

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.И. Логанина

СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 27.04.02
«Управление качеством»

Пенза 2016

УДК 658.562: 591.2

ББК 38.3в6

Л69

Рецензент – кандидат технических наук, доцент
С.Н. Кислицына (ПГУАС)

Логанина В.И.

Л69

Статистическое управление качеством продукции: учеб. пособие по направлению подготовки 27.04.02 «Управление качеством» / В.И. Логанина. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 96 с.

Приведены сведения о современных инструментах управления качеством продукции. Рассмотрены конкретные примеры применения статистических методов управления качеством продукции. Разработано с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования для направления 27.04.02 «Управление качеством» (уровень магистра).

Подготовлено на кафедре «Управление качеством и технология строительного производства» и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению подготовки 27.04.02 «Управление качеством».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2016

© Логанина В.И., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Статистическое управление качеством продукции» имеет функциональную связь с базовыми дисциплинами и имеет своей целью обучение студентов основам системного подхода к исследованию технологических процессов, который складывается из регистрации и сбора информации по качеству, анализа этой информации с целью выработки корректирующих мероприятий, направленных на повышение качества продукции.

Необходимость изучения дисциплины диктуется потребностями рыночной экономики, в условиях которой эффективная деятельность различного рода предприятий основывается на конкурентоспособности (услуг, продукции, информации). Основу конкурентоспособности, например продукции, составляет ее качество, стабильность которого достигается путем внедрения на предприятиях систем качества и подтверждается сертификацией систем качества и продукции.

Задачами дисциплины является:

- обучение студентов основам системного подхода к исследованию технологических процессов;
- дать теоретические знания в области статистических методов в управления качеством в условиях развития рыночных форм хозяйствования;
- научить организовывать работу по использованию статистических методов в управлении качеством;
- дать практические рекомендации по оценке состояния технологического процесса;
- ознакомить с современной практикой отношений поставщиков и заказчиков в области качества;
- сформировать знания и навыки в области статистических методов управления качеством на предприятиях и обеспечения эффективного функционирования системы качества.

В результате освоения программы магистратуры у выпускника должны быть сформированы следующие общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции:

способность собирать, обрабатывать и интерпретировать с использованием современных информационных технологий данные, необходимые для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам;

способность участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества;

способность осуществлять постановку задачи исследования, формирование плана его реализации;

способность выбирать существующие или разрабатывать новые методы исследования;

способность разрабатывать рекомендации по практическому использованию полученных результатов исследований.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

– основы современного управленческого мышления, ориентированного на реализацию концепции управления качеством;

– методы статистического анализа;

– основные понятия статистического анализа;

– основы концепции всеобщего управления качеством продукции;

– теоретические основы создания систем качества;

– методы управления качеством при планировании продукции (оказании услуг);

– методы статистического анализа продукции (услуг) при планировании продукции (оказании услуг);

– основные методы статистического анализа;

– основы теории вероятности;

– основы управления качеством изучаемых объектов;

– требования к разработке корректирующих и превентивных мер, направленных на повышение, обеспечение и управление качеством изучаемого объекта;

уметь:

– формировать номенклатуру показателей качества объектов;

– формировать группу аналогов и осуществлять выбор базового образца;

– ставить и реализовывать задачи по разработке организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение качества продукции;

– участвовать в создании систем качества и оценивать их эффективность на соответствие отечественным и международным нормам;

– применять актуальную нормативную документацию в области статистического управления качеством продукции (оказании услуг);

– применять методы статистического анализа продукции;

– выбирать эффективные статистические инструменты оценки и управления качеством изучаемых объектов;

– применять на практике традиционные и современные статистические методы оценки и управления качеством изучаемых объектов;

– разрабатывать новые, более эффективные средства контроля качества;

– разрабатывать нормативно-техническую документацию по созданию системы обеспечения качества и контролю ее эффективности;

– пользоваться современными наработками в области статистического управления качеством;

Владеть:

- приемами организации и проведения работы по оцениванию качества объектов;
- современными статистическими инструментами контроля и управления качеством объектов исследования;
- навыками принятия решений в нестандартных ситуациях;
- знаниями национального и международного опыта в области планирования качества продукции;
- навыками составления планов мероприятий, направленных на улучшение качества изучаемого объекта;
- статистическими методами по планированию качества выпускаемой организацией продукции в соответствии с требованиями стандартов и технических условий, утвержденными образцами (эталонами) и технической документацией;
- статистическими методами оценки уровня качества изучаемых объектов;
- навыками использования стандартов по статистическим методам контроля, а также по расчету индексов воспроизводимости технологического процесса;
- методологией практической реализации предлагаемых мероприятий; методами организации работ по обеспечению качества в условиях конкретного производства.

1. ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1.1. Общие сведения

В соответствии с нормативным документом Р 50-601-20-91 «Рекомендации по оценке точности и стабильности технологических процессов (оборудования)» технологический процесс производства (ТП) обобщенно может быть представлен следующей моделью, включающей:

- входные параметры X_i ;
- влияющие регулируемые параметры Z_j ;
- влияющие нерегулируемые параметры V_m ;
- выходные параметры Y_k .

Под входными параметрами понимаются параметры сырья, материалов и комплектующих изделий, из которых производится продукция.

Под влияющими регулируемыми параметрами понимаются параметры и показатели состояния технологического оборудования, энергии, технологические параметры (скорость обработки, температура и влажность, время и т.н.).

Под влияющими нерегулируемыми параметрами понимаются параметры, имеющие случайную природу или принимающие таковой характер ввиду отсутствия методов и средств, фиксирующих их изменение и влияние на технологический процесс. Сюда относятся износ обрабатывающего инструмента, отклонения дисциплинарного характера в работе обслуживающего персонала при выполнении предписанных воздействий на процесс и регулировки.

Именно параметры этой группы вызывают те значительные колебания в показателях точности и стабильности технологических процессов, которые, в свою очередь, вызывают колебания в качестве производимой, продукции.

Под выходными параметрами понимаются те фиксируемые параметры, которые и определяют: качественный состав продукции, получаемой в результате произведенного процесса. Это функциональные параметры, продукции и его эксплуатационные показатели или потребительские свойства.

Основной целью статистического анализа точности и стабильности технологического процесса является получение и обработка систематизированной непрерывной информации о качестве продукции, необходимой для дальнейшего совершенствования технологического процесса, а также для определения оптимальных параметров его статистического регулирования.

Под точностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать близость действительных значений параметров к нормируемым их значениям.

Под стабильностью технологического процесса понимается его свойство обеспечивать постоянство распределения вероятностей его параметров в течение некоторого интервала времени без вмешательства извне.

Под статистическим анализом точности и стабильности технологического процесса понимается совокупность действий по установлению статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определению закономерностей их изменения во времени.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса должен проводиться при:

- определении фактической точности технологических операций;
- оценке качества проведенного ремонта оборудования;
- внедрении новых технологических процессов, средств измерений,
- технологической оснастки и приспособлений;
- уточнении требований к качеству сырья, материалов и комплектующих изделий в случае возникновения разногласий;
- экспертизе готовности производства к выпуску продукции, соответствующей требованиям чертежей, технических условий и стандартов;
- контроле соблюдения технологической дисциплины;
- внедрении статистических методов регулирования технологического процесса и приемочного контроля качества продукции;
- аттестации технологического процесса;
- аккредитации производства;
- сертификации выпускаемой продукции и систем качества.

Общее руководство проведением работ по подготовке и обследованию технологического процесса осуществляется отделом главного технолога (ОГТ) при участии технологических служб цехов, отдела технического контроля (ОТК), бюро статистических методов контроля (БСМК).

Подготовка к проведению статистического анализа включает следующие этапы:

- проведение профилактического обслуживания и ремонта на обследуемом участке с целью приведения оборудования в состояние, соответствующее техническим условиям и технологическим требованиям. Ответственные исполнители: отдел главного механика (ОГМ);
- укомплектование процесса (операций) основным, вспомогательным и измерительным инструментом и оснасткой в соответствии с действующей технологией и спецификациями. Ответственные исполнители: техническое бюро цеха, отдел главного метролога (ОГМ);

– проведение разъяснительной работы на участке с рабочими и наладчиками, доведение до них целей статистического анализа, путей и методов его проведения. Ответственные исполнители: технолог техбюро цеха, мастер участка;

– разработка методики статистического анализа (объемы выборок, периодичность их отбора, последовательность и порядок проведения замеров, оценка параметров в представлении вида распределения для этих параметров, сопоставление оценок и распределений с нормативными параметрами, допусками). Ответственные исполнители: техническое бюро цеха, ОГТ и др.;

– назначение параметров, подлежащих обследованию, исходя из цели анализа и с учетом влияния всего комплекса факторов, определяющих качество производимой продукции. Ответственные исполнители: отдел главного конструктора, отдел главного технолога, отдел технического контроля.

Одним из основных факторов, определяющих выполнение эксплуатационных показателей продукции, является точность функциональных параметров. Поэтому доказательство возможности применения статистических методов в производстве заключается в определении степени влияния функциональных параметров на эксплуатационные показатели с учетом тех допускаемых уровней дефектности, которые должны обеспечиваться, не вызывая при этом отклонений в нормальном функционировании продукции при ее эксплуатации.

Отсюда и важность выбора параметров для статического анализа с целью последующего выбора методов и средств для их контроля. Классификации подлежат геометрические, физические параметры, а также к качеству поверхностей, их внешнему виду и т.д. К геометрическим параметрам относятся линейные и угловые размеры, параметры резьб, формы и расположения поверхностей и т.д.

