обычно номинальную (среднюю) энергию забития закладывают в параметры пистолета с небольшим запасом, при этом нижняя граница значений энергии забития, полученная при моделировании, будет «допускать» вероятность брака 0,109 (10,9%). То есть, примерно в 8-10% случаев происходит неполное забитие дюбеля даже при правильном выборе патрона.

5. Применение методики оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы, позволило обосновать возможность снижения риска неполного забития дюбеля до 0,028 (2,8%), путем увеличения номинального значения энергии забития на 0,01 Дж. Таким образом, за счет введения поправки на значение параметра базового показателя технической совместимости риск неудовлетворенности потребителя снизится не менее чем на 7%, а его потери сократятся почти в 3 раза.

6. Реализация методики количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, определяемой профилем качества (базовый, требуемый и желаемый) позволила: в процессе анализа системы «пистолет монтажный» идентифицировать дополнительные отказы, которые могут нанести ущерб производителю ввиду снижения удовлетворенности

потребителя; пересмотреть приоритетность целей в области качества рассматриваемой технической системы и принять соответствующие управленческие решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная задача совершенствования инструментария обеспечения требуемого уровня технической совместимости элементов технической системы, необходимого для повышения степени удовлетворенности потребителя и обеспечения качества проектирования и производства машиностроительной продукции.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, позволили достичь следующие результаты и сформулировать выводы:

1. На основании проведенного анализа показателей технической совместимости и критериев классификации технических систем разработана матрица применимости показателей технической совместимости для различных типов технических систем. В зависимости от сложности, принципа осуществления рабочего действия, функционального назначения и метода управления технической системой матрица позволяет выбрать базовую номенклатуру ключевых показателей технической совместимости, которые необходимы для формирования профилей качества модели Н. Кано и повышения степени удовлетворенности потребителя.

2. Проанализированы варианты влияния нестабильности производственных процессов на показатели каждого из рассмотренных профилей качества. Предложен инструментарий по минимизации этого воздействия. Сформулированы задачи производителей при назначении наилучших допустимых значений показателей технической совместимости для каждого профиля качества:

2.1 Для показателей базового профиля задачей является определение допустимого значения показателя качества путем нахождения величины его нижнего допустимого значения, так как увеличение качества внутри рассматриваемого профиля не может привести к повышению удовлетворенности потребителей, что позволило снизить риск потребителя с 0,5 до 0,0014.

2.2 Для требуемого профиля допустимые значения показателей качества должны назначаться с учетом их весовой значимости для потребителя и значения

интегрального показателя с учетом суммарных затрат на качество, что позволило снизить потери потребителя на 1,5 %.

2.3 Для желаемого профиля следует учитывать, что слишком большое отклонение уровня качества в меньшую сторону приведет к серьезному снижению спроса при уже сделанных затратах на обеспечение желаемого качества, что позволило снизить потери потребителя на 3,0 %.

3. Разработана и внедрена методика оценки показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества технической системы. Методика позволяет проектировать продукцию машиностроительного назначения, которая будет удовлетворять с одной стороны потенциального потребителя заложенным уровнем качества, с другой стороны — производителя рациональной (не избыточной) номенклатурой показателей технической совместимости без дополнительного усложнения процесса изготовления этой продукции. Внедрение методики в ООО «Стройтехника» повысило удовлетворенность потребителей в среднем на 8%.

4. Разработана и внедрена методика количественной оценки приоритетности влияния возможных отказов технической системы на мнение потребителя, обусловленное профилем качества (базовый, требуемый и желаемый). Методика позволяет выделить дополнительную номенклатуру отказов, возникновение которых приведет к потере удовлетворённости потребителя, и пересмотреть значимость конструкторских и технологических решений при проектировании и производстве продукции, уменьшая риск производителя связанный с снижением уровня удовлетворенности потребителя и как следствие снижения конкурентоспособности продукции.

