

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

*А.Я. ДМИТРИЕВ, Ю.А. ВАШУКОВ, Т.А. МИТРОШКИНА*

## РОБАСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего образования укрупненной группы направлений и специальностей 24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника

Самара  
Издательство СГАУ  
2016

УДК 629.7(075)

ББК 68.53я7

Д 534

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. СГАУ А. Н. К о п т е в,  
канд. техн. наук В.Н. Р о д и о н о в

*Дмитриев, Александр Яковлевич*

Д534 **Робастное проектирование и технологическая подготовка производства изделий авиационной техники: учеб. пособие / А.Я. Дмитриев, Ю.А. Ващуков, Т.А. Митрошкина.** – Самара: Изд-во СГАУ, 2016. – 76 с.

**ISBN 978-5-7883-1070-1**

В пособии представлены современные робастные методы управления качеством и рисками на этапе разработки продукции и технологических процессов: развертывание функции качества QFD, анализ видов и последствий потенциальных несоответствий FMEA. Приведены основные понятия и принципы методов QFD, FMEA, метода Тагути. Изложены с единых позиций устойчивости: методика и процедура преобразования голоса потребителя (требований) в технические характеристики продукции, компонентов, параметры технологического процесса, операции (QFD); методика и процедура анализа рисков конструкции и технологических процессов на основе метода FMEA. Приведены вопросы для самостоятельной работы.

Предназначено для бакалавров/магистров, обучающихся по направлениям 24.03.04/24.04.04 Авиастроение (магистерская программа «Инновационные технологии и управление качеством в авиастроении»), 38.03.02/38.04.02 Менеджмент, 27.03.02 Управление качеством и специальностей 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение, 24.05.02 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов.

Разработано на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении.

УДК 629.7(075)

ББК 68.53я7

ISBN 978-5-7883-1070-1

© СГАУ, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. РОБАСТНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОДУКЦИИ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	10
1.1. Методология робастного проектирования .....	10
1.2. Параметрическое проектирование для улучшения характеристик изделия .....	16
1.3. Проектирование параметров для улучшения проектирования процесса.....	21
1.4. Резюме по главе 1 .....	22
1.5. Вопросы для самостоятельной работы.....	23
2. МЕТОД РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА .....	24
2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ QFD .....	24
2.2. Последовательность QFD и источники информации.....	29
2.3. Реализация метода разворачивания функции качества .....	33
2.4. Резюме по главе 2 .....	38
2.5. Вопросы для самостоятельной работы.....	39
3. АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ .....	40
3.1. Основные положения FMEA.....	40
3.2. Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции (DFMEA).....	49
3.3. Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий процесса (PFMEA) .....	57
3.4. Резюме по главе 3.....	65
3.5. Вопросы для самостоятельной работы.....	66
ГЛОССАРИЙ.....	67
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ А ФОРМА QFD .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ QFD .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Авиационная промышленность является одной из стратегических отраслей России. Целью государственной программы Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013–2025 годы» является «создание высококонкурентной авиационной промышленности и закрепление ее позиции на мировом рынке в качестве третьего производителя по объемам выпуска авиационной техники». Высокая эффективность разработки авиационной продукции и управления качеством на основе выполнения требований стандартов и методов менеджмента качества является важнейшим направлением повышения конкурентоспособности продукции и отечественных предприятий авиационной промышленности.

Особенности современного самолётостроительного производства определяют характеристики авиационной техники, и, следовательно, процедура подготовки производства перспективных авиационных комплексов (ПАК) определяется ее характеристиками [8 – 11].

Технология самолётостроительного производства определяется характеристиками агрегатов, узлов и деталей планера и бортовых систем, которые создаются на заготовительно-штамповочном производстве, на механическом производстве деталей каркаса планера, на механическом производстве узлов и агрегатов бортовых систем, на агрегатно-сборочном производстве, на сборочно-сварочном производстве узлов коммуникаций гидрогазовых систем, на производстве агрегатов и панелей электрорадиосистем, на производстве узлов коммуникаций электрорадиосистем, в цехах общей сборки, в аэродромном цехе самолётостроительного производства. В отличие от других изделий машиностроения, ПАК обладает рядом специфических особенностей, которые отражаются на технологиях перечисленных производств авиационного предприятия.

**Многодетальность самолёта.** Количество деталей узлов в конструкции среднестатистического ПАК (не считая нормалей) достигает ста тысяч единиц и более. Эта особенность самолёта влечет за

собой при постановке изделия на производство необходимость разработки многочисленных и разнообразных технологических процессов, специальной заготовительной, механической, сборочной, сварочной, монтажной, испытательной оснастки и оборудования.

**Большая номенклатура используемых материалов и полуфабрикатов.** До 60 % общего количества деталей ПАК изготавливается из различных полуфабрикатов из алюминиевых, магниевых и титановых сплавов различных марок, до 15 % – из легированных и коррозионно-стойких сталей. Остальная часть деталей и узлов изготавливается из полимерных композиционных материалов по специальным технологиям. При проектировании заготовительного оснащения необходимо учитывать специфику всей многочисленной номенклатуры полуфабрикатов и материалов.

**Сложность пространственных форм и высокие требования по точности к аэродинамическим обводам.** Большинство деталей ПАК имеют значительные габаритные размеры и обладают малой жесткостью, что создает трудности получения точных размеров в процессе изготовления деталей и сборки из них узлов и агрегатов. Существуют требования обеспечить на 100 % агрегатную взаимозаменяемость, суть которой заключается во взаимной увязке агрегатных стыков (вилчатых, фланцевых, телескопических) с аэродинамическим контуром агрегата и с системой координат самолёта. Реальность на сегодняшний день такова, что возможности по обеспечению точности деталей в заготовительно-штамповочном производстве ниже, чем требуемая точность собранных узлов и агрегатов планера и бортовых систем.

**Высокие требования к качеству самолета в целом и его отдельным элементам.** Качество ПАК как объекта производства представляет собой комплекс его геометрических характеристик и технических характеристик и показателей. Например, допуски на геометрические характеристики узлов и агрегатов планера и бортовых систем в ряде случаев составляют десятые доли миллиметра, а на стыковые поверхности соответствуют девятому или восьмому качеству, а

в отдельных случаях седьмому качеству. Для удовлетворения данных требований необходимо обеспечить технологичность конструкции планера и бортовых систем и возможность изготовления деталей, узлов и агрегатов изделия на производстве с заданной технически и экономически обоснованной степенью точности.

***Большая трудоемкость сборочных, монтажных и испытательных процессов.*** Она составляет до 60 % от общей трудоемкости при производстве ПАК. Для выполнения указанных процессов существует необходимость использовать специализированное и специальное оборудование: скобы, прессы и автоматы для групповой клепки, машины для электроконтактной сварки, машины для сборки жгутов, стенды для общей сборки, стенды для отработки и испытаний систем и др. Оборудование снабжено СЧПУ, и его применение требует разработки специальных управляющих программ.

***Частая смена объектов производства.*** Непрерывное повышение требований к лётно-техническим характеристикам ПАК вызывает необходимость их постоянного модифицирования на базе последних достижений науки и техники. При этом постоянно вносятся изменения в конструкцию деталей, узлов и агрегатов даже серийных образцов. Эти изменения отражаются в используемом на всех производствах предприятия технологии и оснащении.

***Применение покупных узлов и агрегатов.*** Широкий спектр технологических характеристик узлов и агрегатов самолёта экономически обуславливает широкое привлечение предприятий-поставщиков комплектующих изделий. Это вызывает дополнительные сложности при согласовании поставляемых изделий и оснащения для их производства с изделием, выпускаемым на авиастроительном предприятии.

***Большой объем работ по подготовке производства.*** Постановка на производство ПАК является сложной и трудоемкой задачей. Это обусловлено вышеперечисленными особенностями.

Высокая эффективность разработки авиационной продукции и управления качеством на основе выполнения требований стандартов

и методов менеджмента качества является важнейшим направлением повышения конкурентоспособности продукции и отечественных предприятий авиационной промышленности. При этом ключевой задачей планирования качества является разработка необходимой продукции на основе ожиданий потребителей и параметрической идентификации качества продукции (определения целевых значений характеристик продукции и параметров процессов) [12]. От решения этой задачи зависят дальнейшие этапы жизненного цикла продукции, эффективность и в конечном итоге конкурентоспособность организации (рис. В1).

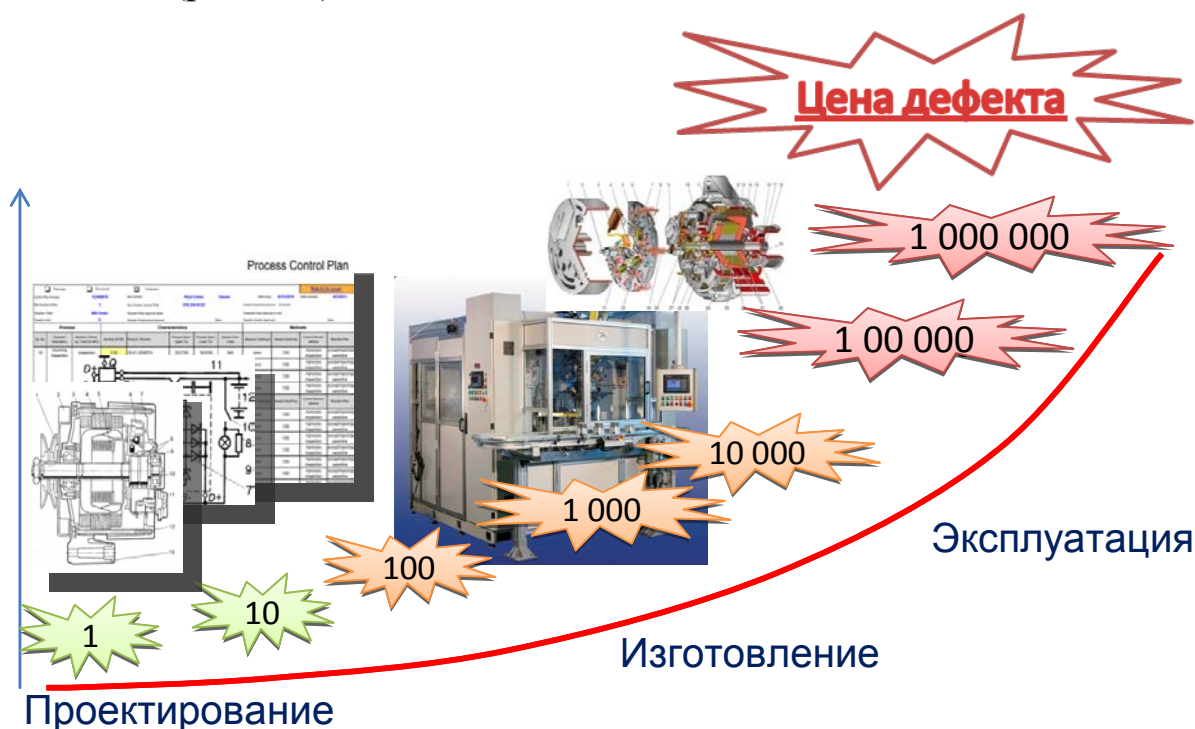


Рис. В1. Правило 10-кратного увеличения затрат на устранение дефекта

Современным подходом к проектированию и подготовке производства авиационной техники является ассоциативное проектирование с использованием CAD/CAM-систем. Внедрение ассоциативного параметрического проектирования позволит проводить совместную параллельную конструкторско-технологическую обработку изделия для выбора наиболее эффективного технологического метода (штамповки, механической обработки, сборки, сварки), для выбора рационального оснащения и подбора соответствующего оборудования (рис. В2).

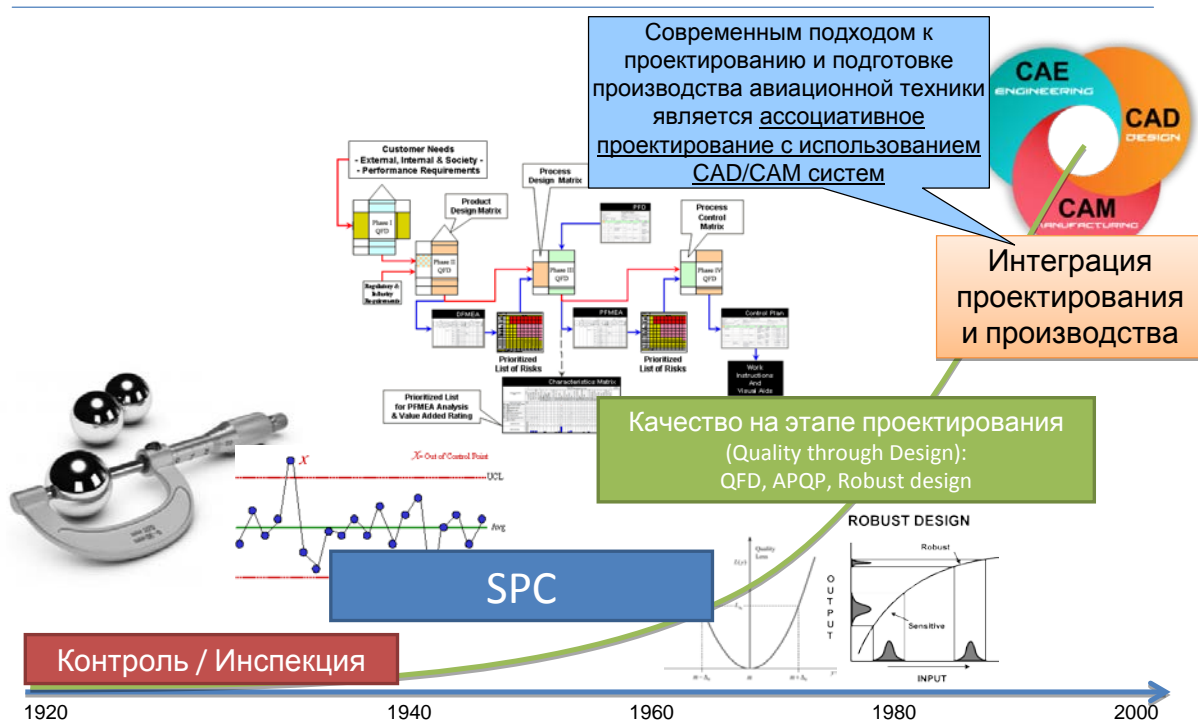


Рис. В2. Развитие подходов к обеспечению качества продукции

В настоящий момент международной аэрокосмической группой IAQG разрабатывается стандарт перспективного планирования APQP. Аналогичный стандарт уже действует в автомобильной промышленности (рис. В3) [6, 7, 14, 15].