К физическим параметрам относятся электрические, магнитные, механические, химические и другие характеристики физических свойств материалов, заготовок, деталей, сборочных единиц, покупных и комплектующих изделий.

В соответствии с классификацией дефектов (критический, значительный, малозначительный) устанавливается три группы нормативов. К первой группе относятся параметры продукции, деталей и сборочных единиц, несоблюдение заданных требований к которым по точности и стабильности может привести к нарушению безопасности.

Ко второй группе относятся параметры продукции, влияющие на надежность работы изделий и их внешний вид, к третьей группе – параметры, не влияющие на безопасность и надежность работы (малозначительный дефект): незначительные отклонения в габаритных параметрах, отклонения

отдельных параметров, проверяемые при последующей сборке в сборочные единицы и т.д.

Как показывает анализ классификации параметров продукции, к первой группе может относиться до 5 % от общего количества параметров продукции, по второй – до 15-25 %, к третьей – до 60-85 % параметров. Именно параметры первой и второй группы подлежат статистическому анализу на точность и стабильность в первую очередь.

При выборе параметров продукции, подлежащей статистическому анализу, необходимо учитывать также затратные показатели, наличие средств измерений и вычислительной техники.

При серийном изготовлении строительных материалов и изделий в заводских условиях обеспечение соответствия показателя качества установленным требованиям должно являться основной целью при организации и подготовке производства и контроля. Вместе с тем, чрезвычайно важно не просто добиваться высоких показателей в отдельно взятые моменты времени, но таким образом организовать технологический процесс и его мониторинг, чтобы получать «стабильно» высокое качество на протяжении долгого и непрерывного периода времени.

Целью статистического анализа процесса является идентификация и устранение причин особой изменчивости, что должно обеспечить стабильное воспроизводство качества продукции.

Статистический анализ точности и стабильности технологического процесса – это установление статистическими методами значений показателей точности и стабильности технологического процесса и определение закономерностей его протекания во времени, корректирование значений параметров технологического процесса по результатам выборочного контроля контролируемых параметров, осуществляемое для технологического обеспечения требуемого уровня качества продукции.

Область применения статистических методов в задачах управления качеством продукции чрезвычайно широка и охватывает весь жизненный цикл продукции (разработку, производство, эксплуатацию, потребление и т.д.).

В первой четверти XX века знаменитый американский статистик Уолтер Шухарт создал инструментарий статистического регулирования процессов производства и качества продукции. В современной интерпретации его инструменты значительно развились и находят широчайшее применение как «статистическое управление процессами» (SPC).

Согласно принципам Шухарта, **управление качеством** направлено на обеспечение стабильности процессов и уменьшение их вариаций путем исключения причин, нарушающих стабильность процесса.

На любой процесс постоянно воздействует множество факторов, оказывающих влияние на его результаты. Любой процесс подвержен

совокупности причин изменчивости (вариабельности). При этом существует две группы причин: первая – случайные причины, вызывающие естественные вариации результатов, разброс которых можно держать под контролем, и вторая – особые причины, вызванные действием особых факторов. Появление именно особых причин нужно расследовать и устранять, чтобы процесс вернулся в стабильное (контролируемое) состояние. Специальные причины, как правило, связаны с чем-то, чего в нормальном ходе процесса не происходит.

Когда на систему действуют и системные, и особые вариации, ее состояние естественно назвать **статистически неуправляемым** или **нестабильным**.

Общими причинами вариаций называют те причины, при которых все отклонения параметров/характеристик процесса на контрольной карте находятся внутри заданных границ. В этом случае процесс называют статистически управляемым, или стабильным. Если имеются только общие причины вариации, выход процесса дает распределение, стабильное во времени и, следовательно, предсказуемое (рис.1).

Специальными причинами вариаций называют причины, которые на контрольной карте соответствуют выходящим за контрольные границы точкам. Если специальные причины вариаций присутствуют на контрольной карте, то процесс называют статистически неуправляемым, или нестабильным. Если имеются особые причины вариации, выход процесса является нестабильным во времени и непредсказуемым (рис.2).