5. Разработанные методики были реализованы для технической системы «пистолет монтажный», состоящей из строительно-монтажного поршневого пистолета ПЩ-84, монтажного патрона Д1 и дюбель-гвоздя ДГ 3,7x40, что позволило смоделировать условия для снижения риска неудовлетворенности потребителя (не менее 7%) за счет введения поправки на значение параметра базового показа-

теля рассматриваемой технической системы — энергия забития и снизить потери потребителя почти в 3 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю.П. Практика применения методов Тагути в индустриально развитых странах / Ю.П. Адлер // Стандарты и качество. – 1990. – № 9. – С. 54–55.
2. Азгальдов, Г. Г. Квалиметрия для всех: учебное пособие / Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин, В.В. Садоводов. – М.: ИД ИнформЗнание, 2012. – 165 с.
3. Айдаров, Д.В. Вероятностно-статистическое моделирование в вопросах цифровизации процессов управления конкурентоспособностью / Д.В. Айдаров, В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, С.И. Клейменов // Методы менеджмента качества. – 2018. – № 9. – С. 26–32.
4. Айдаров, Д.В. Как создать успешную FMEA-команду? Прогнозируем эффективность / Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Д.В. Антипов // Методы менеджмента качества. – 2018. – № 7. – С. 56–62.
5. Айдаров, Д.В. Оценка конкурентоспособности продукции на основе многомерного исследования показателей качества / Д.В. Айдаров, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, Р.Р. Гафаров // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 4. – С. 30–38.
6. Айдаров, Д.В. Потребительская ценность качества: методология формирования и оценки / Д.В. Айдаров, В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, Д.И. Панюков // Методы менеджмента качества. – 2020. – № 6. – С. 34–41.
7. Айдаров, Д.В. Потребительская ценность качества автомобилей / Д.В. Айдаров, В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, С.А. Шанин // Стандарты и качество. – 2017. – № 12. – С. 76–80.
8. Андрейчиков, А.В. Методы и интеллектуальные системы анализа и синтеза новых технических решений : монография / А.В. Андрейчиков. – М. : РИОР, 2019. — 544 с.
9. Александровская, Л. Н. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем: учебник / Л.Н. Александровская, А.П. Афанасьев, А.А. Лисов. – М.: Логос, 2001. – 208 с.

10. Александровская, Л. Н. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: учебник / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров [и др.]; под ред. В.П. Соколова. – М.: Логос, 2001. – 232 с.

11. Альтшуллер, Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. М.: Моск. рабочий, 1973. 296 с.

12. Аристов, О. В. Управление качеством: учебное пособие для вузов / А.О.В. Аристов. – М: ИНФРА-М, 2006. – 240 с.

13. Балаганский, И. А. Основы баллистики и аэродинамики : учебное пособие / И. А. Балаганский. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 200 с.

14. Барвинок, В.А. Совершенствование процедуры анализа рисков процессов системы менеджмента качества / В.А. Барвинок, А.В. Торгашов, Ю.С. Ключков, А.В. Долгих // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – №4. – С. 355 – 360.

15. Басовский, Л. Е. Управление качеством: учебник / Л.Е. Басовский, В.Б. Протасьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 253 с.

16. Биктимирова, Г. Ф. Применение FMEA для развития конкурентоспособности производителя автокомпонентов [Электронный ресурс] / Г.Ф. Биктимирова // Вестник СГТУ. – 2013. – №2 (71). – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-fmea-dlya-razvitiya-konkurentosposobnosti-proizvoditelya-avtokomponentov>. Дата обращения 23.04.2023.

17. Благовещенский, Д.И. Инструменты комплексных улучшений качества работы предприятий фирменной сети автосервиса / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, Н.Р. Шахов, С.А. Васин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 4. С. 286-293.

18. Благовещенский, Д.И. Ключевые аспекты разработки стандарта оценки качества производства продукции машиностроения глазами потребителя / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков, Р.Р. Гафаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 3. С. 214-219.

19. Благовещенский, Д. И. Новое руководство по FMEA: Функциональный анализ процессов / Д.И. Благовещенский, Д.И. Панюков, В.Н. Козловский // Методы менеджмента качества. 2020. № 11. С. 30-35.

20. Благовещенский, Д. И. Прогнозирование потребительской ценности качества автомобилей / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков // Стандарты и качество. 2021. № 2. С. 96-103.

21. Бойко, А. А. Метод оценки весовых коэффициентов элементов организационно-технических систем / А. А. Бойко, И. С. Дегтярев // Системы управления, связи и безопасности. – 2018. – № 2. – С. 245-266.