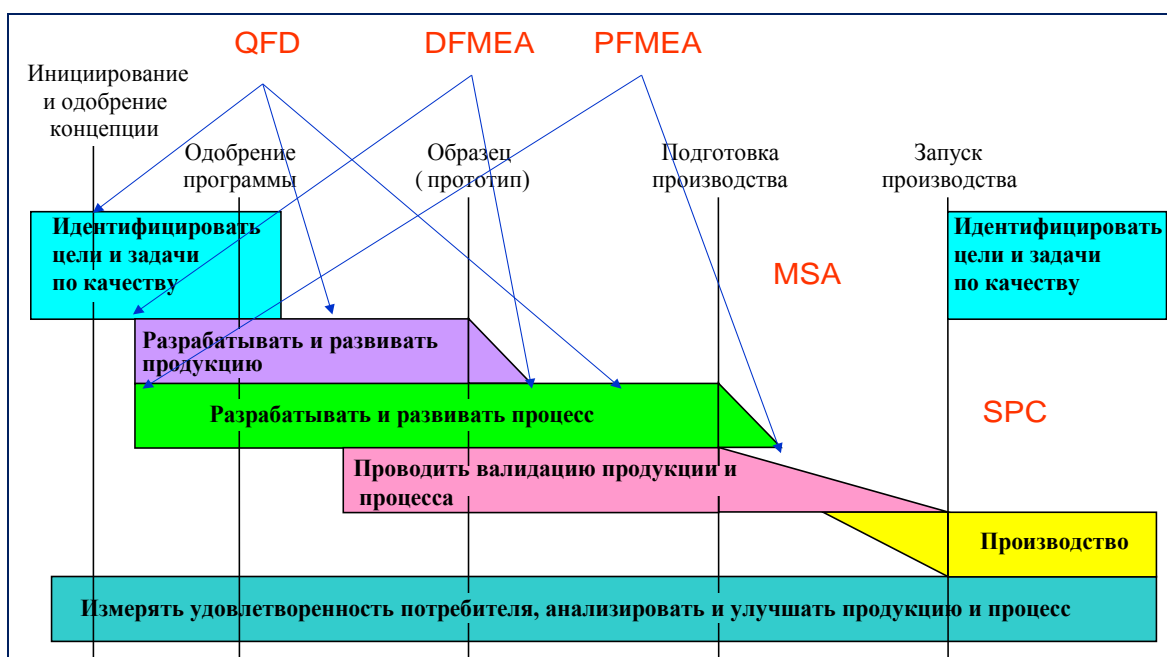


Рис. В3. Процессы и основные методы APQP в автомобильной промышленности



Реализация требований международных стандартов ИСО 9001, ИСО/ТУ 16949, ИСО 14001, AS 9100, OHSAS 18001, а также применение методов менеджмента качества «развертывание функции качества» (QFD), «анализ видов, причин и последствий потенциальных несоответствий» (FMEA) и других являются организационными инновациями и направлены на помощь организациям в развитии или усовершенствовании базовой системы менеджмента, чтобы обеспечить постоянное улучшение организации [1–6, 13]. Основным элементом QFD является именно развёртывание требований потребителя в производстве и достижение соответствующих технических характеристик, отвечающих ожиданиям потребителя. То есть речь в данном случае идёт о подготовке производства к выпуску нового изделия с сокращением сроков подготовки производства на 30–50 % [13, 18, 19, 25, 29, 34, 35].

Успешное внедрение инновационных технологий в большой степени зависит от системы управления предприятием. Инновации в системе управления предприятием на основе лучших мировых достижений, закреплённых в международных стандартах и методах менеджмента качества, существенно повышают результативность как новых, так и существующих технологий и в целом повышают конкурентоспособность предприятий.

# **1. РОБАСТНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОДУКЦИИ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

## **1.1. Методология робастного проектирования**

Этап проектирования изделия играет огромную роль при планировании и обеспечении качества. При этом одним из актуальных инструментов разрешения проблем, возникающих на этом этапе, является подход или методы Г. Тагути. В настоящее время работ отечественных ученых и специалистов, посвященных развитию и применению методов Тагути, совсем немного. В то же время с конца 1980-х годов методы Тагути находят широкое применение как на востоке, так и на западе [12, 16].

Наиболее полно подход к обеспечению качества, сущность которого состоит в создании робастных (т.е. устойчивых к мешающим воздействиям) систем путем минимизации вариаций показателей качества по объективному критерию робастности под названием «отношение сигнал/шум», изложен в монографии специалистов из США и Японии [16], посвященной обеспечению качества промышленной продукции методами робастного проектирования.

Шухарт еще в 20-е годы XX столетия, закладывая основы статистических методов контроля качества, указал, что изменчивость – неизбежный факт. Эволюция методов контроля качества вела ко все более эффективным мерам против нежелательной изменчивости. Работа Тагути является главной в этой эволюции.

Эволюция методов контроля качества включает три этапа: 1) проверка/технический контроль изделия, 2) контроль производственного процесса, 3) усовершенствование методов проектирования изделий и процессов. Проверка может отсеять негодные изделия до того, как они приходят к покупателю, и обеспечить обратную связь с производством. Проверка не улучшает качество изделия. Контроль производственного процесса, в свою очередь, помогает его совершенствовать, однако требует денежных затрат. Методы усовершен-

ствования проектирования процесса, такие как параметрическое проектирование, могут уменьшить несовершенства производства без увеличения затрат. Несοвершенства производства – один из факторов, влияющих на качество изделия.

Цель методов усовершенствования проектирования изделия – сделать выходные характеристики изделия нечувствительными к переменным окружающей среды, деградации изделия и несовершенствам производства. Улучшение проектирования изделия и процесса его производства позволяет уменьшить затраты на производство и эксплуатацию изделия.

Статистические методы проверки и контроля производственного процесса развиваются более 70 лет. Тагути применил статистические методы планирования эксперимента для улучшения проектирования изделия. Он дал мощный импульс дальнейшим исследованиям статистических методов улучшения проектирования изделий и стимулировал более широкое применение существующих методов.

Концепция Тагути включает целый ряд ключевых моментов, среди которых принцип робастного проектирования и функция потерь качества. Цикл жизни любого товарного продукта Тагути разделил на две неравные части. Первая – разработка и внедрение изделия – все то, что предшествует производству изделия. Вторая – собственно производство и эксплуатация. Проблемами качества надо начинать заниматься на первом этапе и чем раньше, тем лучше. Именно тогда появляется возможность не ужесточать контроль и не использовать очень совершенное, а значит, и очень дорогое оборудование, а построить процесс проектирования и производства продукции так, чтобы ее характеристики были в наименьшей степени подвержены разбросу/изменчивости из-за несовершенства самого производственного процесса, изменчивости условий окружающей среды, неоднородности сырья и других факторов, неизбежных при производстве и эксплуатации продукции.

Технологической основой робастного проектирования является планирование эксперимента (DoE). Это широко известная концеп-

ция, современный вариант которой возник в 1920-е годы в Великобритании и связан прежде всего с именем Р. Фишера. При этом распространение и эффективность метода DoE в Японии гораздо выше, чем в США и России.

Особенности подхода Тагути к планированию экспериментов заключаются в ограничении только ортогональными планами, по возможности без эффектов взаимодействия. Кроме того, он предпочитает насыщенные или близкие к насыщенным планы, а при обработке результатов эксперимента предпочтение отдается графическим методам или в крайнем случае дисперсионному, а не регрессионному анализу. Все эти предпочтения обуславливают весьма немногочисленный класс планов и процедур их анализа, что весьма упрощает проблему выбора для экспериментатора.

Тагути предлагает разделить факторы на группы так, чтобы в одной из них оказались факторы, ответственные за основной отклик («номинал»), а в другой – ответственные за разброс. Для выявления этих групп Тагути вводит новый обобщенный отклик, который он называет «отношение сигнал/ шум». Это отношение – близкий родственник хорошо известного коэффициента вариации. Следовательно, исходная задача разбивается на две независимые оптимизационные процедуры: одну для номинала, а вторую для разброса. А поскольку они осуществляются в разных пространствах, результаты их просто «склеиваются», что и дает искомый устойчивый, или робастный, режим.

Аналогичным образом предлагается разрабатывать и само изделие, и оборудование, на котором оно будет производиться, и технологию производства. Таким образом достигается широкое методологическое единство.

### ***Функция потерь качества***

Другая важная особенность подхода Тагути – систематическое использование так называемой функции потерь качества, учитывающей потери потребителя, связанные с качеством изделий.

Анализ допусков и особенности динамики объектов часто не позволяют исследователю непосредственно экспериментировать с самим объектом. Тогда на помощь приходит так называемый машинный имитационный эксперимент, т.е. эксперимент на объекте заменяется экспериментом на математической модели этого объекта. Во многих случаях, например в космических исследованиях, имитационное моделирование – единственная возможность получения практически важных результатов на этапе разработки изделий. При переходе от разработки продукции к ее промышленному производству Тагути вводит новые индексы воспроизводимости процессов и новые способы вычисления дисперсий и квадратичных ошибок, создающие новые возможности.

### ***Трехстадийный подход к установлению значений параметров изделия и процесса***

Тагути ввел трехстадийный подход к установлению номинальных значений параметров изделия и процесса и допусков на них: системное проектирование, параметрическое проектирование и проектирование допусков.

Системное проектирование – процесс применения научных и инженерных знаний к разработке модели изделия. Модель изделия определяет начальные значения параметров изделия (или процесса). Системное проектирование включает учет как требований потребителя, так и производственных условий. Изделие не удовлетворит требованиям потребителя, если они не учитываются при проектировании. Подобным же образом проектирование процесса изготовления требует понимания условий производства.

Параметрическое проектирование – процесс идентификации таких значений параметров изделия (или процесса), которые уменьшают чувствительность конструкции к источникам изменения параметров.

Использование нелинейных влияний параметров изделия (или процесса) на выходные характеристики для уменьшения чувствительности инженерных разработок к источникам разброса составляет

существо параметрического проектирования. Поскольку параметрическое проектирование уменьшает вариацию выхода путем уменьшения влияния источников разброса эффективней, чем с помощью их контроля, оно является высокоэффективным методом для улучшения инженерных разработок.

Проектирование допусков – процесс определения допусков вблизи номинальных значений, которые идентифицированы с помощью параметрического проектирования. Общая практика в промышленности – назначение допусков скорее с помощью договоренности, чем научным путем. Допуски, которые слишком узки, связаны с увеличением производственных затрат, а слишком широкие допуски увеличивают вариацию выхода. Поэтому проектирование допусков включает поиск компромисса между потерями потребителя, которые связаны с вариацией выхода, и увеличенных производственных затрат.

Таким образом, этапы проектирования изделия или производственного процесса с точки зрения техники качества следующие (табл. 1.1).

1. Системное проектирование. Процесс использования научных и технических знаний для изготовления базового работоспособного опытного образца.

2. Параметрическое проектирование. Процесс идентификации таких значений управляемых параметров изделия или производственного процесса, которые уменьшают чувствительность к источникам разбросов.

3. Проектирование допусков. Процесс выбора экономически обоснованных допусков на управляемые параметры изделия или процесса.

**Специальные характеристики** – характеристики продукции или параметры процесса производства, которые могут повлиять на безопасность или соответствие обязательным требованиям, пригодность, выполнение функции, рабочие характеристики или последующую обработку продукции (ISO/TS 16949).

Таблица 1.1. Этапы проектирования и методы обеспечения качества

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

**Ключевая характеристика продукта** – это характеристика продукта, разумно ожидаемый разброс которой может значительно повлиять на безопасность продукта, соответствие требованиям стандартов или норм или удовлетворенность потребителя продукта (Руководство GM 1805 QN).

### *Эксперименты с параметрами проектирования*

Для идентификации значений параметров изделия (или процесса), которые уменьшают вариацию выхода, могут быть использованы статистически планируемые эксперименты. Тагути предложил новый подход к использованию статистически планируемых экспериментов для параметрического проектирования. Он классифицировал переменные, которые влияют на выходные характеристики изделия (или процесса), на две категории: параметры проектирования и

источники помех. Параметры проектирования – это такие параметры изделия (или процесса), чьи номинальные значения могут быть выбраны инженером, отвечающим за проектирование. Номинальные значения параметров проектирования определяют спецификацию проектирования изделия (или процесса) и наоборот. Источниками помех являются все те переменные, которые вызывают отклонение выходных характеристик от их заданных значений. (Источники помех включают отклонения действительных значений параметров проектирования от их номинальных значений.) Однако не все источники помех могут быть учтены в экспериментах с параметрами проектирования; препятствиями являются недостаток знаний и физические ограничения. Факторы помех – это те источники помех и их аналоги, которые могут систематически варьироваться в эксперименте с параметрами проектирования. Ключевые факторы помех – это те факторы, которые представляют главные источники помех, влияющие на выходные характеристики изделия и процесса в производственных условиях. Эти факторы должны быть идентифицированы и учтены в эксперименте.

Цель указанного эксперимента – идентифицировать такие значения параметров проектирования, при которых влияние факторов помех на выходную характеристику минимально. Эти значения оцениваются путем 1) систематического варьирования значений параметров проектирования в эксперименте и 2) сравнения влияния факторов помех для каждого тестового набора.

## **1.2. Параметрическое проектирование для улучшения характеристик изделия**

Параметрическое проектирование – это исследование, с помощью которого можно идентифицировать наборы значений характеристик изделия, которые минимизируют ожидаемые потери. В большинстве приложений для выполнения параметрического проектирования требуется постановка соответствующих экспериментов, которые могут быть либо физическими, либо численными, смодели-



рованными на компьютере. Благодаря достижениям в области машинного моделирования эксперименты с параметрами проектирования для улучшения характеристик изделия часто выполняются на компьютере.

Параметрическое проектирование основано на классификации переменных, влияющих на характеристики изделия. Переменные делятся на две категории: параметры проектирования и источники помех. Параметры проектирования являются характеристиками проектирования изделия, чьи номинальные значения могут быть определены его разработчиком. Вектор значений параметров проектирования определяет перечень проектируемых параметров изделия и наоборот. Реальные значения параметров проектирования для изделия могут отклоняться от номинальных значений. Источники помех – это все те переменные, которые вызывают разброс характеристик изделия как в течение его срока службы, так и для различных его единиц.

### ***Этапы идентификации значений параметров проектирования по Тагути***

Метод Тагути для идентификации значений параметров проектирования, которые максимизируют выходную статистику, состоит из пяти этапов.

1. Идентифицируйте сравниваемые наборы значений параметров проектирования, а также наиболее важные факторы помех и их диапазоны.

2. Составьте матрицу проектирования и матрицу помех, а также план для эксперимента с параметрами проектирования.

3. Проведите эксперимент с параметрами проектирования и оцените выходную статистику для каждого тестового набора матрицы проектирования.

4. Используйте значения выходной статистики для того, чтобы определить новые значения параметров проектирования.

5. Убедитесь в том, что эти значения действительно улучшают выходную статистику.

*1 этап.* Модель изделия, полученная из системного проектирования, определяет начальные значения параметров проектирования. Разработчик изделия затем идентифицирует другие возможные значения. Набор всех возможных значений называется пространством параметров. Разработчик изделия идентифицирует факторы помех, которые вызывают наибольший разброс выходной характеристики. Эти факторы помех включаются в эксперимент. Затем определяются такие диапазоны факторов помех, в которых желательна нечувствительность выходной характеристики. Набор всех возможных уровней факторов помех называется пространством помех.

Для данного вектора в пространстве параметров эксперимент проводится при различных уровнях факторов помех для того, чтобы получить новые значения выходной характеристики. Эти значения представляют влияние факторов помех на выходную характеристику и используются для вычисления выходной статистики. Надо отыскать значение в пространстве, которое максимизирует выходную статистику. Таких значений может быть много, и любое из них будет пригодным при условии, что они не различаются по затратам.

*2 этап.* Полное исследование пространства параметров экономически неэффективно. Можно использовать статистические методы планирования эксперимента для рационального отбора подмножества, называемого матрицей проектирования. Столбцы матрицы проектирования представляют параметры проектирования, а строки – различные значения. Выходную статистику оценивают для каждого набора значений в матрице проектирования. Выходная статистика является переменной отклика. Ее выбор может иметь некоторое влияние на критерии, которые используются для построения матрицы проектирования. Матрица проектирования должна быть определена так, чтобы вычисленные значения выходной характеристики давали нужную информацию при минимальном числе тестовых наборов в пространстве, которые максимизируют выходную меру.

Тагути рекомендует использовать ортогональные матрицы (точнее ортогональные матрицы мощности два) для построения мат-

риц проектирования. Ортогональная матрица – это обобщенный греко-латинский квадрат. Матрица проектирования является греко-латинским квадратом, записанным в форме ортогональной матрицы. Все обычные дробные факторные планы являются ортогональными матрицами. Эти матрицы позволяют задавать различные количества тестовых значений параметров проектирования. Тагути рекомендует выбирать три или более тестовых значения для каждого параметра проектирования. Такие количества тестовых значений выявляют нелинейности в главных эффектах параметров проектирования. Выбранные тестовые значения должны достаточно сильно различаться, с тем чтобы матрица проектирования покрывала широкую область пространства параметров.