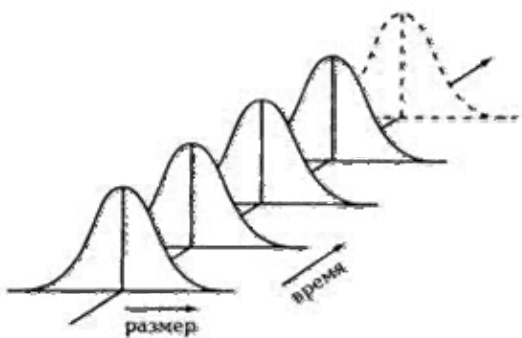


Рис. 1. Вид распределения стабильного процесса

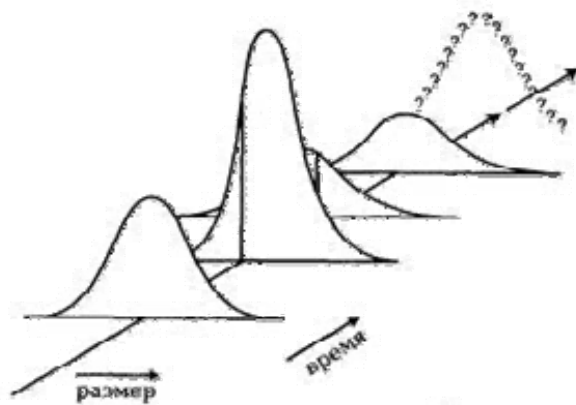


Рис. 2. Вид распределения нестабильного процесса

Статистика показывает, что не более 15 % всех проблем (или возможностей улучшения) в организациях связано с особыми причинами вариаций и, таким образом, они, возможно (но не обязательно!), находятся в поле деятельности рядовых работников.

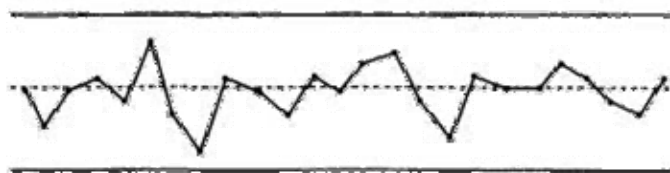
Инструмент разделения причин вариаций на общие и специальные – это контрольные карты, изобретенные У. Шухартом в 1924 г. Контрольная карта – это временной график, показывающий расположение последо-

вательных значений характеристики/параметра процесса относительно центральной линии и одной или двух контрольных границ (рис.3).

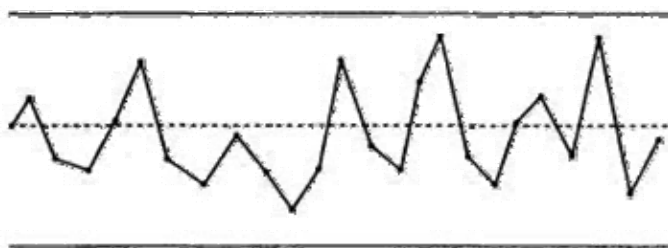
Контрольная карта нужна для определения того, находится ли процесс в статистически управляемом состоянии (т. е. присутствуют только общие причины вариаций), и для поддержания этого состояния. Существует набор определенных правил, позволяющих по контрольной карте процесса обнаруживать присутствие специальных причин вариаций.

Правило Шухарта заключается в том, что действия, соответствующие наличию особых причин вариаций, должны предприниматься в тех случаях, когда наносимые точки выходят за любую из контрольных границ.

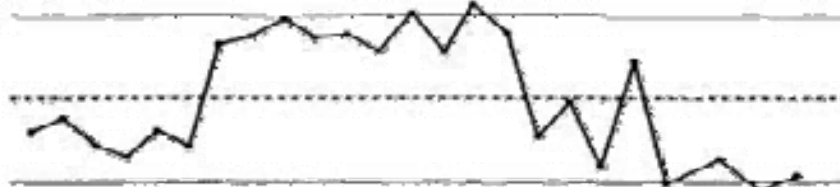
а



б



в



г

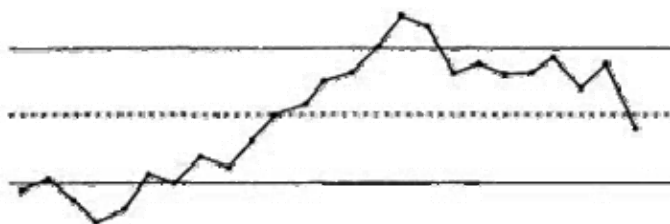


Рис. 3. Контрольные карты стабильного (а,б) и нестабильного (в,г) процесса

Цель контрольных границ – выявление того, как процесс протекает сейчас и как он может протекать.

Особые причины воздействуют на процесс скачками, их можно выделить и устранить. Контрольные карты позволяют выделить момент времени воздействия особого фактора (место выхода параметра за контроль-

ные границы), что в совокупности с методами расслоения данных, регрессионного и дисперсионного анализа позволяет определить значимость воздействия любого фактора.

Согласно ГОСТ Р 51814.3, под статистически управляемым состоянием понимается состояние, описывающее процесс, из которого удалены все особые (неслучайные) причины изменчивости, остались только обычные (случайные) причины.

Статистически управляемое состояние процесса является желаемым состоянием для производителя, так как при этом процесс может быть описан распределением с предсказуемыми параметрами. В этой ситуации реализуется выпуск продукции с ясным, понятным и прогнозируемым уровнем дефектности.