22. Бондарь, М. А. Методы принятия управленческих решений [Электронный ресурс] / М.А. Бондарь // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. – 2014. – №14. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metody-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy-1>. Дата обращения 23.04.2023.

23. Бочков, А. П. Модели и методы управления развитием технических систем / А. П. Бочков, Д. П. Гасюк, А. Е. Филюстин. – Санкт-Петербург : Союз, 2003. – 288 с.

24. Буткевич, Р. В. Методические основы количественного оценивания технологических процессов / Р. В. Буткевич, Ю. С. Клочков, Т. С. Яницкая, С. А. Ярыгин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2005. – Т. 7, № 2. – С. 456-463.

25. Буткевич Р.В., Модель формирования уровней профиля качества потребителя / Р.В. Буткевич, Л. П. Платошин // Материалы VIII Всероссийской конференции-семинара «Проектирование, контроль и управление качеством продукции и образовательных услуг». – 2005. – Сызрань: СамГТУ. – С. 33-35.

26. Бутова О. Н. Нарушения в работе АЭС вследствие отказов информационных и управляющих систем по общей причине [Электронный ресурс] / О.Н. Бутова, О.В. Зеленый, В.В. Инюшев, М.А. Ястребенецкий // Радиоэлектронные и компьютерные системы: функциональная безопасность и живучесть. – 2008. – №5 (32). – Режим доступа:

www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2008/REKS508/Butova.pdf. Дата обращения 23.0.2023.

27. Буше, Н. А. Совместимость трущихся поверхностей/Н. А. Буше, В. В. Копытько. М.: Наука, 1981. 127 с.

28. Варжапетян, А. Г. Квалиметрия: учебное пособие / А.Г. Варжапетян. – СПб.: СПбГУАП, 2005. – 176 с.

29. Васин, С. А. Методы оценки технической совместимости разнородных элементов в рамках технической системы / С. А. Васин, А. С. Васильев, Е. В. Плахотникова // Записки Горного института. – 2020. – Т. 243. – С. 329-336.

30. Васин, С. А. Модель обеспечения качества технических систем ответственного назначения / С. А. Васин, Е. В. Плахотникова // Качество и жизнь. – 2019. – № 1(21). – С. 3-7.

31. Ветошкин, А. Г. Надежность технических систем и техногенный риск / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во ПГУАиС, 2003. – 154 с.

32. Волокитина, И.В. Метрологическое обеспечение системы менеджмента качества образовательной деятельности : [монография : авт. ред.] / И.В. Волокитина, В.Б. Протасьев, Е.В. Плахотникова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 132 с.

33. Глудкин, О. П. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин; под. ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 600 с.

34. Глушков, В. М. Типовость и совместимость систем управления / В. М. Глушков, К. Н. Шихаев // Вопросы радиоэлектроники. Сер. общетехн. 1971. Вып. 24. С. 3-9.

35. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2022. – 40 с.

36. ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 19 с.

37. ГОСТ Р 27.303-2021 (МЭК 60812:2018). Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов. – М.: Изд-во стандартов, 2021. – 70 с.

38. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 14 с.
39. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 22 с.
40. ГОСТ 22315-77. Средства агрегатные информационно-измерительных систем. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 10 с.
41. ГОСТ 30372-2017 (IEC 60050-161:1990). Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 66 с.
42. ГОСТ 30709-2002. Техническая совместимость. Термины и определения. – Минск.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 8 с.
43. ГОСТ Р МЭК 31010-2021. Надежность в технике. Методы оценки риска. – М.: Изд-во стандартов, 2022. – 94 с.
44. ГОСТ Р 50530-2015. Патроны к гражданскому и служебному огнестрельному оружию, устройствам производственного и специального назначения. Требования безопасности и методы испытаний на безопасность. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 54 с.
45. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 23 с.
46. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. – М.: Стандартиформ, 2005. – 49 с.
47. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. – М.: Стандартиформ, 2020. – 90 с.
48. ГОСТ Р 58908.1-2020/МЭК 81346-1:2009. Промышленные системы, установки, оборудование и промышленная продукция. Принципы структурирования и коды. – М.: Стандартиформ, 2020. – 78 с.