Эксперименты с ортогональными матрицами имеют свойство попарного баланса, выражающееся в том, что каждое тестовое значение какого-либо параметра проектирования сочетается с каждым тестовым значением всех остальных параметров проектирования одинаковое число раз. Таким образом, любые два столбца ортогональной матрицы образуют полный двухфакторный план. Это позволяет сравнивать различные тестовые значения какого-либо параметра проектирования в диапазонах, задаваемых тестовыми значениями других параметров проектирования. Однако это сравнение может быть неверным при наличии взаимосвязи между параметрами проектирования.

В экспериментах с ортогональными матрицами минимизируется число тестовых наборов с сохранением свойства попарного баланса. Если число тестовых наборов несущественно, можно использовать либо более сбалансированные эксперименты, такие как дробные факторные эксперименты с разрешением IV или V, либо модели поверхности отклика, чтобы сформировать матрицу проектирования.

Тагути также рекомендует использовать ортогональные матрицы для формирования матрицы помех. Матрицу помех лучше формировать на основе специально отобранного, а не случайного подмножества пространства помех. Если тестовые уровни факторов по-

мех рационально подобраны, ортогональная матрица дает возможность надлежащим образом покрыть пространство помех.

Эксперимент с параметрами проектирования состоит в комбинировании матрицы проектирования и матрицы помех.

*3 этап.* Эксперимент с параметрами проектирования можно проводить двумя способами:

- 1) физический эксперимент с опытными образцами изделия;
- 2) компьютерное моделирование, если функция допускает численное представление. Часто функция слишком сложна для аналитических расчетов, поэтому более подходящими являются методы компьютерного моделирования.

При использовании физических экспериментов либо невозможно, либо слишком дорого изготовить много опытных образцов с различными уровнями производственных несовершенств. Поскольку целью параметрического проектирования является идентификация значений параметров проектирования, которые учитывают широкий спектр несовершенств производства, для изготовления опытных образцов используются низкосортные материалы и детали. Выходные характеристики этих образцов оцениваются при различных уровнях внешних факторов помех. Тагути оптимизирует каждую выходную характеристику отдельно, используя методы планирования эксперимента.

*4 этап.* Вычисленные значения выходной статистики используются для определения такого значения в пространстве параметров, которое максимизирует выходную статистику. Повторные наблюдения за выходной характеристикой, которые используются для вычисления выходной статистики, проводятся с помощью матрицы помех. Хотя матрица помех сформирована регулярным способом, повторные наблюдения для данного значения, проведенные с использованием матрицы помех, можно считать случайной выборкой из распределения.

*5 этап.* Невозможно точно знать, является ли статистическая модель, лежащая в основе плана и анализа эксперимента, истинной.

Следовательно, необходимо подтвердить с помощью последующих экспериментов, что новые значения улучшают выходную статистику по отношению к ее величине при исходных значениях параметров. Успешный проверочный эксперимент облегчает выводы о возможно неправильных допущениях, лежащих в основе модели. Если увеличение выходной статистики получается недостаточно большим, то может потребоваться следующая итерация параметров проектирования.

### **1.3. Проектирование параметров для улучшения проектирования процесса**

Параметрическое проектирование может уменьшить производственные несовершенства без увеличения производственных затрат. Эксперименты с параметрами проектирования могут помочь идентифицировать рабочие значения управляемых переменных процесса, при которых влияние изменчивости условий производства на выходные характеристики процесса минимальны. Промежуточные характеристики изделия в процессе производства определяют реальные характеристики изделия в конце производственного цикла. Поэтому эти промежуточные характеристики используются для оценки характеристик процесса производства. С точки зрения проектирования процесса параметрами проектирования являются переменные процесса, рабочие значения которых могут быть выбраны разработчиком процесса, а отклонения от технологического режима являются источниками помех. Общие примеры таких отклонений — изменчивость поступающих материалов и комплектующих изделий, невозможность точно воспроизвести для каждого компонента производственного оборудования одинаковые условия среды (температура, концентрация, давление пара, влажность) при изготовлении каждой единицы изделия, колебания электропитания.

При проведении экспериментов с параметрами проектирования в производственных условиях часто экономически неэффективно включать много факторов помех в эксперимент. Однако эксперименты обычно могут быть спланированы так, что разбросы повторных

значений из тестового набора адекватно отражают влияние изменчивости производственных условий. Эти повторные значения используются затем для вычисления и максимизации выходной статистики.

Статистически планируемые эксперименты применяются для улучшения производственных процессов более 50 лет. Однако в большинстве приложений оптимизируют среднее значение отклика. Цель экспериментов с параметрами проектирования – уменьшение разброса характеристик изделия, вызванного изменчивостью производственных условий. В производственных процессах управляемая изменчивость обычно значительно важнее, чем управляемость среднего значения, а неуправляемая изменчивость часто является основной причиной высоких производственных затрат.

#### **1.4. Резюме по главе 1**

1. Этапы проектирования изделия или производственного процесса с точки зрения обеспечения качества.

- 1) Системное проектирование. Процесс использования научных и технических знаний для изготовления базового работоспособного опытного образца.
- 2) Параметрическое проектирование. Процесс идентификации таких значений управляемых параметров изделия или производственного процесса, которые уменьшают чувствительность к источникам разбросов.
- 3) Проектирование допусков. Процесс выбора экономически обоснованных допусков на управляемые параметры изделия или процесса.

2. Параметрическое проектирование может уменьшить производственные несовершенства без увеличения производственных затрат. Эксперименты с параметрами проектирования могут помочь идентифицировать рабочие значения управляемых переменных процесса, при которых влияние изменчивости условий производства на выходные характеристики процесса минимальны.

3. Эволюция методов контроля качества включает три этапа:

- 1) проверка/технический контроль изделия;
- 2) контроль производственного процесса;
- 3) усовершенствование методов проектирования изделий и процессов.

4. Тагути предлагает разделить факторы на группы так, чтобы в одной из них оказались факторы, ответственные за основной отклик («номинал»), а в другой – ответственные за разброс. Для выявления этих групп Тагути вводит новый обобщенный отклик, который он называет «отношение сигнал/ шум». Это отношение – близкий родственник хорошо известного коэффициента вариации. Следовательно, исходная задача разбивается на две независимые оптимизационные процедуры: одну для номинала, а вторую для разброса. А поскольку они осуществляются в разных пространствах, результаты их просто «склеиваются», что и дает искомый устойчивый, или робастный, режим.

5. Другая важная особенность подхода Тагути – систематическое использование так называемой функции потерь качества, учитывающей потери потребителя, связанные с качеством изделий.

### **1.5. Вопросы для самостоятельной работы**

1. В чем отличие использования функции потерь качества и допускового подхода к обеспечению качества?

2. Каковы основные подходы Шухарта к управлению изменчивостью продукции и процессов?

3. В чем цель и суть улучшения методов проектирования изделий?

4. Какие основные стадии установления номинальных значений параметров изделия и процесса и допусков на них по Тагути?

5. На какие две группы делятся факторы по методу Тагути для нахождения устойчивого робастного номинального значения параметра изделия или процесса производства?

## 2. МЕТОД РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

### 2.1. Основные положения QFD

При проектировании и разработке сложных технических изделий актуальность и необходимость использования метода QFD определяют требования планирования процессов жизненного цикла продукции и исследования процессов, связанных с потребителями (требования ИСО/ТУ 16949 пп. 7.1, 7.2) и выполнения процедур APQP/CP [3 – 7]. QFD является гибким методом принятия решений и помогает организации сосредоточить внимание на важнейших характеристиках новой или существующей продукции или услуг с точки зрения отдельного клиента, сегмента рынка, компании, или технологии развития [17–21]. Результатами применения методики являются понятные схемы и матрицы, которые могут быть повторно использованы для будущих товаров либо услуг.

Развертывание функции качества QFD осуществляется с использованием матричной диаграммы (рис. 2.1), названной в соответствии со своей формой «Дом качества» (House of Quality, HoQ).

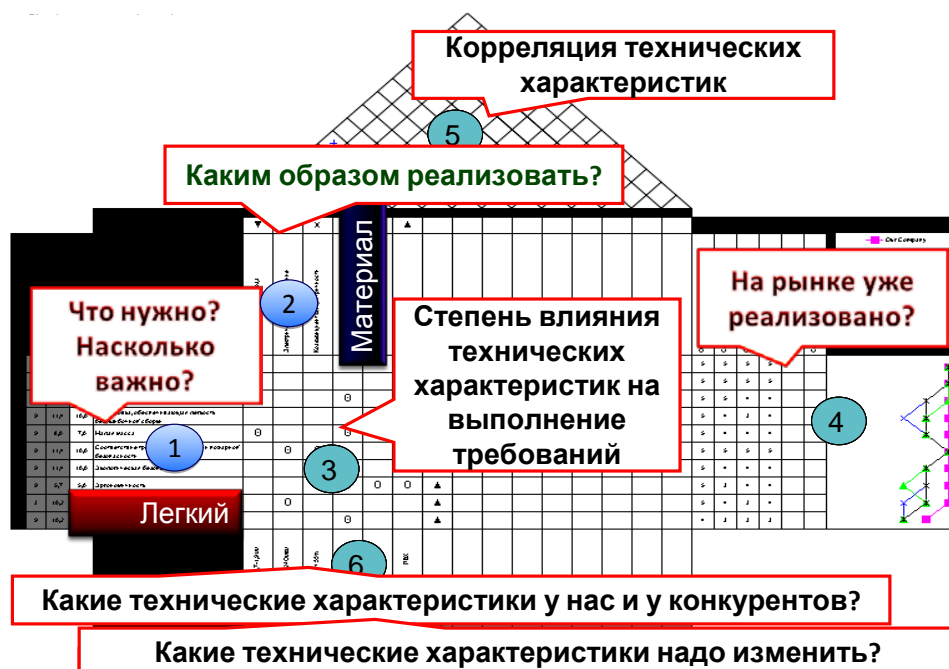


Рис. 2.1. Структура «Дома качества» (Фаза №1)



Центральная часть дома (3) – это таблица, столбцы которой соответствуют техническим характеристикам (2), а строки – требованиям потребителя (1). В клетках отмечается уровень зависимости, если она есть. Крышу дома (5) представляют сведения о корреляции между техническими характеристиками.

Левая комната (1) включает столбец важности требований для потребителя. Правая комната (4) включает оценку выполнения требований (с точки зрения потребителя) для существующих на рынке подобной продукции.

Подвал дома (6) содержит результаты анализа технических характеристик конкурирующей продукции, целевые значения технических характеристик продукции, оценки абсолютной и относительной важности характеристик.

### *Цели и принципы QFD*

Цель QFD – обеспечение такого качества создаваемой продукции на каждом этапе жизненного цикла, которое бы гарантировало получение конечного результата, соответствующего требованиям и ожиданиям потребителя.

Ориентация на потребителя. На начальных этапах любого проектирования принимается множество решений, оказывающих большое влияние на появляющиеся в итоге продукцию или услуги. Ошибка на этом этапе жизненного цикла продукции – ставка, сделанная на неправильную концепцию, – приводит к астрономическим потерям денег и времени на выходе бизнес-процесса, сориентированного на потребителя, т. к. не будет понята ему.

Одним из главных достоинств методологии QFD является то, что эту ориентацию на потребителя она проносит через все стадии жизненного цикла продукции. Даже после попадания такой продукции на рынок ее изначально правильная направленность продолжает экономить деньги производителю за счет сокращения числа нужных доработок (или отдаления их во времени), неизбежно появляющихся при «столкновении» продукции и потребителя.

Для оценки требований и удовлетворенности потребителей в системах менеджмента качества широко используется модель качества Н. Кано (рис. 2.2).

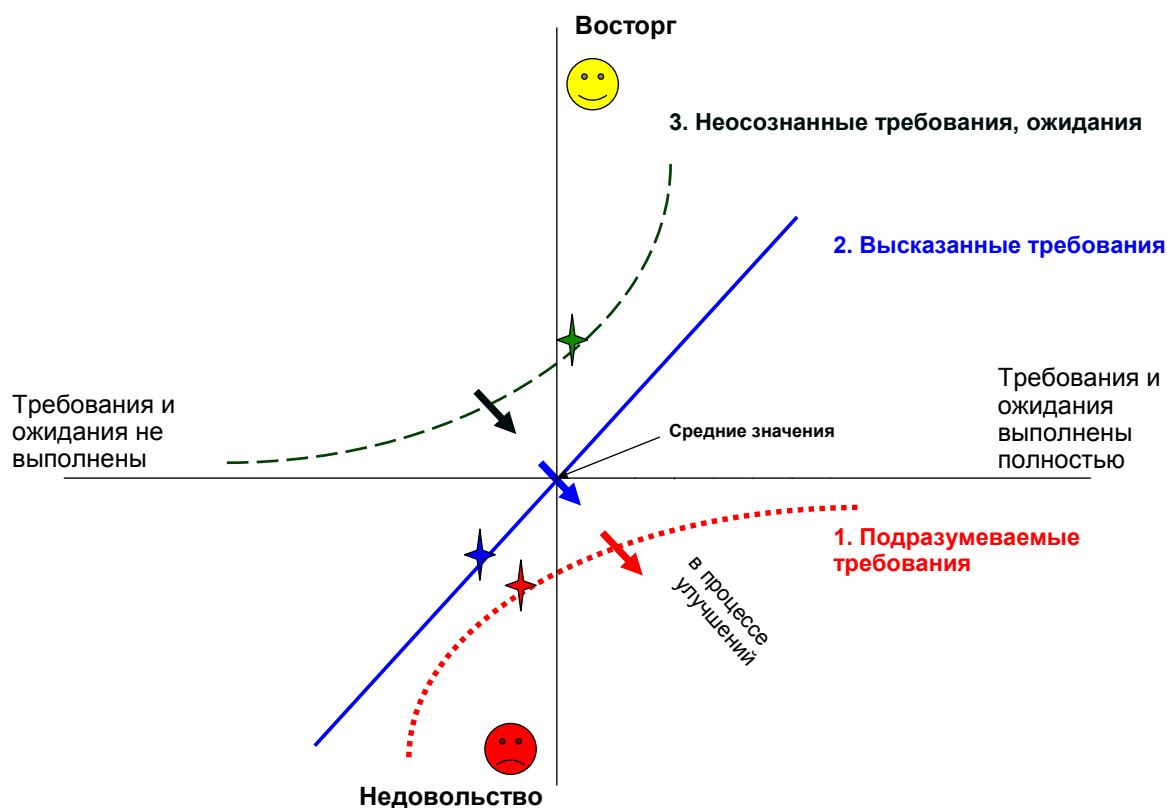


Рис. 2.2. Модель удовлетворенности потребителя (модель Кано)

В модели Н.Кано оценивается три группы требований и ожиданий потребителя [13, 21, 29]:

- подразумеваемые (требования по безопасности, санитарно-гигиенические, выполнение основной функции и т.п.);
- высказанные, сформулированные требования и ожидания (обычно указаны в контракте/договоре), выполнение функций и т.п.;
- неосознанные требования и ожидания (невысказанные требования и ожидания, реализация которых приводит к положительной оценке, восторгу и ажиотажному спросу на продукцию).

Межфункциональный подход. Поскольку QFD, как и все остальные японские методы, предполагает командную работу, то его скорее следует рассматривать как подход, а не как технический при-

ем или инструмент. Основной эффект от использования QFD напрямую зависит от четкой, хорошо спланированной и организованной работы команды.

Постоянные улучшения. Воплощенная один раз методология QFD уже настраивает весь бизнес-процесс организации так, что проектировщики продукции получают информацию об изменившихся требованиях потребителей (а значит, и о необходимости дальнейшего совершенствования продукции) ранее, чем сам потребитель успевает осознать необходимость такого совершенствования.