Уровень дефектности зависит от того, как расположен (распределен) процесс относительно поля допуска. Чем более кривая распределения выходит за границы поля, тем больше потери от брака.

В тоже время, статистически неуправляемое состояние процесса может быть связано с нарушениями трудовой дисциплины, так и наличием внешних невыявленных возмущающих факторов. Изучение и познание процесса – это миссия специалистов, занимающихся управлением производственными процессами, которые должны привлечь для этого опыт рабочих.

1.2. Расчет показателей возможностей процессов

Для построения траектории перевода процесса в лучшее состояние определяющим является знание состояния процесса. Это реализуется с помощью статистических инструментов качества.

В мире существует достаточное количество методик, позволяющих оценить качество продукта. Среди них есть показатели, позволяющие оценить воспроизводимость процесса, т.е. способность технологического процесса обеспечивать качество выпускаемого изделия. К этим показателям относятся индексы воспроизводимости C_p и P_p и индексы пригодности C_{pk} и P_{pk} процесса. Если среднее процесса отлично или может быть отлично от центра поля допуска, то для анализа процессов следует применять индексы C_{pk} и P_{pk} . Эти индекс учитывают центрированность получаемых результатов. Индекс C_{pk} будет высоким только в том случае, если разброс значений невелик и среднее значение полученных результатов лежит близко к середине поля допуска.

Индекс P_{pk} показывает, насколько хорош был рассматриваемый процесс в прошлом, в то время как индекс C_{pk} показывает возможности процесса в будущем. Иными словами, P_{pk} показывает, что вы делаете, а C_{pk} – что вы можете делать в рамках вашего процесса. Если процесс статисти-

чески контролируем, то оба индекса C_{pk} и P_{pk} стремятся к одному значению (так как в этом случае обе сигмы совпадают по значению). При этом C_{pk} является краткосрочной оценкой, а индекс P_{pk} – долгосрочной.

Индексы были впервые внедрены японскими фирмами, а в 1986 году применены в США фирмой «Форд моторс» во взаимоотношениях с поставщиками и с тех пор успешно применяются во всем мире.

Количественная оценка управляемости процессов в виде числовых критериев, прогноз уровня дефектности производимой процессом продукции проводится расчетом индексов воспроизводимости C_p и P_p и пригодности C_{pk} и P_{pk} процесса.

Комбинацию индексов возможностей процессов выбирают в зависимости от результата оценки стабильности процесса. Если целевое значение параметра не указано, то значения C_p , C_{pk} , P_p и P_{pk} следует рассчитывать по формулам:

$$C_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6\sigma_I} = \frac{\Delta}{6\sigma_I}; \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\text{ВГД} - \bar{x}}{3\sigma_I}; \frac{\bar{x} - \text{НГД}}{3\sigma_I}\right), \quad (2)$$

$$P_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6\sigma_T}, \quad (3)$$

где ВГД и НГД – соответственно наибольшее и наименьшее предельные значения показателя качества (пределы поля допуска).

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\text{ВГД} - \bar{x}}{3\sigma_T}; \frac{\bar{x} - \text{НГД}}{3\sigma_T}\right). \quad (4)$$

В ряде случаев может быть установлен только один предел поля допуска: либо наибольшее предельное значение ВГД, либо наименьшее предельное значение показателя качества НГД. Тогда для оценки возможностей процесса применяют только индексы C_{pk} и P_{pk} , которые рассчитывают по следующим формулам:

– для стабильного процесса в состоянии А, если задано наибольшее предельное значение показателя качества ВГД, то

$$C_p = \frac{\text{ВГД} - \bar{x}}{3\sigma_I}, \quad (5)$$

если задано наименьшее предельное значение показателя качества НГД, то

$$C_p = \frac{\bar{x} - \text{НГД}}{3\sigma_I}; \quad (6)$$

– для нестабильного процесса в состояниях Б и В, если задано наибольшее предельное значение показателя качества ВГД, то

$$P_p = \frac{\text{ВГД} - \bar{x}}{3\sigma_T}, \quad (7)$$

если задано наименьшее предельное значение показателя качества НГД, то

$$P_p = \frac{\bar{x} - \text{НГД}}{3\sigma_T}. \quad (8)$$

Связь индексов воспроизводимости с показателями процесса иллюстрирует рис.4.