49. ГОСТ Р 59853-2021. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2021. – 16 с.

50. ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 32 с.

51. ГОСТ Р ИСО 10004-2020. Менеджмент качества. Удовлетворенность потребителей. Руководящие указания по мониторингу и измерению. – М.: Стандартинформ, 2020. – 36 с.

52. Григорович, В. Г. Информационные методы в управлении качеством / В.Г. Григорович, С.В. Юдин, Н.О. Козлова, В.В. Шильдин; под. общ. ред. д.т.н., проф. ТулГУ В.Г. Григоровича. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2001. – 208 с.

53. Дроздов, А.Н. Математические модели ручных машин для строительномонтажных работ с примерами реализации: учебное пособие / А.Н. Дроздов, В.В. Степанов; под ред. Б.Г. Гольдштейна. - М.: МГСУ, 2016. – 149 с.

54. Дроздов, А.Н. Математическое моделирование рабочего процесса гвоздезабивного пистолета / А. Н. Дроздов, А.Н., В. В. Степанов // Механизация строительства. – 2015, №11. – С. 12 - 17.

55. Дроздов, А.Н. Ручные машины для строительномонтажных работ: учебное пособие / А.Н. Дроздов. –М.: МГСУ, 1999. - 259 с.

56. Ермакова, О. В. Анализ зависимости потерь потребителя от условий производства и профиля качества / О. В. Ермакова, О.И. Гольцева, Е.В. Плахотникова // Молодежный вестник Политехнического института: сборник статей. Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. – С. 136-139.

57. Ермакова, О. В. Задачи технической совместимости при проектировании системы «пистолет монтажный» / О. В. Ермакова, Е. В. Плахотникова // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем : сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 27–28 мая 2020 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 85-87.

58. Ермакова, О. В. Определение допустимых значений показателей технической совместимости элементов машиностроительной продукции для различных профилей качества / О. В. Ермакова, Е.В. Плахотникова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 7. – С. 165-169.

59. Ермакова, О. В. Применение FMEA-анализа для оценки рисков системы «монтажный пистолет» с учетом технической совместимости элементов / О. В. Ермакова, Д.Б. Белов, Е.А. Плахотникова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 219-223.

60. Ермакова, О. В. Применимость видов технической совместимости в зависимости от структуры технических систем / О. В. Ермакова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 216-219.

61. Ермакова, О. В. Разработка модели обеспечения качества системы "монтажный пистолет" / О. В. Ермакова, И. В. Литвинова // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении : III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, Тула, 06–08 апреля 2022 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2022. – С. 215-219.

62. Ермакова, О. В. Структурирование функции качества для системы "монтажный пистолет" / О. В. Ермакова, И. В. Литвинова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 8. – С. 3-7.

63. Ермакова, О. В. Управление уровнями стабильности качества продукции с учетом потерь потребителя / О. В. Ермакова, Е.В. Плахотникова // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении : IV Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, Тула, 18–20 апреля 2023 года. – Тула: Тульский государственный университет, 2023. – С. 231-234.

64. Ерошенко, П. Е. Программно-аппаратная несовместимость сложных объектов машиностроения / П. Е. Ерошенко, М. А. Большаков, В. И. Медведев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2013. – Т. 1, № 9. – С. 150-151.