### ***Международная практика применения QFD***

Несмотря на существующие трудности, QFD уже давно и с успехом используется различными компаниями в Японии и США, а в последнее время широко внедряется и в Европе. Можно с уверенностью сказать, что использование методов QFD позволило таким компаниям, как Rank Xerox, Ford и Digital, добиться впечатляющих результатов. Поэтому современная практика рассматривает QFD как неотъемлемый инструмент синхронного инжиниринга, позволяющий использовать потенциал многофункциональных рабочих групп в целях эффективного управления процессом создания новой продукции.

В наше время существует множество различных версий QFD. К примеру, Motorola в процессе создания новой продукции предпочитает использовать исключительно нечетное количество домов качества, а американской корпорацией Florida Power and Light разработана и используется расширенная версия QFD, названная «tables of tables» (таблица таблиц) [25–28].

### ***Достоинства и недостатки метода QFD***

Из опыта компаний можно сделать вывод, что планомерное и своевременное внедрение в деятельность организации QFD позволяет получать неоценимую пользу из работы многофункциональных групп, состоящих из представителей всех служб и отделов, вовлеченных, участвующих или заинтересованных в разработке нового товара.

## Основные достоинства использования QFD:

- позволяет наиболее эффективным способом идентифицировать ожидания потребителей, выделять среди них ключевые (с точки зрения достижения успеха организации) требования и воплощать их в продукцию;

- обеспечивает гарантии того, что потребители примут и воспользуются новой (модернизируемой) продукцией еще до того, как она будет произведена и поставлена на рынок;

- резко сокращает время цикла «Исследование рынка - проектирование - производство – сбыт»; снижает затраты на выпуск опытной партии продукции (на 20–40 %), а затраты на предварительную разработку продукции – более чем в 5 раз;

- обеспечивает увеличение рыночной доли благодаря более раннему появлению на рынке продукции с более высоким уровнем качества;

- более четко определяет процессы самой организации, нуждающиеся к тому же в меньшей переделке, начиная с того времени, как продукция будет запущена в производство;

- предоставляет возможность оптимально распределять, а значит, наиболее эффективно использовать ограниченные ресурсы организации для обеспечения как тактических, так и стратегических целей;

- прививает специалистам современный стиль работы и заставляет их работать не «на отдел», а «на проект». Этому способствует графический способ представления основной информации, делающий ее понятной для представителей всех отделов организации.

Как показывает практика, процесс внедрения QFD чаще всего сопряжен с возникновением следующих трудностей:

- недостаточной коммуникативностью потребителей;
- сложностью и громоздкостью ручных вычислений и анализа;
- сложностью получения количественного значения целей улучшения технических характеристик или параметров;

- вынужденными изменениями в проектируемой продукции, возникающими вследствие непродуманных целей;
- нестандартностью заказов;
- недостаточным вниманием к деталям.

### ***Квалиметрические аспекты QFD***

При проведении QFD используется большое количество экспертов и привлекаются различные эксперты. Такая серьезная экспертная работа требует методического подхода с использованием знаний квалиметрии. В практике научных исследований получили распространение шкалы нескольких типов: абсолютная шкала, шкала отношений, шкала интервалов, шкала порядка и шкала наименований [22, 23].

В QFD для расчетов используются шкала отношений (результаты в «подвале» 6, правая комната 4 на рис. 1) и шкала порядка (важность в комнате 1, веса и ранги – комната 3, «крыша» 5).

Шкала отношений является количественной, сильной шкалой, показания этой шкалы можно подвергать определенным математическим преобразованиям. При количестве экспертов около 30 достаточно ограничиться оценками в шкале порядка и лишь для двух объектов, получивших самый высокий и самый низкий средний порядковый балл, сделать оценку в сильной шкале. Этих калибровочных величин будет достаточно для перехода от средних значений в шкале порядка к средним значениям в шкале отношений.

## **2.2. Последовательность QFD и источники информации**

### ***Фазы (процессы) QFD***

В развернутом виде QFD включает четыре фазы, и на каждой из них строится свой дом качества. После преобразования потребительских характеристик в технические последние преобразуются в характеристики компонентов и далее – в характеристики процессов, а затем в характеристики операций (рис. 2.3).



- Фаза (процесс) №2 – проектировать и развивать компоненты (QFD второго уровня). Перевод технических характеристик изделия в технические характеристики компонентов. Основной вопрос: «Что мы будем делать, чтобы это продавалось и соответствовало техническим характеристикам изделия?».

Проектирование продукции предусматривает идентификацию наиболее критичных узлов и компонентов создаваемой продукции, которые обеспечивают воплощение характеристик, выявленных в результате выполнения первой фазы, в проект продукции. Фаза заканчивается выбором того проекта, который в наибольшей степени отвечает ожидаемым ценностям продукции для потребителя. При этом для узлов и компонентов продукции, которые наиболее критичны к требованиям рынка, принятый проект должен обязательно предусматривать возможные пути улучшения их характеристик и дальнейшего проведения соответствующих работ, обеспечивающих оперативную корректировку характеристик продукции в зависимости от реакции рынка на ее появление.

- Фаза (процесс) №3 – проектировать и развивать производственный процесс (QFD третьего уровня). Перевод технических характеристик компонентов в параметры процесса. Основной вопрос: «Как мы будем изготавливать важнейшие компоненты изделия?».

Проектирование процесса предусматривает трансформацию характеристик спроектированной продукции в конкретные технологические операции, обеспечивающие получение продукции с заданными свойствами. Эта фаза QFD предполагает идентификацию критичных параметров каждой операции и выбор методов их контроля. На этапе разработки технологического процесса изготовления продукции обязательно должна быть разработана система контроля технологического процесса и предусмотрены пути дальнейшего улучшения процесс в соответствии с реакцией рынка на готовую продукцию.

- Фаза (процесс) №4 – обеспечивать качество производства (QFD четвертого уровня). Перевод параметров процесса в управле-

мый способ осуществления производственных операций. Основной вопрос: «Что мы собираемся контролировать и как мы собираемся управлять производственными операциями, чтобы выполнить все пожелания потребителей?».

Фаза предусматривает разработку производственных инструкций и выбор инструмента контроля с тем, чтобы каждый оператор имел четкое представление о том, что и как должно контролироваться в ходе выполнения процесса. При этом инструкции должны предусматривать возможность совершенствования работы оператора в зависимости от того, сколько замеров должно производиться и как часто они должны делаться, какие измерительные инструменты должны при этом применяться.

После завершения каждой фазы рекомендуется проводить FMEA-анализ [30–33] для наиболее важных компонентов конструкции, технологических процессов, операций. Мероприятия в рамках планирования качества APQP, проведенные по результатам FMEA-анализа, снижают риски потребителя и повышают качество продукции.

### ***Маркетинговые исследования как источник информации***

Исходными данными для QFD являются результаты маркетинговых исследований, определяющие, что хочет пользователь, насколько важны те или иные свойства, соответствие требованиям и ожиданиям, а также как решают подобные проблемы другие производители. Для выявления требований клиента (голос потребителя, VOC) используются различные виды анкетирования и исследований, а также метод VOST (таблица голоса потребителя). Далее каждой продукции, включая свою текущую, наших конкурентов, свою перспективную по каждому требованию, присваивается рейтинг удовлетворенности потребителем.

Рейтинг для перспективной продукции выбирается из следующих соображений:



- если требование имеет высокую важность и в текущей продукции оно ниже, чем в конкурирующих, необходимо поставить цель добиться уровня лидирующей на рынке продукции;
- если требование имеет высокую важность и текущая продукция – лидер на рынке в этом отношении, то, по крайней мере, сохранить уровень;
- если требование имеет низкую важность, возможно сохранение или даже уменьшение текущего уровня.

### ***Использование бенчмаркинга для получения информации***

Бенчмаркинг – это процесс нахождения и изучения самых лучших из известных методов ведения бизнеса. Целью бенчмаркинга является нахождение бизнеса, у которого дела идут лучше, чем у вас. Но этого недостаточно: после нахождения лучшего способа управления и ведения дел по-прежнему необходимо найти ответ на вопрос, как сделать это лучше.

### **2.3. Реализация метода развертывания функции качества**

Применение метода QFD реализуется командой QFD путем заполнения домов качества. Наибольшее количество информации необходимо занести на первой фазе. На последующих фазах заполняются, как правило, только комнаты 1, 2, 3, 6.

Эффективная межфункциональная команда QFD формируется с использованием методов формирования команд и типологии [13]. В команду QFD, как правило, следует включать специалистов из подразделений маркетинга, аналитических, конструкторско-технологических служб, службы качества, закупок и оценки поставщиков.

### ***Ключевые элементы методологии QFD***

Методология развертывания функции качества основывается на нескольких ключевых элементах [8]:

Первое – уточнение требований потребителя. Как уже отмечалось, обычно потребитель формулирует свои пожелания в абстракт-

ной форме, например «экономичный автомобиль». Эти абстрактные требования потребителя называют «голосом потребителя». Задача производителя заключается в том, чтобы преобразовать «голос потребителя», представляющий перечень его пожеланий, в интегральную ценность продукции. По-другому, необходимо «голос потребителя» перевести на такой уровень дерева потребительской удовлетворенности, когда эти требования потребителя могут быть поставлены в прямую взаимосвязь с общими характеристиками продукции, иначе говоря, могут быть измерены.

**Например**, «голос потребителя» типа «экономичный автомобиль» можно преобразовать в требование «низкая отпускная цена», «низкая стоимость пробега» и т.п.

После этого производитель может ответить на вопрос: «Что сделать?», чтобы удовлетворить ожидания потребителя. Насколько успешно будет решена эта задача, зависит от степени понимания производителем в первую очередь двух следующих аспектов:

- что требует потребитель от продукции;
- как продукция будет использоваться потребителем.

Второй ключевой элемент QFD – это перевод требований потребителя в общие характеристики товаров и услуг (характеристики качества продукции). Другими словами, нужно ответить на вопрос «Как сделать?» или как воплотить в жизнь список пожеланий потребителя («Что сделать?»).

Так, требование «низкой стоимости пробега» может быть удовлетворено за счет таких показателей качества, как «расход бензина», «частота отказов», «средний срок службы автомобиля» и т.п.

Но этот процесс преобразования «что в как» терпит трудности из-за многообразия связей: часть характеристик продукции, решая задачу удовлетворения одних ожиданий потребителя, оказывает влияние и на другие компоненты дерева удовлетворенности потребителя, иногда отрицательно. Но вне зависимости от этого проблема перехода «что в как» будет решена с участием более квалифицированных специалистов. При этом следует выбирать компоненты

«как», чтобы абсолютное большинство из них было измеряемым. Только тогда возможно обеспечить достижение нашей цели, иметь больше шансов анализировать и оптимизировать каждое требование. Если же в большинстве «как» окажутся не измеряемыми, это значит, что детализация «как» проведена недостаточно и следует продолжить работу (!).

Третьим ключевым элементом QFD является выяснение тесноты связи (силы) между соответствующими компонентами «что» и «как». Исследованию этой взаимосвязи и помогают матричные диаграммы связи (таблицы качества) между элементами «что» и «как». Сила связи имеет зависимость от того, насколько значимый вклад вносят характеристики продукции «как» в удовлетворение конкретного требования потребителя «что».

Четвертым ключевым элементом в развертывании функции качества выступает выбор цели, а именно выбор таких значений характеристик качества создаваемой продукции, которые, по мнению производителя, не только будут удовлетворять ожиданиям потребителя, но и обеспечат конкурентоспособность создаваемой продукции в заданном секторе рынка.

**Например**, компонент «как» «расход бензина» может быть измерен в километрах на литр. Целью новой модели автомобиля может быть 12 км/л против 10 км/л в предыдущей модели.

Пятым значимым элементом QFD является установление (по результатам опроса клиентов) рейтинга важности компонентов «что» и на основе этого определение рейтинга важности соответствующих компонентов «как». Для того чтобы провести это преобразование, необходимо задать символам, характеризующим связи, соответствующий вес.

<u>Связь</u>	<u>Вес</u>
● – сильная связь	9
○ – средняя	3
△ – слабая	1

Присвоение символам веса «9 – 3 – 1» дает значимое различие между важными и не очень важными компонентами рассматриваемых связей. Конечно, может применяться и другая система весов, дающая значимое различие.

Для любой колонки (или каждого «как») оценка клиента (важность компонента «что») умножается на вес, соответствующий степени связи «как» с «что», и результат выставляется в конце колонки, отображая важность той или иной характеристики создаваемой продукции, т.е. приоритетные показатели качества для потребителя.

Вместе с рейтингом важности технических характеристик продукции для всех колонок «как» указывают также рейтинг сложности технического воплощения целевого значения параметра качества. Этот рейтинг назначают обычно по 5-балльной системе, и он учитывается при проектировании следующих этапов жизненного цикла продукции.

### ***Проведение QFD I уровня (фаза №1)***

QFD I уровня выполняется в следующей последовательности.

1. Определяются требования клиента (голос потребителя). Для этого используются различные виды анкетирования, маркетинговые исследования, метод VOST (таблица голоса потребителя). При этом надо учитывать, что клиент не всегда может четко сформировать свои требования. Обычно он говорит: быстрее, меньше, легче, различный цвет. Перечень требований заносится в комнату 1 Дома качества.

2. Требования клиента ранжируются по важности, степень важности заносится в столбец комнаты 1 Дома качества. Возможно использование экспертной оценки важности, например по 10-балльной шкале или комплексные экспертные оценки, например с использованием матрицы парных сравнений требований потребителей.

3. Формируется перечень технических характеристик продукции, влияющих на выполнение требований потребителя (не менее

двух характеристик, влияющих на каждое требование). Сформированный перечень заносится в комнату 2 Дома качества.

4. Заполняется матрица взаимодействия технических характеристик и требований клиента (комната 3 Дома качества). Взаимодействия в таблице обозначаются символами: ● – сильная связь; ○ – средняя; Δ – слабая. Вес связи соответственно 9, 3, 1.

5. Изучается удовлетворенность потребителя своей продукцией и продукцией конкурентов по каждому требованию (пункт 1). Оценка удовлетворенности потребителя своей продукцией и продукцией конкурентов по 5-балльной системе заносится в комнату 4 Дома качества.

6. Проводятся анализ изделий конкурента и бенчмаркинговые исследования. Полученная информация о технических характеристиках своей продукции и продукции конкурентов заносится в «подвал» 6 Дома качества.

7. Определяются целевые значения технических характеристик, и оценивается относительная техническая трудность достижения каждой технической характеристики. Результаты оценки по 10-балльной шкале заносятся в «подвал» (6) Дома качества.

8. Строится «крыша» (5) Дома качества, то есть устанавливаются взаимосвязи между техническими характеристиками. Эта информация используется в дальнейшем для изучения и преодоления возможных противоречий при изменении технических характеристик.

9. Определяются технические характеристики, увеличение которых оказывает положительное воздействие на удовлетворение потребностей клиента (и наоборот). Знак «+» или «-» заносится в строку в «подвал» (6) Дома качества.

10. Определяется очередность реализации необходимых изменений технических характеристик.

### ***Проведение QFD II уровня (фаза №2)***

На фазе №2 QFD анализируются и проектируются компоненты продукции. Используются результаты QFD I уровня как входные данные. Строится матрица взаимосвязи характеристик продукции от

характеристик компонентов. Определяется очередность реализации изменений для отдельных компонентов в зависимости от их важности. Важность изменения компонентов рассчитывается аналогично QFD I уровня (шаги 3, 4, 7).

### ***Проведение QFD III уровня (фаза №3)***

На фазе №3 QFD анализируется и проектируется производственный процесс. Используются результаты QFD II уровня как входные данные. Строится матрица взаимосвязи характеристик компонентов от параметров процесса. Определяется очередность реализации изменений операций технологического процесса. Очередность изменения компонентов рассчитывается аналогично QFD I уровня (шаги 3, 4, 7).