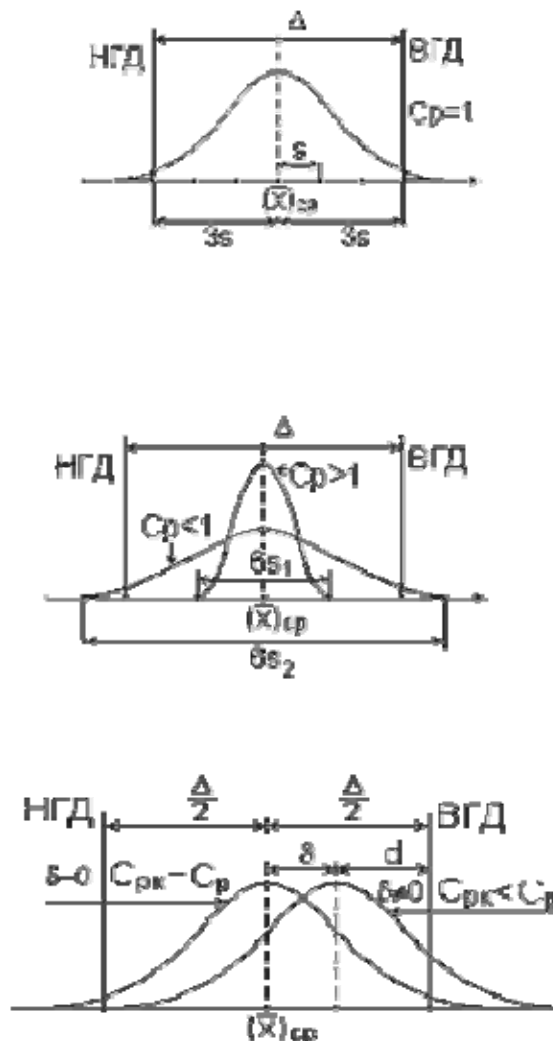


Рис. 4. Иллюстрация связи величин индексов с параметрами процесса

Если индивидуальные значения (результаты измерения отдельных единиц продукции) подчиняются нормальному распределению, то по табл. 1 для стабильного процесса можно оценить ожидаемый уровень несоответствий. Значение ожидаемого уровня несоответствий в этом случае равно половине значения (в процентах несоответствующих единиц продук-

ции % или ppm), указанного в таблице для полученного по формуле (7) или (8) значения .

Для применения индексов воспроизводимости надо убедиться, что процесс является управляемым. На практике это означает, что получаемые значения должны в большинстве находиться внутри оговоренного техническими условиями допуска и не иметь существенных видимых колебаний. В противном случае надо сначала устранить причины выхода параметров за поле допуска или сильных колебаний параметров и только потом переходить к оценке индексов качества процесса. Если процесс центрирован, то $k=0$ и индексы C_p и C_{pk} равны. При отклонении процесса от номинального значения уменьшается C_{pk} , а при увеличении разброса значений уменьшаются и C_p и C_{pk}

Если в качестве цели используется не середина поля допуска, а некоторое иное номинальное значение в пределах всего поля допуска, то для оценки качества процесса можно применить относительно недавно введенный индекс воспроизводимости C_{pm} . Примером такой ситуации является достаточно распространенное требование при токарной обработке наружного диаметра держать размер на нижней границе поля допуска для того, чтобы не допустить появления брака при износе пластины. Рассчитывается индекс C_{pm} аналогично C_{pk} , но в качестве среднего принимается целевое значение, выбранное при реализации процесса.

Табл. 1 устанавливает связь индексов возможностей и стабильных процессов с ожидаемым уровнем несоответствий продукции на выходе технологического процесса при предположении нормального распределения.

По известным значениям C_p или C_{pk} , используя табл. 1, можно определить интервал, в котором находится ожидаемый уровень несоответствий. По значению из табл.1 определяют максимально возможное значение ожидаемого уровня несоответствий, по значению – минимально возможное.

Т а б л и ц а 1

Связь индексов воспроизводимости и стабильных процессов с ожидаемым уровнем несоответствий продукции

Значение C_p или C_{pk}	Уровень несоответствий продукции в	
	процентах несоответствующих единиц продукции, %	числе несоответствующих единиц на миллион единиц продукции
1	2	3
0,33	32,2	322000
0,37	26,7	267000
0,55	9,9	99000
0,62	6,3	63000
0,69	3,8	38000
0,75	2,4	24000
0,81	1,5	15000

Окончание табл. 1

1	2	3
0,86	0,99	9900
0,91	0,64	6400
0,96	0,40	4000
1,00	0,27	2700
1,06	0,15	1500
1,10	0,097	970
1,14	0,063	630
1,18	0,040	400
1,22	0,025	250
1,26	0,016	160
1,30	0,0096	96
1,33	0,0066	66

Какое значение должен иметь индекс воспроизводимости? Если индекс воспроизводимости равен единице, то фактический разброс (т.е. 6σ) равен допуску. Хотя формально равенство допустимого и фактического разброса является показателем стабильности процесса, эта цифра является неприемлемой в реальном производстве, поскольку при малейших отклонениях она может стать меньше единицы. При нормальном распределении 99,73 % значений находятся в диапазоне $\pm 3\cdot\sigma$. Это означает, что для 0,27 % деталей размеры будут выходить за заданное поле допуска. Таким образом, если мы принимаем, что допустимый разброс равен фактическому разбросу (т.е. $C_p=1$) и равен $\pm 3\cdot\sigma$, то 2700 деталей из миллиона будут бракованными.