65. Ефимов, В. В. Управление качеством: учебное пособие / В.В. Ефимов. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 141 с.
66. Ефстафьев, И. Н. Тотальный риск-менеджмент / И.Н. Ефстафьев. – М.: Эксмо, 2008. – 208 с.
67. Жирабок, А. Н. Основные понятия теории надежности / А.Н. Жирабок // Соровский образовательный журнал. – 2001. – № 8. – Т. 7. – С. 108-114.
68. Инструкция И 285-2011. Анализ видов и последствий потенциальных дефектов. – Тверь, 2011. – 18 с.
69. Исмагилова, Г. Н. Качественная модель ненасыщаемости потребления благами / Г. Н. Исмагилова, Н. З. Сафиуллин // Казанский экономический вестник. – 2016. – № 4(24). – С. 5-13.
70. Исмагилова, Г. Н. Формирование институтов качества: измерение качества товаров и удовлетворенности потребителей / Г. Н. Исмагилова, Н. З. Сафиуллин // Казанский экономический вестник. – 2015. – № 1(15). – С. 34-42.
71. Калейчик, М. М. Квалиметрия: учебное пособие / М.М. Калейчик. – 5-е изд., стереотип. – М.: МГИУ, 2007. – 200 с.
72. Калушко, В. А. Прикладной опыт управления рисками организации машиностроительного комплекса / В. А. Калушко, И. Е. Малеванная, А. А. Капустянов // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 19 мая 2021 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2021. – С. 42-53.
73. Калушко, В. Актуальность применения практик риск-менеджмента на производстве / В. Калушко, А. П. Русин // Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики : Сборник статей II Международной научно-практической конференции молодых ученых, Екатеринбург, 21 апреля 2020 года. – Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2020. – С. 125-130.
74. Каменев, А. Ф. Технические системы: закономерности развития / А. Ф. Каменев. Л.: Машиностроение. Ленингр.отд-ние, 1985. 216 с.

75. Кириллов, Н. П. Признаки класса и определение понятия технические системы / Н. П. Кириллов // Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – № 8. – С. 32-37.

76. Косаревская, А. В. Квалиметрическая оценка управленческих решений в системе менеджмента качества: дис... канд. техн. наук: 05.02.23 / Косаревская Анастасия Владимировна. – Тула, 2010. – 141 с.

77. Костерев, В. В. Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие / В.В. Костерев. – М.: МИФИ, 2008. – 280 с.

78. Леон, Р. Управление качеством. Робастное проектирование. Методы Тагути: пер. с англ. / Р. Леон, А. Шумейкер, Р. Какар, Л. Кац и др. – М.: «СЕЙФИ», 2002. – 384 с.

79. Литвак, Б. Г. Разработка управленческого решения: учебник / Б.Г. Литвак. – 3-е изд., испр. – М.: Дело, 2002. – 392 с.

80. Матвеевский, В. Г. Надежность технических систем: учебное пособие / В.Г. Матвеевский. – М.: Москов. гос. ин-т электроники и математики, 2002. – 113 с.

81. Махитько, В. П. Методы оценки показателей надежности изделий по результатам испытаний и эксплуатации / В.П. Махитько, В.Г. Засканов, М.В. Савин // Известия Самар. науч. центра Рос. акад. наук. – 2011. – №6. – Т. 13. – С. 293-299.

82. Медведев, В. И. Об обеспечении качества и эффективности сложных изделий машиностроения с учетом их технической совместимости / В. И. Медведев // Решетневские чтения. – 2012. – Т. 1. – С. 22-23.

83. Москвичева Е. Л. Разработка методики управления качеством процессов проектирования и производства удлиненных кумулятивных зарядов: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.02.23 / Е.Л. Москвичева. – Самара, 2008. – 16 с.

84. Муллин, А. М. Совместимость как один из путей повышения эффективности систем «человек-машина» / А. М. Муллин, В.И. Медведев // Современные техника и технологии (СТТ-2004): материалы докл. Междунар. конф., Томск, 2004. С. 105-107.

85. Муха, Ар. А. Управление процессом разработки сложных технических систем и процессов. Особенности применения FMEA-анализа / Ар.А. Муха // Математические машины и системы. – 2012. – №2. –Том 1. – С. 168-176.

86. Непомилуев, В.В. Применение модели с пятью разрывами к оценке качества продуктов производства [Текст] / В.В. Непомилуев, Е.Ю. Соколова И Менеджмент качества продукции и услуг: материалы 3-й международной научно-технической конференции. - Брянск: БГТУ. - 2010. - Т. 2. - С.243-245.

87. Носенков, А. А. Научное обеспечение совместимости современной техники / А. А. Носенков, М. В. Елфимова, М. И. Антипин // Энергия: экономика, техника, экология. – 2018. – № 3. – С. 75-80.

88. Носенков, А. А. О закономерностях технической совместимости / А. А. Носенков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2005. – № 3. – С. 234-238.

89. Носенков, А. А. Совместимость как первооснова качества техники / А. А. Носенков//Проблемы обеспечения качества изделий в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. /КрПИ. Красноярск, 1994. С. 423-430.