### ***Проведение QFD IV уровня (фаза №4)***

На фазе №4 QFD анализируются и проектируются производственные операции. Используются результаты QFD III уровня как входные данные. Строится матрица взаимосвязи параметров процесса от параметров отдельных выполняемых операций. Определяется важность реализации изменений параметров отдельных выполняемых операций технологического процесса. Очередность изменения параметров отдельных выполняемых операций рассчитывается аналогично QFD I уровня (шаги 3, 4, 7).

Таким образом, требования потребителя разворачиваются до конкретных параметров операций, выполняемых при создании продукции.

Пример QFD рассмотрен в Приложении Б.

## **2.4. Резюме по главе 2**

1. Применение QFD резко сокращает время цикла «Исследование рынка – проектирование – производство – сбыт»; снижает затраты на выпуск опытной партии продукции (на 20–4 %), а затраты на предварительную разработку продукции – более чем в 5 раз.

2. Одним из главных достоинств методологии QFD является то, что ориентацию на потребителя она пронесит через все стадии жизненного цикла продукции.

3. QFD позволяет наиболее эффективным способом идентифицировать ожидания потребителей, выделять среди них ключевые (с точки зрения достижения успеха организации) требования и воплощать их в продукцию.

4. QFD прививает специалистам современный стиль работы и заставляет их работать не «на отдел», а «на проект».

5. В развернутом виде QFD включает четыре фазы, и на каждой из них строится свой дом качества.

### **2.5. Вопросы для самостоятельной работы**

1. Почему QFD важен для системы менеджмента качества?
2. Каким образом связаны робастное проектирование и метод QFD?
3. Определите цели и области применения QFD.
4. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные фазы QFD.
5. Как связаны QFD, APQP/CP и FMEA?
6. Когда QFD считается завершенным?

### **3. АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ**

#### **3.1. Основные положения FMEA**

Одной из основных задач системы менеджмента качества является обеспечение выявления потенциальных несоответствий (дефектов) и предотвращение их появления на всех стадиях жизненного цикла продукции. Важнейшим методом решения этой задачи является анализ видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA). В настоящее время не менее 80 % разработок технических изделий и технологий проводится с применением анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA-методологии) [30–33].

Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий широко применяется многими мировыми компаниями как для разработки новых конструкций и технологий, так и для анализа и планирования качества производственных процессов и продукции. Методология FMEA позволяет оценить риски и возможный ущерб, вызванный потенциальными несоответствиями конструкции и технологических процессов на самой ранней стадии проектирования и создания готового изделия или его комплектующих.

Область применения метода охватывает все этапы жизненного цикла продукции и любые технологические или бизнес-процессы (рис. 3.1). Наибольший эффект дает применение FMEA на этапах разработки конструкции и процессов, однако и в действующем производстве метод может эффективно применяться для устранения несоответствий и их причин, не выявленных при разработке или обусловленных факторами изменчивости процессов производства.

#### ***Цели, задачи и виды анализа FMEA***

Метод анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) представляет собой систематизированный комплекс действий, проводимых для того, чтобы:



- выявить несоответствия продукции и процессов, а также последствия возникновения этих несоответствий и дать им количественную оценку;
- создать ранжированный список видов и причин несоответствий для планирования корректирующих и предупреждающих действий;
- определить корректирующие и предупреждающие действия, которые могли бы устранить или снизить вероятность возникновения несоответствий;
- документировать данные по результатам анализа для накопления в базе знаний.

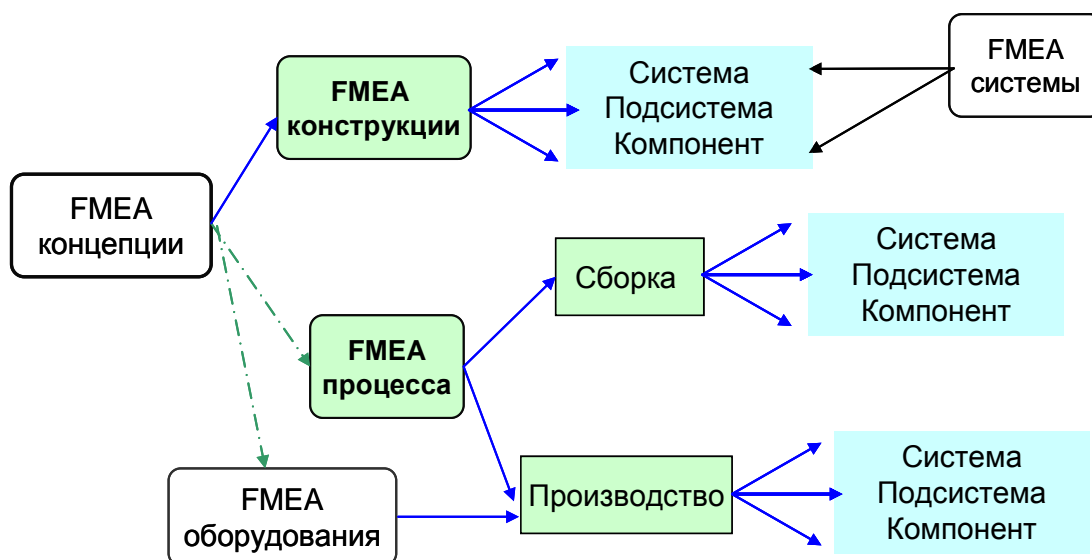


Рис. 3.1. Типы FMEA

Применение FMEA является обязательным требованием стандартов ИСО/ТУ 16949, AS 9100 (подразделы 7.3, 8.5) и других стандартов автомобильной, аэрокосмической и авиационной промышленности [3, 4]. Цель применения метода – изучение причин и механизмов возникновения несоответствий и предотвращение несоответствий (или максимальное снижение их негативных последствий), а следовательно, повышение качества продукции и сокращение затрат на устранение несоответствий на последующих стадиях жизненного цикла продукции.

Своевременность является важнейшим условием эффективности метода анализа видов и последствий несоответствий. FMEA следует осуществлять либо до появления несоответствия, либо немедленно после выявления несоответствия или причин, приводящих к его появлению, чтобы не допустить последствий или максимально снизить их риск. Затраты на проведение анализа и внедрение корректирующих/предупреждающих действий при разработке процессов и подготовке производства значительно ниже, чем затраты на аналогичные действия в серийном производстве, проводимые по факту обнаружения несоответствий.

Различают DFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции, и PFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий технологических процессов.

DFMEA может проводиться как для разрабатываемой конструкции, так и для уже существующей. Целью проведения такого анализа является выявление потенциальных несоответствий конструкции, вызывающих наибольший риск потребителя и внесение изменений в конструкцию изделия, которые бы позволили снизить такой риск. Результаты DFMEA являются входной информацией для последующего PFMEA.

PFMEA обычно проводится при планировании производства с участием представителей заинтересованных служб и при необходимости представителей потребителя. Проведение PFMEA начинается на стадии технической подготовки производства и заканчивается своевременно до монтажа производственного оборудования.

В учебном пособии используются примеры проведения DFMEA передней двери и PFMEA технологического процесса окраски двери.

### ***Экономические выгоды применения FMEA***

FMEA способствует новому образу мышления современного научно-технического обеспечения качества.

Применение метода FMEA:

- снижает количество вносимых изменений (см. рис. 3.2) на стадии производства и затраты на проведение изменений (рис. 3.3);
- исключает ошибки и связанные с ними дефекты, а следовательно, избавляет от рекламаций, судебных исков и значительных затрат на устранение дефектов;
- повышает эффективность проведения изменений (усовершенствований).

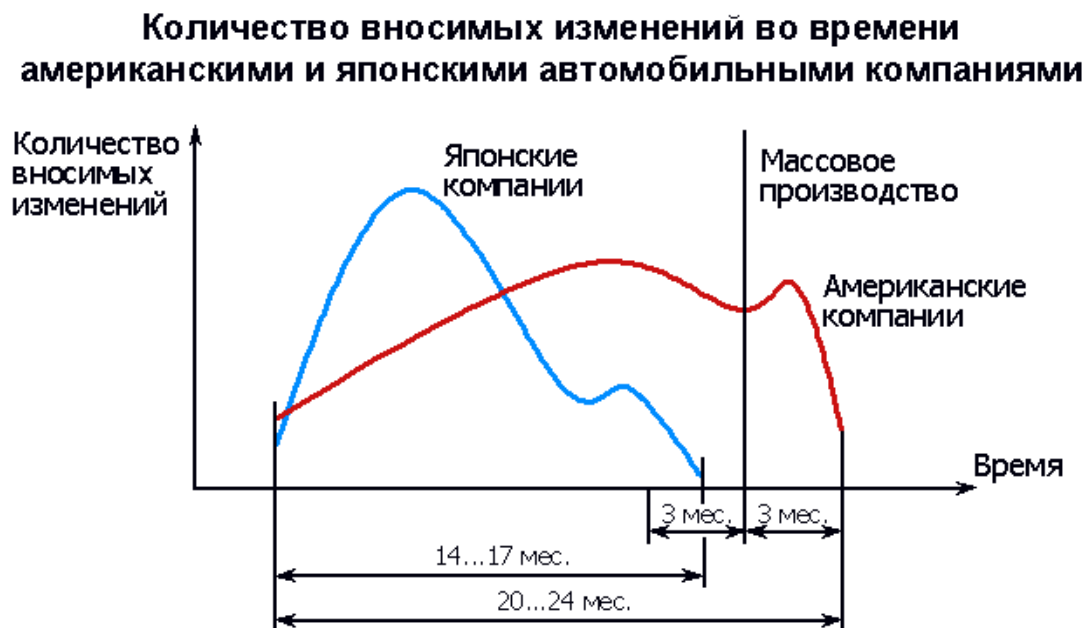


Рис. 3.2. Количество вносимых изменений во времени американскими и японскими автомобильными компаниями

### ***Основные принципы FMEA***

Применение метода анализа видов и последствий потенциальных несоответствий основано на следующих принципах:

**Командная работа.** FMEA проводится силами специально подобранной многофункциональной команды экспертов. Эффективность анализа напрямую зависит от профессионального уровня, практического опыта и согласованности действий специалистов.

**Иерархичность.** Для сложных изделий, процессов анализу подвергается как изделие/процесс в целом, так и его составляющие (детали/операции). **Итеративность.** Анализ проводится неоднократно; он возобновляется при выявлении новых факторов и при любых изменениях, влекущих за собой изменение последствий и их рисков.

**Регистрация данных.** Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий и его результаты должны быть документально оформлены.

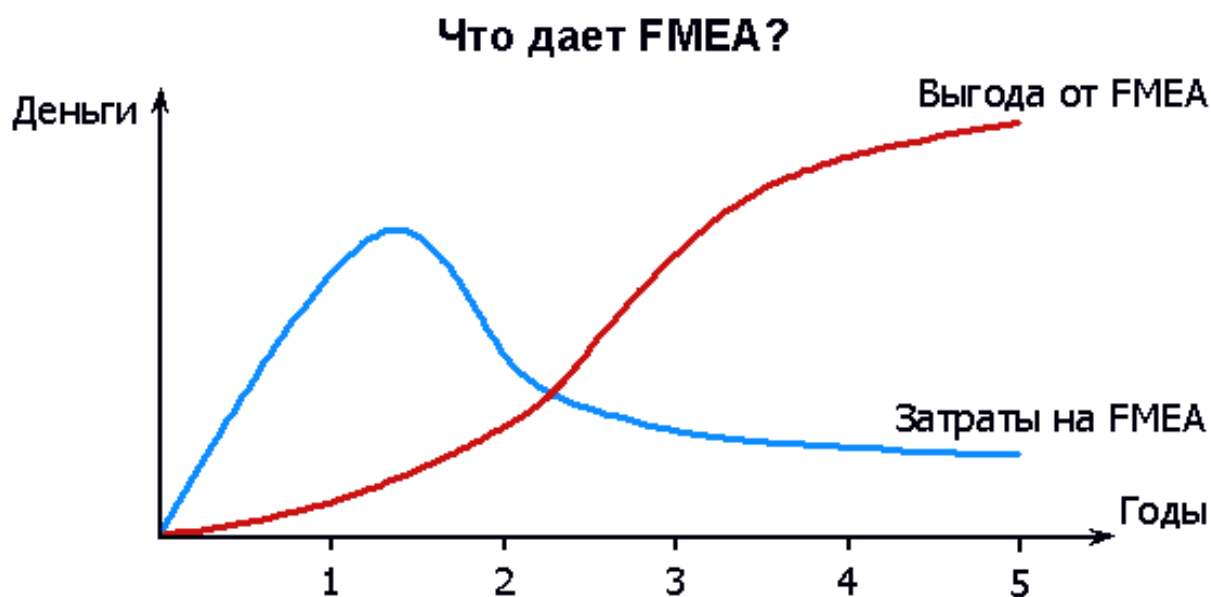


Рис. 3.3. Выгода от применения FMEA

### ***Составляющие оценки видов, последствий и причин***

Количественные оценки значимости, возникновения и обнаружения потенциальных несоответствий или их причин определяются на основе статистических данных или мнений экспертов с помощью соответствующих типовых шкал.

После получения экспертных оценок указанных составляющих путем их перемножения определяется приоритетное число риска (ПЧР) – обобщенная количественная характеристика риска несоответствия.

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D.$$

Значимость (S) – это оценка по 10-балльной шкале серьезности последствия. Ранг (балл) значимости определяется экспертно по типовой шкале. Если последствий несколько и значимости их разные, то для дальнейшего расчета ПЧР используется максимальное значение значимости.

**Пример:** В ходе анализа FMEA технологического процесса «...» выявлено потенциальное несоответствие «...». Значимость этого последствия «ухудшение внешнего вида»  $S_1 = 4$ , значимость последствия «коррозия»  $S_2 = 7$ . Для дальнейших расчетов используется максимальное значение  $S = 7$ .

Возникновение (O) – это оценка вероятности, с которой ожидается появление несоответствия, последствия или причины. Для оценки частоты возникновения по возможности следует использовать имеющиеся статистические данные по подобным изделиям/процессам с учетом изменений рабочей среды (Prk (Cpk), частота отказов за определенный срок и т.п.). Если таких данных нет, допустимо давать субъективные оценки на основе информации о процессе.

**Пример:** Материал для статистической обработки отсутствует. Эксперт оценивает частоту возникновения как 1 случай на 1000 возможностей. Ранг возникновения определяется по шкале и для PFMEA составляет  $O = 4$ .

Обнаружение (D) – это оценка вероятности того, что применяемые средства контроля обнаружат признаки несоответствия, последствия или причины прежде, чем эти признаки будут замечены потребителем. Необходимо оценить по 10-балльной шкале вероятность того, что несоответствие и/или причины, его вызвавшие, будут обнаружены прежде, чем изделие покинет расположение процесса.

Должны быть рассмотрены методы управления двух типов, которые:

- предотвращают возникновение вида несоответствия;
- обнаруживают вид несоответствия при его возникновении.

Приоритетное число риска (ПЧР) – обобщенная количественная характеристика объекта анализа. ПЧР определяется после получения экспертных оценок составляющих – рангов значимости, возникновения и обнаружения, путем их перемножения. Объекты анализа упорядочиваются по убыванию значений ПЧР.

Для каждой области применения должно быть установлено граничное значение ПЧР – ПЧР<sub>гр</sub>. В случае если фактическое значение ПЧР превосходит ПЧР<sub>гр</sub>, по результатам анализа должны разрабатываться и внедряться корректирующие/ предупреждающие действия для снижения или устранения риска последствий. Если фактическое значение не превосходит ПЧР<sub>гр</sub>, то считается, что объект анализа не является источником существенного риска и корректирующие/ предупреждающие действия не требуются (рис. 3.4).