Если допустимый разброс равен $\pm 4\cdot\sigma$, то под кривую нормального распределения попадает 99,9937 % деталей. В этом случае индекс $C_p = 1,33$ и бракованными будут 63 детали на миллион (0,007 %). Индекс $C_p = 1,33$ наиболее часто принимается в качестве нижней допустимой границы при приемке станков. При этом исходят из того, что поскольку при приемке нельзя организовать долгосрочные испытания, то, приняв станки с индексом 1,33 можно с большой уверенностью сказать, что в процессе эксплуатации индекс не опустится ниже единицы.

Если допустимый разброс составляет $\pm 5\cdot\sigma$, то индекс воспроизводимости C_p такого процесса равен 1,67. В этом случае процент годных деталей составит 99,99994266 %, что соответствует 0,5 бракованных деталей на миллион.

Наконец, если допустимый разброс равен $\pm 6\cdot\sigma$, то индекс C_p равен 2. Процент годных деталей равен 99,999999803 % и брак укладывается в 0,00197 деталей на миллион. Очевидно, что такой индекс воспроизводимости C_p гарантирует практически абсолютное качество выпускаемых деталей.

Для обеспечения индекса воспроизводимости C_p равного 1 используется 100 % поля допуска детали, для получения $C_p = 1,33$ необходимо

ограничиваться 75 % поля допуска и для обеспечения $C_p = 2$ надо использовать только 50 % поля допуска (рис. 5).

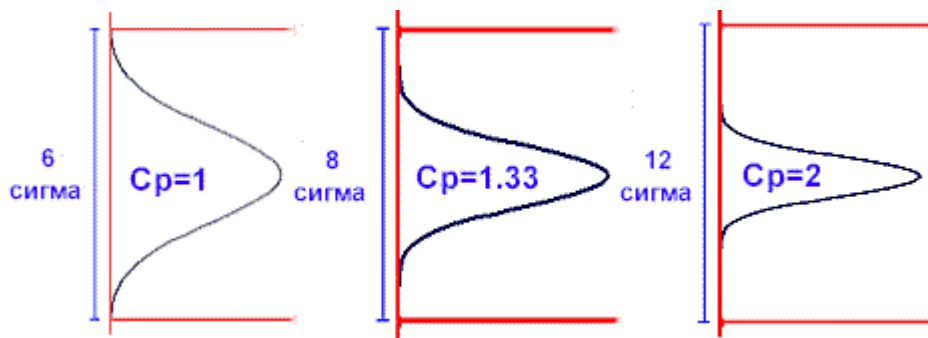


Рис.5. Индексы C_p для различных диапазонов распределения процесса

Принято воспроизводимость технологического процесса оценивать, исходя из следующих критериев:

$C_p > 1,33$ -воспроизводимый;

$C_p = 1,33-1,00$ – воспроизводимый, но требует внимательного наблюдения;

$C_p < 1,00$ – невоспроизводимый.

Оценка точности технологических процессов. После того как были выяснены форма и широта распределения на основании сопоставления с допуском, исследуют, возможно ли по данному технологическому процессу производить качественные изделия. Другими словами, появляется возможность по результатам обследования количественно оценить точность технологических процессов. С этой целью можно использовать следующую формулу:

$$K_T = \frac{6S}{T}, \quad (9)$$

где K_T – коэффициент точности технологического процесса; $T = T_B - T_H$ – допуск изделия; $S = \sigma$ – среднее квадратическое отклонение.

Точность технологического процесса оценивают исходя из следующих критериев:

$K_T \leq 0,75$ – технологический процесс точный, удовлетворительный;

$K_T = 0,76 - 0,98$ – требует внимательного наблюдения;

$K_T > 0,98$ – неудовлетворительный. В этом случае необходимо немедленно выяснить причину появления дефектных изделий и принять меры управляющего воздействия.

Зависимость коэффициента точности технологических процессов от его параметров иллюстрирует рис.6.