90. Носенков, А. А. Совместимость технических систем : учебное пособие для студентов технических специальностей / А. А. Носенков, В. И. Медведев, А. М. Муллин ; А. А. Носенков, В. И. Медведев, А. М. Муллин ; Федеральное агентство по образованию, Сибирский гос. аэрокосмический ун-т им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск : Сибирский гос. аэрокосмический ун-т им. М. Ф. Решетнева, 2005. – 111 с.

91. Носенков, А. А. Техническая совместимость: практика, наука, проблемы : монография / А. А. Носенков ; А. А. Носенков ; Федер. агентство по образованию Сиб. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2005.

92. Носенков, А. А. Техническая совместимость приборов как основа эффективности и качества систем / А. А. Носенков, В. И. Медведев, Е. Н. Сухарев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2008. – Т. 51, № 8. – С. 33-36.

93. Одесс, В. Ценностной фактор – важнейший элемент конкурентоспособности продукции, реализуемой на товарном рынке / В. Одесс // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2011. – № 2. – С. 184–185.

94. Орлов, А.И. Экспертные оценки: учебное пособие / А.И. Орлов. – М.: Высш. шк., 2002. – 31 с.

95. Острейковский, В. А. Теория систем: учебник для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 1997. – 240 с.

96. Парфеньева, И. Е. Оценка качества технологических процессов в системе менеджмента качества организации / И. Е. Парфеньева, А. А. Шмелева // Технические науки - от теории к практике. – 2015. – № 44. – С. 119-129.

97. Пивоварова, К.Г. Методология управления показателями качества метизной продукции с элементами робастного проектирования / К.Г. Пивоварова, А.Г. Корчунов // Черные металлы. – 2020. – № 12 (1068). – С. 38-43.

98. Пивоварова, К.Г. Оптимизация технологических параметров производства калиброванного проката с использованием метода Тагути / К.Г. Пивоварова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 6. – С. 280-285.

99. Пивоварова, К.Г. Разработка методологии управления показателями качества метизной продукции / К.Г. Пивоварова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. – Т.1. – С. 199.

100. Пивоварова, К.Г. Управление показателями качества метизной продукции с использованием принципов робастного проектирования / К.Г. Пивоварова, А.Г. Корчунов // Современные проблемы и перспективы развития науки, техники и образования. Материалы I Национальной научно-практической конференции. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. – С. 720-723.

101. Пистолет монтажный поршневой ПЦ-84. Руководство по эксплуатации. Москва. 18 с.

102. Плахотникова, Е. В. Повышение качества электродинамических систем «запорная арматура – электропривод» для трубопроводов АЭС с газовым теплоносителем: монография / Е.В. Плахотникова. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – 123 с.

103. Плахотникова, Е. В. Практический опыт обеспечения качества технических системы при взаимодействии производителей в общем потоке создания ценности конечного продукта / Е. В. Плахотникова, С. А. Васин // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2017. – № 1. – С. 37-39.

104. Плахотникова, Е. В. Современные проблемы управления качеством при производстве технических систем / Е. В. Плахотникова // Стандарты и качество. – 2015. – № 9. – С. 102-103.

105. Половко, А. М. Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 704 с.

106. Пономарев, С. В. Подходы к оценке рисков в менеджменте качества [Электронный ресурс] / С.В. Пономарев, И.Н. Исаева // Вопросы современной науки и практики. – 2008. – № 4 (14). – Режим доступа: http://vernadsky.tstu.ru/pdf/2008/04g/19g_14.pdf. Дата обращения 02.04.2023.

107. Пономарев, С. В. Управление качеством продукции. Инструменты и методы менеджмента качества: учебное пособие / С.В. Пономарев, С.В. Мищенко, В.Я. Белобрагин, В.А. Самородов, Б.И. Герасимов, А.В. Трофимов, С.А. Пахомова, О.С. Пономарева. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. – 248 с.

108. Протасьев, В. Б. Некоторые аспекты качества принимаемых технических решений / В.Б. Протасьев, А.В. Косаревская // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – №3. – С. 247-253.

109. РТМ 36.6-87 Инструмент пороховой. Типы. Технические данные, область применения.– М.: НПО Электромонтаж, 1988. – 13 с.