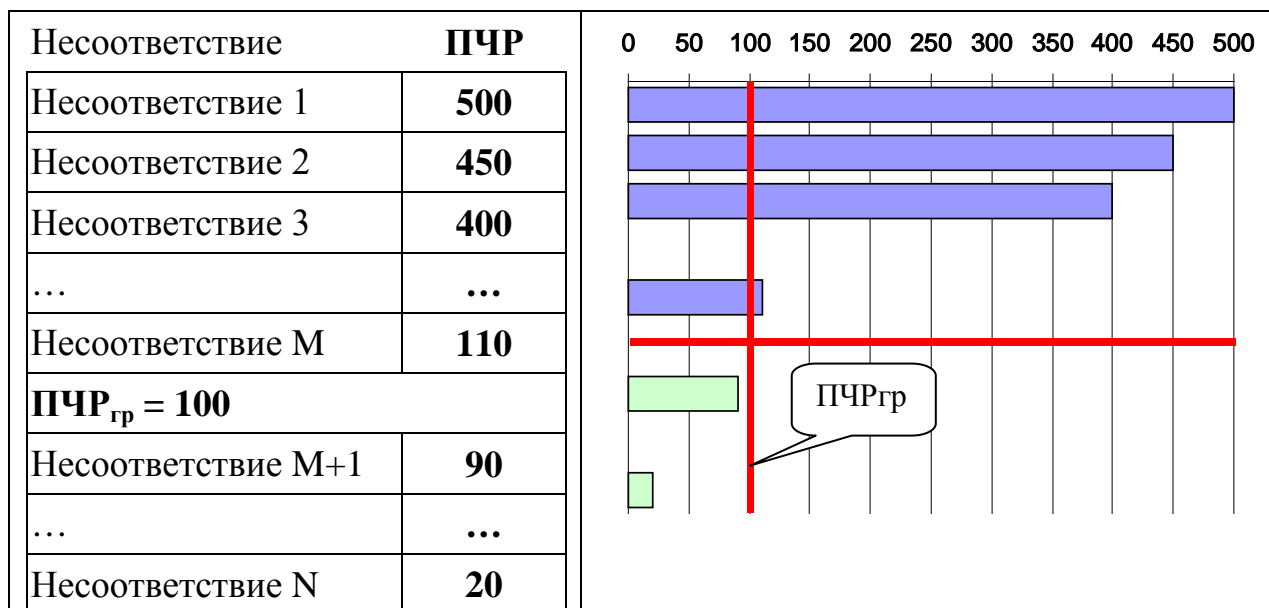


Рис. 3.4. Упорядоченный по убыванию ПЧР перечень несоответствий

**Пример:** Пусть для объекта анализа определены ранги значимости, возникновения и обнаружения (см. примеры к пп.1.5.1 – 1.5.3). Тогда ПЧР равно их произведению:

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D = 7 \cdot 4 \cdot 5 = 140.$$

Пусть для данной области применения метода установлено значение ПЧР<sub>гр</sub> = 100. Следовательно, для данного объекта требуется планирование и внедрение корректирующих/ предупреждающих действий с целью устранения риска или снижения его до значений ПЧР менее 100.

## **Порядок анализа и документирование результатов FMEA**

На подготовительной стадии анализа FMEA осуществляется: формирование команды экспертов; сбор и изучение исходных данных и сведений о назначении изделий и требованиях процессов; выбор объектов, подлежащих анализу.

Так как появление несоответствий на каждом из этапов жизненного цикла продукции обуславливается множеством факторов, то для проведения всестороннего анализа необходимо привлечение специалистов различных служб – конструкторских, технологических, производственных, контролирующих, специалистов по применяемым материалам, службы качества, представителей службы закупок и по возможности специалистов поставщиков, предприятий по техническому обслуживанию продукции и др. Рекомендованное число членов команды – от 4 до 10 человек.

Затем проводится анализ выбранных объектов и документирование результатов анализа. Результаты проведения анализа FMEA регистрируются последовательно в графах протокола анализа, представленного в табл. 3.1

**Таблица 3.1. Графы протокола FMEA**

Процесс Функция / Требования	Потенциальное несоответствие	Последствие потенциального несоответствия	Знач. S	Потенциальная(-ые) причина(-ы) или механизм(-ы) несоответствия	Возн. O	Меры по предотвращению	Меры по обнаружению	Обн. D	ПЧР	Рекоменду- емое(-ые) мероприятие(-я)	Ответст- венный и назначен- ная дата	Результаты действий				
												Предпри- нятые действия	Новые баллы			
													S	O	D	ПЧР
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

На рис. 3.5 представлена укрупненная схема проведения PFMEA. DFMEA проводится аналогичным образом.

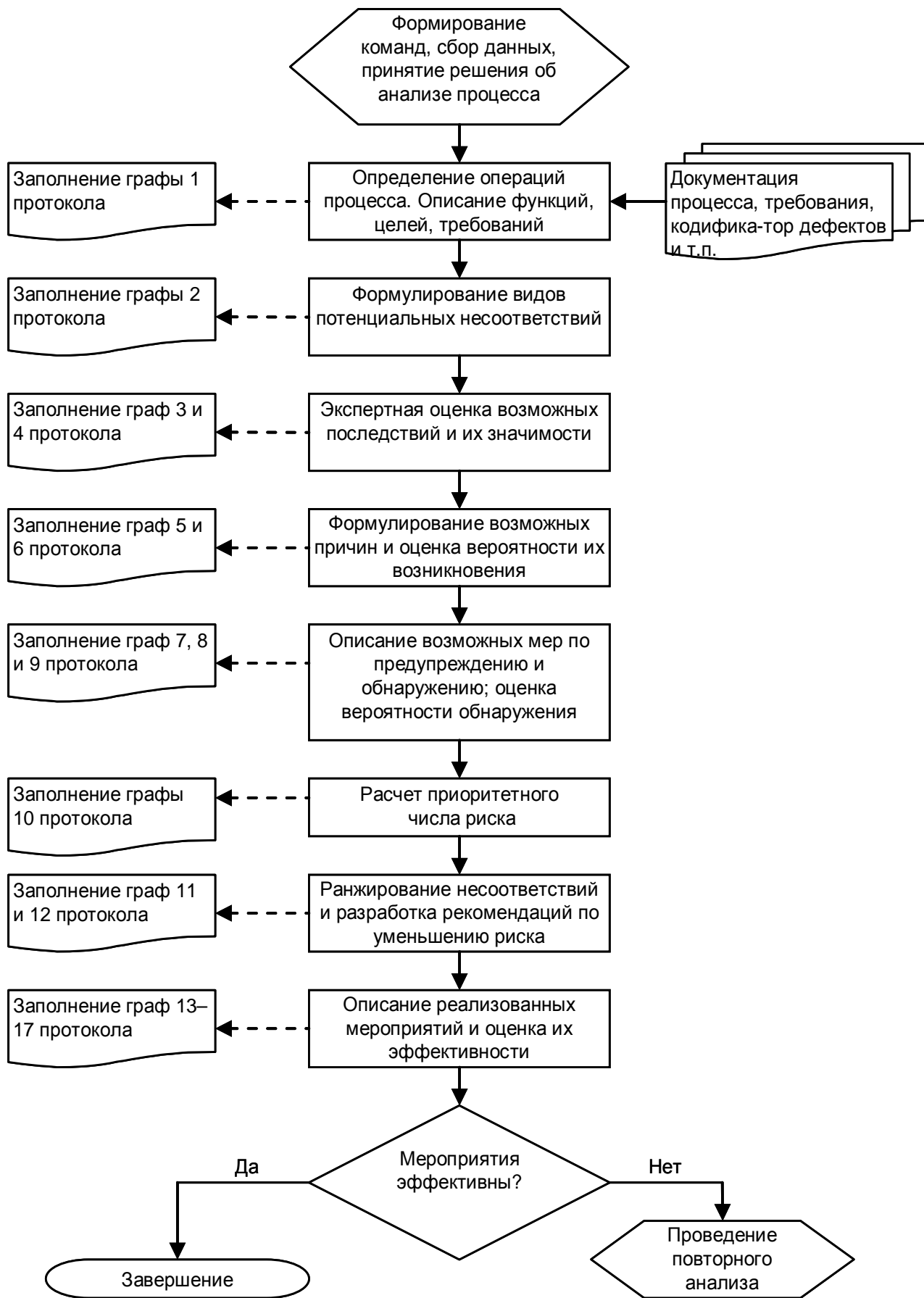


Рис. 3.5. Схема анализа видов и последствий потенциальных несоответствий процесса



## **3.2. Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции (DFMEA)**

### ***Формирование команды экспертов***

Базовый (минимально необходимый) состав команды DFMEA – четыре человека:

- руководитель рабочей группы;
- инженер-конструктор, ответственный за разработку объекта анализа;
- инженер-конструктор, ответственный за разработку объекта, аналогичного объекту анализа;
- инженер-конструктор, ответственный за испытания аналогичных объекту анализа конструкций.

В состав команды также включаются специалисты технологического отдела, ОТК, производства и других служб, имеющие отношение к технологии, изготовлению или эксплуатации анализируемого изделия.

### ***Выбор объектов для проведения DFMEA***

Системы / узлы / детали для проведения FMEA конструкции выбираются исходя из следующих критериев:

- новая конструкция;
- новый материал;
- значительные изменения конструкции;
- изменение государственных требований и норм;
- критическая система / узел / деталь;
- новая область применения;
- риски, связанные с поставщиками.

### ***Изучение исходных данных***

На первом совещании команда DFMEA знакомится с опытными образцами объекта анализа и изучает следующие документы:

- сборочные и монтажные чертежи объекта анализа;
- спецификации;

- технические требования;
- данные из эксплуатации аналогичных изделий.

Перед началом командной (совместной) работы должны быть подготовлены формы вспомогательных документов, предусмотренные технологией анализа.

### ***Разработка структурной блок-схемы***

Для облегчения анализа объект разделяется на отдельные части по функциональному назначению. Такие части принято называть элементами.

Структурная блок-схема наглядно показывает состав и взаимосвязь входящих компонентов, а также помогает установить логический порядок FMEA-анализа.

### ***Определение функций и требований***

Определение функций производится на основе анализа спецификаций и технических и законодательных требований к конструкции в отношении безопасности, прочности и долговечности, комфорта, удобства обслуживания и ремонтпригодности.

### ***Определение видов потенциальных несоответствий и их последствий***

Виды потенциальных несоответствий определяются на основе анализа технических требований к системе, функций и требований к компонентам и информации о несоответствиях подобных компонентов, возникающих в эксплуатации.

Генерация видов несоответствий должна проводиться по следующим правилам:

- отрицание функции;
- предположение частичного ухудшения функции;
- предположение прерывания функции во время эксплуатации;
- предположение проявления непредусмотренной функции.

### ***Оценка значимости потенциальных несоответствий***

Для каждого несоответствия из списка видов потенциальных несоответствий и их последствий рабочая группа оценивает его значимость *S*. Оценка зависит от тяжести последствий несоответствия и определяется с помощью 10-балльной шкалы (табл. 3.2).

При оценивании исходят из требования, что значимость применима только к последствию. Если последствий несколько и значимости их разные, то для дальнейшего расчета ПЧР используют max значение значимости.

### ***Подготовка комплекта протоколов FMEA***

Для рассмотрения на рабочей группе протоколы FMEA представляются в частично заполненном виде. Назначенное ответственное лицо заносит в протоколы анализа информацию из вспомогательных документов. Во всех протоколах должны быть заполнены первые четыре графы.

Таблица 3.2. Типовая шкала баллов значимости при DFMEA

<b>Последствие</b>	<b>Критерий значимости последствия</b>	<b>Балл</b>
<b>Опасное без предупреждения</b>	Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального несоответствия ухудшает безопасность работы изделия и/или вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10
<b>Опасное с предупреждением</b>	Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального несоответствия ухудшает безопасность работы изделия или вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением	9
<b>Очень важное</b>	Изделие/узел неработоспособно с потерей основной функции	8

<b>Важное</b>	Изделие/узел работоспособно, но снижен уровень эффективности. Потребитель неудовлетворен	7
<b>Умеренное</b>	Изделие/узел работоспособно, но системы комфорта/удобства неработоспособны. Потребитель испытывает дискомфорт	6
<b>Слабое</b>	Изделие/узел работоспособно, но система(ы) комфорта/удобства работают малоэффективно. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
<b>Очень слабое</b>	Отделка и шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Несоответствие замечает большинство потребителей	4
<b>Незначительное</b>	Отделка/шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Несоответствие замечает средний потребитель.	3
<b>Очень незначительное</b>	Отделка/шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Несоответствие замечают придирчивые потребители	2
<b>Отсутствует</b>	Нет последствия	1

В первую графу «Компонент (операция) / функция» заносится название элемента. В эту же графу заносятся:

- функция, выполняемая данным элементом;
- требования, связанные с данным элементом;
- требования по критерию функционирования.

Во вторую графу «Потенциальное несоответствие» заносится потенциальное несоответствие.

В третью графу «Последствие потенциального несоответствия» заносится последствие данного несоответствия.

В четвертую графу «Балл S» заносится ранг значимости.

## **Определение возможных причин потенциальных несоответствий**

Возможные причины потенциальных несоответствий определяются на основе анализа функций и требований к компонентам и взаимосвязям компонентов, изучения прошлых трудностей, связанных с анализируемым объектом. Глубина анализа определяется глубиной рассмотрения иерархической структуры объекта.

### **Оценка возникновения и обнаружения возможных причин потенциальных несоответствий и расчет ПЧР**

Для каждой причины потенциального несоответствия с помощью соответствующей типовой шкалы специалисты рабочей группы определяют ранги возникновения O и ранги обнаружения D (табл. 3.3,3.4).

Таблица 3.3. Типовая шкала баллов возникновения O при DFMEA

<b>Вероятность несоответствия</b>	<b>Возможная частота несоответствия</b>		<b>Балл</b>
<b>Очень высокая:</b> Несоответствие почти неизбежно	$\geq 10\%$	$\geq 100$ на тысячу изделий	10
	$\geq 5\%$	$\geq 50$ на тысячу изделий	9
<b>Высокая:</b> повторяющиеся несоответствия	$\geq 2\%$	$\geq 20$ на тысячу изделий	8
	$\geq 1\%$	$\geq 10$ на тысячу изделий	7
<b>Умеренная:</b> случайные несоответствия	$\geq 0,5\%$	$\geq 5$ на тысячу изделий	6
	$\geq 0,2\%$	$\geq 2$ на тысячу изделий	5
	$\geq 0,1\%$	$\geq 1$ на тысячу изделий	4
<b>Низкая:</b> относительно мало несоответствий	$\geq 0,05\%$	$\geq 0,5$ на тысячу изделий	3
	$\geq 0,01\%$	$\geq 0,1$ на тысячу изделий	2
<b>Малая:</b> несоответствие маловероятно	$\geq 0,001\%$	$< 0,01$ на тысячу изделий	1

Таблица 3.4. Типовая шкала баллов обнаружения D при DFMEA

Обнаружение	Способность обнаружения при проектируемом контроле	Балл
<b>Не обнаруживается</b>	Проектируемый контроль не обнаружит или не может обнаружить несоответствие (причину), или контроль не предусмотрен	10
<b>Очень плохое</b>	Очень плохие шансы обнаружить несоответствие (причину)	9
<b>Плохое</b>	Плохие шансы обнаружить несоответствие (причину)	8
<b>Очень слабое</b>	Очень ограниченные шансы обнаружения несоответствия	7
<b>Слабое</b>	Ограниченные шансы обнаружения несоответствия	6
<b>Умеренное</b>	Умеренные шансы обнаружения несоответствия	5
<b>Умеренно хорошее</b>	Умеренно высокие шансы обнаружения несоответствия	4
<b>Хорошее</b>	Высокие шансы	3
<b>Очень хорошее</b>	Очень высокие шансы	2
<b>Почти наверняка</b>	Проектируемые действия (контроль) почти наверняка обнаружат несоответствие	1

Ранги возникновения и обнаружения, выставленные рабочей группой, заносятся в протоколы анализа в столбцы «Балл O» и «Балл D» соответственно.

Расчёт ПЧР (приоритетное число риска) выполняется для каждой причины потенциального несоответствия и заносится в протокол FMEA в столбец «ПЧР».

### ***Разработка рекомендаций по снижению риска***

Разрабатываемые рекомендации должны быть направлены на снижение рангов S, O, D.

При определении рекомендаций рабочая группа должна учитывать два типа мер:

- предупреждение – предотвращение возникновения причины / несоответствия или снижение их частоты;
- обнаружение – обнаружение причины / несоответствия аналитическими или физическими методами до запуска изделия в производство.

### ***Оценка эффективности проведенных мероприятий***

На данном этапе осуществляется оценивание эффективности запланированных корректирующих / предупреждающих действий (разработанных мероприятий). Служба качества должна осуществлять мониторинг хода внедрения запланированных мероприятий в соответствии с программой и сбор данных о результатах внедрения.

По завершении выполнения запланированных мероприятий или возникновении новых данных руководитель осуществляет сбор рабочей группы в прежнем составе.

Проводится анализ и оценка значимости, возникновения и обнаружения, рассчитывается новое значение ПЧР по каждой причине с учетом проведенных работ.

В том случае, если все запланированные мероприятия внедрены и эффект корректирующих / предупреждающих действий адекватен поставленным при их разработке целям, процедура завершается и рабочая группа распускается.

В противном случае принимается решение о повторном FMEA-анализе объекта и разработке новых рекомендуемых мероприятий.

Пример заполнения протокола DFMEA представлен на рис. 3.6.

Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции

Лист 1 из 1

<input type="checkbox"/> система	Разработчик	Инж.	Дата:	22.03.99
<input checked="" type="checkbox"/> узел	01.03 перегородки кузов а	Служба	Предыдущий:	
<input type="checkbox"/> деталь	Модель, год:	01.03.03	Следующий:	14.07.99
Команда исполнителей:			Номер ГМЕА	

Идентификатор / Функция	Потенциальное несоответствие	Последствие потенциального несоответствия	Знач S	Потенциальная причина или механизм несоответствия	Возн O	Действующие меры по предотвращению	Действующие меры по обнаружению	Обн D	ПЧР	Рекомендуемое действие	Ответственный и назначенная дата	Результаты Действий				
												Предпринятые действия	Новые баллы	S	O	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Передняя дверь НВНХ-0000А	Коррозивные внутри нижние панели дверей	Ухудшение состояния двери, ведущее к:	7	Верхний край защитного покрытия, назначенного для внутренних панелей дверей, слишком высок	6		Проверка при испытании на общую долговечность транспортного средства Т-118, Т-109, Т-301	7	294	Доб. улучшение лаб. испытаний на коррозию	Разработчик кузова	Верхний край покрытия пошаток на 125 мм	7	2	2	28
- Вход и выход из транспортного средства		- Неудовлетворительному внешнему виду из-за														
- Задняя панель пола, шум и бокового удара		протеканиям со временем разлития краской	7	Установлена недостаточная толщина покрытия	4		Проверка при испытании на общую долговечность транспортного средства (СМ.вклейке)	7	196	То же и проведение лабораторного эксперимента по толщине покрытия	То же и проведение лабораторного эксперимента на верхний край покрытия	Результаты испытаний показали вазот долговечность толщиной, ПЭ показали жет, что 25% - не менее чья ось толщина	7	2	2	28
- Основание для оборудования двери, включая зер-кало, петли, заморд стэкполотельник на		- Ухудшение функций внутреннего оборудования двери	7	Назначен неподходящий состав покрывки	2		Испытание физ. И жет Лаборатория - отчет №1285	2	28	Ничего						
- Предоставление надежной поверхности для декоративной отделки			7	Неудачный ваз дух помешал покрытию вкоти в улы и края	5		Разработка и исследование с нефункционирующей головкой расталкивала	8	280	Доб. командная оценка с применением расталкиваемого оборудования и назначен. покрытие	Операторы сборки кузова	На основе испытаний предусмотрена 3 дел. вентиляционных отв.	7	1	3	21
- Окраска и полировка			7	Недостаточно расстояние между панелями для доступа головок расталкивала	4		Оценка по чертежу доступа головок	4	112	Доб. командная оценка с применением головок и встолк при испытании	Операторы сборки кузова	Оценка показала достаточный доступ	7	1	1	7

Рис. 3.6. Пример заполнения протокола DFMEA [5,6]



### **3.3. Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий процесса (PFMEA)**

#### ***Формирование команды экспертов***

Базовый (минимально необходимый) состав команды специалистов должен включать шесть человек:

- руководителя рабочей группы;
- инженера-технолога, ответственного за разработку технологического процесса;
- инженера-технолога, ответственного за разработку аналогичного технологического процесса;
- инженера-конструктора;
- представителя отдела работы с потребителем;
- представителя производства / службы контроля.

#### ***Исходные данные для анализа FMEA процессов***

Перед проведением FMEA команда экспертов осуществляет сбор и изучение исходных данных. Исходные данные для анализа FMEA процесса должны содержать информацию о процессе и продукции, требованиях, предъявляемых к системе в целом и отдельным ее составляющим, факторах окружающей среды, влияющих на результаты. Материалы и данные для дальнейшего анализа могут включать чертежи, технологические и другие документы.

Изучение технологических процессов должно включать не только изучение документации, но и анализ технологических процессов на рабочих местах.

#### ***Выбор процессов для проведения анализа FMEA***

Технологические процессы (операции, переходы) для последующего проведения анализа видов, последствий и причин потенциальных несоответствий выбирают по определенным критериям. При выборе технологических процессов (операций, переходов) необходимо учитывать не только требования к изделию, но и особенности технологического процесса.

При выборе технологических процессов для проведения FMEA можно использовать следующие критерии:

- технологический процесс является новым (более 50 % новых операций);
- в ходе техпроцесса происходит формирование параметров, влияющих на безопасность продукции;
- были даны рекомендации DFMEA анализа несоответствий конструкции детали/узла, к которой относится техпроцесс;
- в техпроцессе применяется новое или модернизированное оборудование/оснастка/инструмент;
- имело место изменение технологии, в т.ч. изменение методов контроля в техпроцессе;
- имело место изменение графиков ремонта и обслуживания оборудования, применяемого в техпроцессе, и поверки, калибровки, аттестации и ремонта средств измерения, используемых в техпроцессе.

После выбора процессов для анализа определяется последовательность его проведения. Критерии выбора последовательности анализа технологических процессов могут быть следующими:

- требования FMEA конструкции (DFMEA);
- требования заказчиков;
- критические (влияющие на безопасность) процессы;
- значительные изменения процесса (более 50 % новых операций);
- внедрение SPC;
- новое оборудование/инструмент;
- окружающая среда/риски труда.

### ***Описание операций, целей и требований к операциям***

Заполнение графы 1 протокола PFMEA осуществляется с учётом определенных функций, целей и требований к процессу. Функции технологической операции описываются с точным указанием технологических режимов и параметров. Требования к результатам (цели) должны быть выражены в количественной форме с указанием поля допуска.

На рис. 3.7 приведен пример заполнения графы 1 карты (протокола) PFMEA.

Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий процесса

Лист 1 из 1

Изделие: Передняя дверь Ответственный: Ииж. Служба Дата: 17.05.99 Номер ГМЕА: 1450  
 Модель, год: 1999/Соп 4dr за разработку: Служба Предыдущий: 06.11.99 Следующий: 06.11.99  
 Команда исполнителей: 01.03.03 Рук-ль рабочей группы:

Процесс / функция / Требования	Потенциальное несоответствие	Последствие потенциального несоответствия	Знач S	Потенциальная причина или механизм несоответствия	Возн O	Действующие меры по предотвращению	Действующие меры по обнаружению	Обн D	ПЧР	Рекомендуемое действие	Ответственный и назначенная дата	Результаты действий					
												Предпринятые действия	Новые баллы				
													S	O	D	PЧР	
1 Ручное наложение покрытия внутри двери	2 Недостаточное покрытие по указанной поверхности	3 Укороченная жизнь двери, ведущая к	4 7	5 Головка распылителя не вводится вручную достаточно глубоко	6 8	7 Картина распыления в начале и после периода простоя и прогрева предр. обслуж. для очистки головок	8 Вз уагалак проверка каждой тервал час слена в толщину слоя (де мератель глубина) и толщина	9 5	10 280	11 1. Добавить стопор глубины к распылителю 2. Автоматизи- ро вать распыление	12 Тех. служба производства	13 1. Проверка скваженного споруок распылителя в работе 2. Отключено на-за спожности с разналат дверки на сеной плечи	14 7	15 15	16 2	17 5	18 70
Покрель внутреннюю поверхность двери в нижней части минимальными слоем покрытие для задержки коррозии		- неудовлетворител- ьному внешнему виду и за проступания ржаичека ссаза краску со временем	7	Головки распылителя забиваются из-за чрезмерной вязкости, сниженной температуры, сниженного давления	5	Картина распыления в начале и после периода простоя и прогрева предр. обслуж. для очистки головок	То же	5	175	Применить планирование эксперимента по температуре, вязкости и давлению	Тех. служба производства	Определена пределл температур и давление, коне- давление, коне- рольная карта показываает, что процес стал у-стойчив, С рк=1,85	7	1	5	36	
			7	Головка распылителя деформирована из-за удара	2	Предупредительное обслуживание для поддержания головок	То же	5	70	Ничего							
		- ухудшение функций вкнутри дверного оборудования	7	Время распыления недостаточное	8		Инструмент оператору и выбо рочный контроль (10 дверей в смену) для проверки толщаты в критических местах	7	392	Установить таймер распылителя	Обслуживание	Автоматический таймер установлен, он заказывает распыление, контрольные карты показываает, что процес стал у-стойчив С рк=2,05	7	1	7	48	

Рис. 3.7. Пример заполнения протокола РГМЕА

## ***Определение видов потенциальных несоответствий и их последствий***

Виды потенциальных несоответствий определяются на основе анализа технологического процесса и информации о несоответствиях подобных технологических процессов. При генерации видов несоответствий для указания в графу 2 протокола можно исходить из следующих предположений:

- невыполнение операции (например, пропуск операции);
- частичное невыполнение операции (например, недостаточная длина сварного шва);
- неправильное выполнение операции (например, несоответствующие параметры процесса – скорость, давление и др.);
- выполнение непредусмотренных (вредных) действий (например, загрязнение, избыточная влага и т.п.).

Список несоответствий должен быть полным, но в него не следует включать несоответствия, возникновение которых невозможно или слишком маловероятно. Несоответствия должны описываться в физических и технических терминах, а не в терминах того, что может заметить потребитель. При формулировании несоответствия считается, что предшествующие операции соответствуют требованиям к ним и не являются причиной несоответствия в рассматриваемой операции. Пример заполнения графы 2 протокола PFMEA приведен на рис. 3.7.

Возможные последствия потенциальных несоответствий определяются с учетом замечаний потребителей и назначения продукции. Все последствия заносятся в графу 3 протокола анализа (см. рис. 3.7).

### ***Оценка значимости потенциальных несоответствий***

Для каждого последствия анализируемого несоответствия эксперты оценивают его значимость  $S$  (аналогично PFMEA см. 3.2). Это значение указывается в графе 4 протокола (см. рис. 3.7).

Оценка зависит от тяжести последствий несоответствия и определяется с помощью 10-балльной шкалы (см. табл. 3.5). При оценивании исходят из того, что значимость применима только к последствию. Если последствий несколько и значимости их разные, то для дальнейшего расчета ПЧР используется максимальное значение значимости.

Таблица 3.5. Типовая шкала баллов значимости S при PFMEA

Последствие	Критерий значимости последствия		Балл S
	Конечный потребитель	Производство/сборка	
Опасное без предупреждения	Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального <i>дефекта (несоответствия)</i> ухудшает безопасность работы изделия и (или) вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения.	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке без предупреждения.	10
Опасное с предупреждением	Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального <i>дефекта (несоответствия)</i> ухудшает безопасность работы изделия и (или) вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением.	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке с предупреждением.	9
Очень важное	Изделие/узел неработоспособны с потерей главной функции. Потребитель очень недоволен.	Большое нарушение производственной линии. Может браковаться до 100 % продукции или ремонт занимает более часа.	8
Важное	Изделие работоспособно, но с пониженной эффективностью. Потребитель неудовлетворен.	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка продукции, когда часть ее бракуется, или ремонт от 0,5 до 1 часа.	7
Умеренное	Изделие/узел работоспособны, но некоторые системы комфорта и удобства не работают. Потребитель испытывает дискомфорт.	Небольшое нарушение производственной линии. Часть продукции необходимо забраковать (без сортировки) или ремонт менее получаса.	6
Слабое	Изделие/узел работоспособно, но некоторые системы комфорта и удобства работают с пониженной эффективностью. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение.	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка до 100 % продукции или ремонт на месте.	5
Очень слабое	Изделие пригодно, но отделка и шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Этот дефект (несоответствие) замечает большинство потребителей (более 75 %).	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка и частичная переделка продукции.	4
Незначительное	Изделие пригодно, но отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект (несоответствие) замечает 50 % потребителей.	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка части продукции на специальном участке.	3
Очень незначительное	Изделие пригодно, но отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект (несоответствие) замечает разборчивый потребитель (менее 25 %).	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться доработка части продукции на основной технологической линии.	2
Отсутствует	Никакого заметного последствия.	Легкое неудобство для оператора	1

## **Определение возможных причин потенциальных несоответствий**

Возможные причины потенциальных несоответствий определяются на основе описания анализа операций (графа 1 протокола) и требований к операции, а также изучения прошлых трудностей, связанных с анализируемым процессом (статистические данные).

Причины следует описывать через факторы, которыми можно управлять или корректировать. Описание должно быть как можно более точным и полным. Это необходимо для того, чтобы выработать результативные рекомендации.

Выявленные причины заносятся в графу 5 протокола. Одновременно в графах 7 и 8 «Меры по предупреждению» и «Меры по обнаружению» указываются существующие меры по предупреждению и обнаружению каждой причины (см. рис. 3.7).

### **Оценка возникновения и обнаружения возможных причин и расчет ПЧР**

Для каждой причины потенциального несоответствия с помощью соответствующей типовой шкалы (табл. 3.6, 3.7) необходимо определить ранги возникновения О и обнаружения D.

Ранги возникновения и обнаружения, выставленные по 10-балльной шкале, заносятся в протокол анализа, в графы 6 и 9 соответственно.

Таблица 3.6. Типовая шкала баллов возникновения О при PFMEA

Вероятность несоответствия	Возможная частота несоответствия	Индекс Ppk	Балл О
<b>Очень высокая: постоянные несоответствия</b>	> 100 на 1000	< 0,55	10
	50 на 1000	> 0,55	9
<b>Высокая: частые несоответствия</b>	20 на 1000	» 0,78	8
	10 на 1000	» 0,86	7
<b>Умеренная: случайные несоответствия</b>	5 на 1000	» 0,94	6
	2 на 1000	» 1,00	5
	1 на 1000	» 1,10	4
<b>Низкая: относительно мало несоответствий</b>	0,5 на 1000	» 1,20	3
	0,1 на 1000	» 1,30	2
<b>Малая: несоответствие маловероятно</b>	< 0,01 на 1000	> 1,67	1

ПЧР (приоритетное число риска) рассчитывается для каждой причины потенциального несоответствия как произведение рангов значимости, возникновения и обнаружения. Результат заносится в протокол FMEA в графу 10.