110. Рубин, Г. Ш. Системный анализ в стандартизации. Стандартизация как форма взаимодействия систем / Г.Ш. Рубин, Ю.В. Данилова, М.А. Полякова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 4 (52). – С. 100-105.

111. Салимова, Т. А. Управление качеством: учебник по специальности «Менеджмент организации» / Т.А. Салимова. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во «Омега-Л», 2008. – 414 с.
112. Самохвалов, В. П. Модель современной процедуры FMEA / В. П. Самохвалов, Д. А. Борисова, С. С. Материкина, Е. В. Инчина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4-4. – С. 817-822.
113. Сафиуллин, Н. З. Теория многомерных рынков в условиях преобразования российской экономики / Н. З. Сафиуллин // Актуальные проблемы экономики и права. – 2007. – № 1. – С. 51-55.
114. Соловьев, С. И. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие / С.И. Соловьев, Б.И. Сотова, И.Э. Аверьянова, Д.Б. Белов, А.М. Мелай. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 167 с.
115. Сухова, Т. С. Разработка методики управления качеством перспективных изделий ракетно-космической техники на ранних этапах их создания: автореф. дис. ... канд.техн. наук: 05.02.23 / Т.С. Сухова. – М., 2008. – 22 с.
116. ТУ 7272-009-07512447-2001 Патроны монтажные. Технические условия. – Новосибирск: ОАО НЗНВА, 2001. – 85 с.
117. Хубка, В. Теория технических систем / В. Хубка. – М.: Мир, 1987.– 208 с.
118. Шишкин, И. Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: учеб. для вузов / И.Ф. Шишкин; под. ред. акад. Н.С. Соломенко. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 342 с.
119. Шишмарев, В. Ю. Надежность технических систем: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издат. центр «Академия», 2010. – 304 с.
120. Шубин, Р. А. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Р.А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2012. – 80 с.
121. Шушерин, В. В. Средства и методы управления качеством: учебное пособие / В.В. Шушерин, С.В. Кортов, А.С. Зеткин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 202 с.

122. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mash-xxl.info/page/050235148238248160177032093152179216052214051192/>.
Дата обращения 06.03.2023.

123. Chapman Ch. and St. Stephen Ward, 2003. Project Risk Management Processes Techniques and Insights. John Wiley & Sons – P. 55-76.

124. Plakhotnikova, E. V. Ensuring compatibility as an element of a technical system life cycle management / E. V. Plakhotnikova, S. A. Vasin, O. V. Ermakova // Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, 23–24 апреля 2020 года. – Saint Petersburg, 2021.

125. Vasin, S. A. Compatibility of Components in Complex Systems / S. A. Vasin, A. A. Malikov, E. V. Plakhotnikova // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38, No. 11. – P. 872-875.

Приложение А

Акт использования результатов диссертационного исследования



Российская Федерация

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«СТРОЙТЕХНИКА»



ИНН 7114005816, КПП 711401001, ОГРН 1027101374871
301767, Россия, Тульская область, г. Донской, мкр. Центральный, ул. Октябрьская, д. 105
тел/факс: (48746) 5-04-72, e-mail: info@donkran.ru, www.donkran.ru

АКТ

использования результатов диссертационного исследования

Ермаковой Ольги Владимировны

Настоящим актом удостоверяется, что в ООО «Стройтехника» при производстве грузоподъемных машин использованы следующие результаты научных исследований, проведенных О.В. Ермаковой:

- комплекс предложений для повышения качества технических систем на стадии проектирования;
- методика оценки соответствия показателей технической совместимости профилям качества продукции;
- методика оценки приоритетности влияния возможных отказов на мнение потребителя, обусловленной профилем качества (базовый, требуемый и желаемый).

В результате практической реализации в ООО «Стройтехника» результатов диссертационного исследования О.В. Ермаковой в виде комплекса предложений по повышению качества продукции на основе предлагаемых методик при оценке показателей технической совместимости в соответствии с профилем качества и количественной оценке степени воздействия на мнение потребителей возможных отказов на базовом, требуемом и желаемом профилях качества продукции, достигнуто повышение на 7-10 % степени удовлетворенности потребителей выпускаемых предприятием мостовых кранов.

Главный инженер проекта



Г.В. Абрамов

15.06.2023г.