Таблица 3.7. Типовая шкала баллов обнаружения D при PFMEA

Типы контроля: А – с защитой от ошибок; В – контроль с помощью калибра; С – ручной контроль

Обнаружение	Критерии	Типы контроля			Предполагаемые методы управления	Балл D
		A	B	C		
<b>Почти невозможно</b>	Абсолютная уверенность в необнаружении несоответствия			*	Не могут обнаружить или не проверяются	10
<b>Очень отдалённое</b>	Вероятно, контроль не обнаружит несоответствие			*	Управление достигается только непрямыми или случайными проверками	9
<b>Отдалённое</b>	У контроля мало шансов обнаружить несоответствие			*	Управление достигается только визуальным контролем	8
<b>Очень слабое</b>	У контроля мало шансов обнаружить несоответствие			*	Управление достигается только двойным визуальным контролем	7
<b>Слабое</b>	Контроль может обнаружить несоответствие с низкой вероятностью		*	*	Управление достигается контрольными картами (SPC)	6
<b>Умеренное</b>	Контроль может обнаружить несоответствие	*	*		Управление основано на изменении переменной после выхода изделия с поста или сплошной контроль да/нет после выхода изделия с поста	5
<b>Умеренно хорошее</b>	У контроля умеренно хорошие шансы обнаружить несоответствие	*	*		Обнаружение ошибок на последующих операциях или контроль при запуске и проверке первых изделий	4
<b>Хорошее</b>	У контроля хорошие шансы обнаружить несоответствие	*	*		Обнаружение ошибок на poste или на последующих операциях несколькими слоями приёмки: поставка, отбор, установка, проверка. Не может принять отличающуюся часть/изделие	3
<b>Очень хорошее</b>	Контроль почти наверняка обнаружит несоответствие	*	*		Обнаружение ошибок на poste (автоматический контроль с функцией автоматической остановки). Не может пропустить отличающуюся часть/изделие	2
<b>Очень хорошее</b>	Контроль наверняка обнаружит несоответствие	*			Отличающиеся изделия не могут быть изготовлены	1

### ***Ранжирование причин потенциальных несоответствий***

Чтобы выделить среди причин потенциальных несоответствий те, которые обязательно должны быть устранены (наиболее рискованные), производят ранжирование причин (например, с использованием диаграммы Парето).

Следует определить, какие виды несоответствий требуют доработки процесса в первую очередь (несоответствия с максимальным ПЧР). Также необходимо уделить внимание видам несоответствий, значимость последствий которых велика (ранг значимости составляет 9 или 10, то есть данные несоответствия влияют на безопасность).

Чтобы выделить причины потенциальных несоответствий, риск которых основан не только на высокой значимости последствия, но и на высокой частоте возникновения, причины можно ранжировать по произведению рангов значимости и возникновения (S·O).

### ***Разработка рекомендаций по снижению риска***

Для всех причин, имеющих значение  $\text{ПЧР} \geq \text{ПЧР}_{\text{гр}}$ , разрабатывают рекомендации, направленные на снижение риска до приемлемого уровня.

Формулируются конкретные меры устранения выявленных потенциальных несоответствий и/или их причин, направленные на снижение показателей O, D и, соответственно, ПЧР. Предварительно по каждой причине проводится анализ и оценка возникновения и обнаружения и рассчитывается планируемое значение ПЧР.

Разработанные рекомендации с указанием ответственных за исполнение и сроков заносят в графы 11 и 12 протокола анализа.

### ***Оценка эффективности запланированных мероприятий***

После выполнения запланированных мероприятий команда экспертов проводит повторный анализ, выполняя оценку значимости, возникновения и обнаружения для каждой причины и рассчиты-



вая новое значение ПЧР с учетом проведенных работ. Новые значения S, O, D и ПЧР заносятся в графы 14–17 протокола анализа.

В том случае, если все запланированные мероприятия будут внедрены и эффект корректирующих/предупреждающих действий адекватен поставленным при их разработке целям, процедура будет считаться завершенной. В противном случае принимается решение о проведении повторного FMEA-анализа процесса и разработке новых рекомендуемых мероприятий.

### **3.4. Резюме по главе 3**

1. В настоящее время не менее 80 % разработок технических изделий и технологий проводится с применением анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA-методологии).

2. Наибольший эффект дает применение FMEA на этапах разработки конструкции и процессов, однако и в действующем производстве метод может эффективно применяться для устранения несоответствий и их причин, не выявленных при разработке или обусловленных факторами изменчивости процессов производства.

3. FMEA следует осуществлять либо до появления несоответствия, либо немедленно после выявления несоответствия.

4. FMEA способствует новому образу мышления современного научно-технического обеспечения качества.

5. FMEA исключает ошибки и связанные с ними дефекты, а следовательно, избавляет от рекламаций, судебных исков и значительных затрат на устранение дефектов.

6. Для расчета ПЧР используется максимальное значение значимости.

7. Для проведения всестороннего анализа необходимо привлечение специалистов различных служб – конструкторских, технологических, производственных, контролирующих, специалистов по применяемым материалам, службы качества, представителей службы закупок и по возможности специалистов поставщиков, предпри-

ятий по техническому обслуживанию продукции и др. Рекомендуемое число членов команды – от 4 до 10 человек.

8. Несоответствия должны описываться в физических и технических терминах, а не в терминах того, что может заметить потребитель.

### **3.5. Вопросы для самостоятельной работы**

1. В чем заключается главная цель FMEA?
2. Когда (на каких этапах) достигается максимальный эффект от применения FMEA технологических процессов?
3. В каких терминах описываются потенциальные несоответствия и их последствия?
4. Каким образом определяются причины потенциальных несоответствий процесса?
5. Какие действия следует предпринять, если мероприятия оценены как неэффективные?
6. Что понимается под значимостью, возникновением, обнаружением и как они оцениваются?

## ГЛОССАРИЙ

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

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

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

**CP (control plan), план управления**– документированное описание процессов, необходимых для управления качеством продукции.

**APQP/CP (Advanced Product Quality Planning and Control Plan), планирование качества перспективной продукции и планы управления качеством** – методы планирования качества при разработке и подготовке производства новой/модифицированной продукции. План управления качеством применяется на стадиях разработки опытных образцов продукции, подготовке производства и промышленном производстве продукции.

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

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

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

**ПЧР, приоритетное число риска** – обобщенная количественная характеристика несоответствия, его причины или последствия (в зависимости от области применения и объекта анализа), учитывающая значимость и вероятности возникновения и обнаружения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИСО 9000:2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
2. ИСО 9001:2015 Система менеджмента качества. Требования.
3. ЕН 9100:2009 (ГОСТ Р ЕН 9100-2011) Системы менеджмента качества организаций авиационной и оборонных отраслей промышленности. Требования
4. ИСО / ТУ 16949: (ГОСТ Р 51814.1) Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Особые требования по применению ИСО 9001:2008 в автомобильной промышленности и организациях, производящих соответствующие запасные части.
5. ГОСТ Р 51814.2 – 2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.
6. ГОСТ Р 51814.6-2005 Системы качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планировании, разработке и подготовке производства автомобильного компонента.
7. Планирование качества перспективной продукции и программа качества. APQP / пер. с англ. – 2-е изд. – Н.Новгород: АО НИЦ КД, СМЦ «Приоритет», 2008. – 127 с.
8. Технология самолётостроения: учебник для авиационных вузов /А.Л. Абибов, Н.М. Бирюков, В.В. Бойцов [и др.]; под ред. А.Л. Абибова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – 551 с.
9. Панюков, Д.И. Проектирование новых производственных процессов / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Г.Г. Сластина // Стандарты и качество. – 2014. – №11(929). – С. 92-95.
10. Вашуков, Ю.А. Особенности сборки деталей из композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов: учеб. пособие / Ю.А. Вашуков. – Самара, 2007.

11. Разработка математической модели технологического процесса постановки резьбового вкладыша в отверстие трехслойной панели / В.А. Барвинок, Ю.А. Вашуков, Н.Ю. Поникарова, О.В. Ломовский // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2001. – № 2. – С. 26.
12. Дмитриев, А.Я. Проектирование качества продукции на основе параметрической идентификации моделей, требований потребителей, знаний: онтологическая парадигма / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Онтология проектирования. – 2015. – Т. 5. – № 3 (17). – С. 313-327.
13. Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, Ю.В. Зорин. – М., 2001. – 449 с.
14. Планирование качества / пер. с англ. – М.: НТК «Трек», 1999. – Вып. 5. – 29 с. – Сер. «Все о качестве. Зарубежный опыт».
15. Программа обеспечения качества – категория 1 / пер. с англ. – М.: НТК «Трек», 1998. – 36 с.
16. Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагучи / Р. Леон, А. Шумейкер, Р. Какар [и др.]; пер. с англ., 2002. – 384 с.
17. Адлер, Ю.П. Сколько ни развертывай, а структурировать все равно придется / Ю.П. Адлер // Методы менеджмента качества. – 2002. – №4. – С.11-13.
18. Кузьмин, А.М. История возникновения, развития и использования метода развертывания функции качества / А.М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 1,2.
19. Брагин, Ю.В. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей / Ю. В. Брагин, В.Ф. Корольков. – Ярославль: Центр качества, 2003. – 240 с.
20. Megyeri, J. Quality Function Deployment in Practice / J. Megyeri // 44-th EOQ Congress. – Budapest, 2000.

21. Чекмарёв, А.Н. Статистические методы управления качеством / А.Н. Чекмарёв, В.А. Барвинок, В.В. Шалавин. – М.: Машиностроение, 1999. – 320 с.
22. Кершенбаум, В.Я. Решение задач квалиметрии машиностроения: учеб. пособие / В. Я. Кершенбаум, Р. М. Хвастунов, О.И. Ягелло. – М.: 2001, – 157 с.
23. Загоруйко, Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний / Н.Г. Загоруйко. – Новосибирск, 1999. – 270 с.
24. Дмитриев, А.Я. Метод идентификации качества продукции на основе матричного подхода / А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 4-4. – С. 879-891.
25. Akaou, Y. The leading edge in QFD: past, present and future / Y. Akaou, G.H. Mazur // International Journal of Quality & Reliability Management. – 2003. – Т. 20. – №. 1. – С. 20-35.
26. Mazur, G. QFD 2000: Integrating QFD and Other Quality Methods to Improve the New Product Development Process // 12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. Proceedings of 12th Symposium on QFD/6th International Symposium on QFD2000. – 2000. – С. 305-317.
27. QFD Symposium Transactions All Abstracts 1989–2014. [http://www.qfdi.org/books/symposium\\_proceedings\\_all\\_abstracts.html](http://www.qfdi.org/books/symposium_proceedings_all_abstracts.html)
28. Fehlmann, T.M. The impact of linear algebra on QFD / T.M. Fehlmann // Int. J. of Quality & Reliability Management. – 2005. – Vol. 22, Issue 1. – P. 83–96. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710510573011>.
29. Вашуков, Ю.А. QFD: Разработка продукции и технологических процессов на основе требований и ожиданий потребителей / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина; Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева. – Самара, 2012. – 32 с.

30. Вашуков, Ю.А. Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA): метод. указания / Ю.А. Вашуков, А.Я. Дмитриев, Т.А. Митрошкина; Самарский государственный аэрокосмический университет. – Самара, 2008. – 31 с.
31. Годлевский, В.Е. Применение метода анализа видов, причин и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) на различных этапах жизненного цикла автомобильной продукции / В.Е. Годлевский, А.Я. Дмитриев, Г.Л. Юнак; под ред. В.Я. Кокотова. – Самара: ГП «Перспектива», 2002. – 160 с.
32. Родионов, В.Н. Инновационное преобразование рабочих мест на основе интеграции методов QFD и FMEA / В.Н. Родионов, Т.В. Попова, А.Я. Дмитриев, Т.А.Митрошкина // Методы менеджмента качества. – 2011. – № 8. – С. 30-35.
33. Родионов, В.Н. Метод разработки инноваций с учетом рисков в производстве автотракторных проводов / В.Н. Родионов, Т.В. Попова, А.Я. Дмитриев, Т.А.Митрошкина // Кабели и провода. –2011. – № 1 (326). – С. 10-14.
34. Барвинок, В.А. Современные технологии в авиа- и ракетостроении: [учебник для вузов по специальностям «Авиа- и ракетостроение» / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, С.Г. Дементьев, А.Н. Кирилин и др.]; под ред. В.А. Барвинка. – М.: Машиностроение, 2014. – 401 с.
35. Dmitriev, A. The ontological model and the hybrid expert system for products and processes quality identification involving the approach based on system analysis and quality function deployment / A. Dmitriev, T. Mitroshkina / ITM Web of Conferences. – 2016. – Т. 6. – С. 02005. – DOI:<http://dx.doi.org/10.1051/itmconf/20160602005>





## ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ QFD

### Пример развертывания функции качества для разработки алюминиевого контейнера

В качестве примера выбран алюминиевый контейнер.

Фаза №1 – *планирование продукции*. Результатом является идентификация важных характеристик продукции, соответствующих требованиям и ожиданиям потребителя и обеспечивающих его конкурентоспособность. Этот этап заканчивается созданием матрицы планирования продукции, Дома качества I уровня (табл. Б1).

Таблица Б1. Матрица планирования разработки  
алюминиевого контейнера: ● – сильная связь; ○ – средняя; Δ –  
слабая. Вес связи соответственно 9, 3, 1

Требования клиента	Важность	Толщина стенки	Диаметр контейнера	Высота контейнера
Легкий	4	●		
Удобный	5		●	
Дешевый	3	●		○
Цели				
Важность		63	45	9

Фаза №2 – *проектирование продукции*. Предусматривает идентификацию наиболее критических частей создаваемой продукции, которые обеспечивают воплощение характеристик качества, выявленных в результате выполнения первого этапа (табл. Б2). Итогом является выбор продукции, которая в наибольшей степени отвечает ожидаемым ценностям продукции для потребителя.

Таблица Б2. Проектирование продукции

Требования клиента	Важность	Фестонистость	Удлинение	Предел текучести/предел прочности	Шероховатость	Плоскостность	Неметаллические включения	Оценка конкурентов
Толщина стенки	5	●		○			●	
Диаметр контейнера	4	●			○			
Высота контейнера	3	△	△	△		○	△	
Цели Б С		< 4%	7	0,92	0,3	1%		
		4	6,5	0,94	0,4	1,1%		
Оценка конкурентов								■ Конкурент Б ▲ Наш продукт ◆ Конкурент С
Важность		84	3	15	15	9	39	

Фаза №3 – проектирование процесса. Предусматривает трансформацию характеристик спроектированной продукции в конкретные технологические операции, обеспечивающие получение продукции с заданными свойствами (табл. Б3).

Таблица Б3. Проектирование процесса

Требования	Важность	Гомогенизация		Горячая прокатка				Холодная прокатка	
		Температура гомогенизации	Время выдержки	Температура нагрева	Величина биения валков	Усилие валков	Шероховатость валков	Профиль и шероховатость валков	Скорость прокатки
Фестонистость	5	○	○	●					
Удлинение	1	○	○						
Предел текучести/предел прочности	3	○	○						
Шероховатость	3					△	○	●	
Плоскостность	2				○	○		○	○
Неметаллические включения	4	○	○						
Цели		597 <sup>0</sup> С	8 ч	460-470 <sup>0</sup> С		900 тс	≤ 120 мкм	0,06 мм	650-700 м/мин.
Важность		39	39	45	6	9	9	33	6

Учебное издание

*Дмитриев Александр Яковлевич,  
Вашуков Юрий Александрович,  
Митрошкина Татьяна Анатольевна*

**РОБАСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА  
ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

*Учебное пособие*

Редактор Ю.Н. Литвинова  
Доверстка Т.С. Зинкина

Подписано в печать 06.04.16. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 4,75.  
Тираж 120 экз. Заказ . Арт. – 10/2016.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Изд-во СГАУ. 443086, Самара, Московское шоссе, 34.