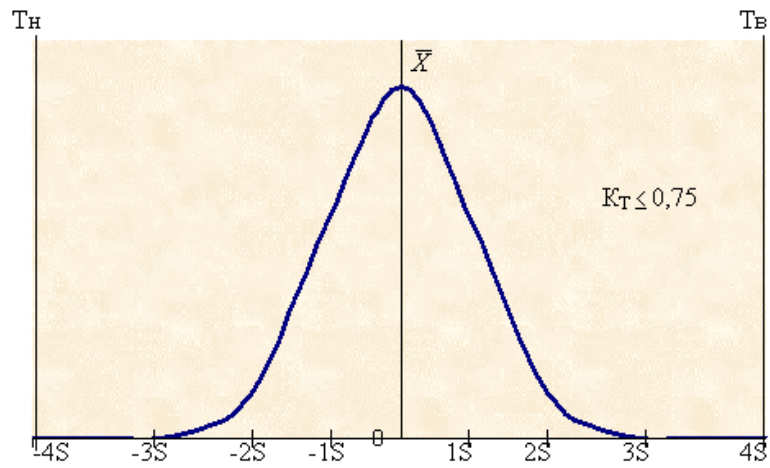


Рис. 6,а. Точность стабильна, поскольку имеет запас точности

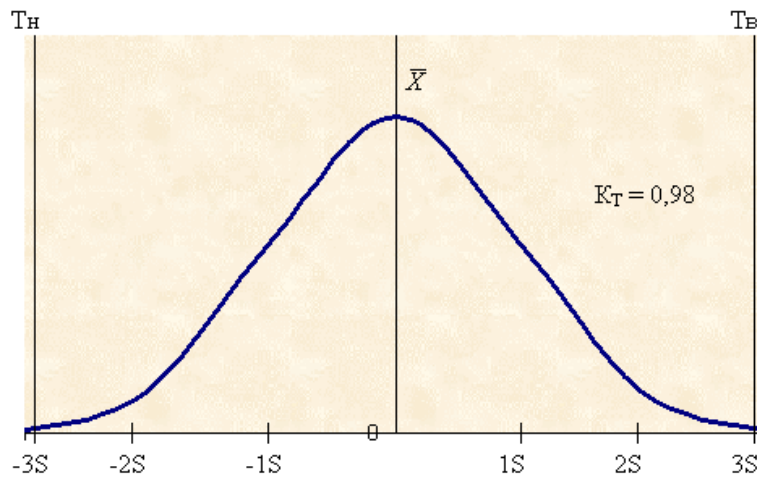


Рис. 6,б. Целиком заполнено поле допуска, имеется опасение, что появятся дефектные изделия

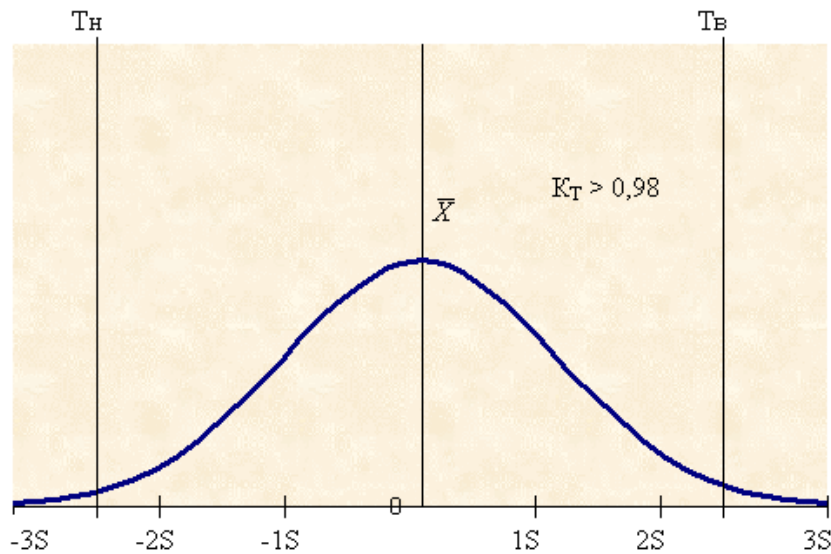


Рис. 6,в. По обе стороны допуска появляются дефектные изделия

1.3. Оценка стабильности процесса

Стабильность процессов оценивают на основе выборок с использованием контрольных карт Шухарта по ГОСТ Р 50779.42. В тех случаях, когда объем отдельной выборки из процесса не может быть больше одной единицы продукции, следует использовать для оценки стабильности контрольные карты индивидуальных значений и скользящих размахов (X - и MR -карты).

В тех случаях, когда объем отдельной выборки из процесса может быть больше одной единицы продукции, можно использовать либо контрольные карты средних и размахов (\bar{x} - и R -карты), либо контрольные карты средних и выборочных стандартных отклонений (\bar{x} - и S -карты). Использование \bar{x} - и S -карт следует считать предпочтительным.

Результатом оценки стабильности (в том числе после действий, направленных на устранение влияния особых причин) должно быть одно из следующих состояний процесса:

- стабилен и по разбросу и по положению среднего арифметического (состояние А);
- стабилен по разбросу, но нестабилен по положению;
- нестабилен по разбросу (состояние В).

Состояние А характеризуется отсутствием признаков особых причин как на MR -, R - или S -карте, так и на X - или \bar{x} -карте соответственно.

Состояние Б характеризуется отсутствием признаков особых причин соответственно на MR -, R - или S -карте, но и наличием таких признаков на X - или \bar{x} -карте.

Состояние В характеризуется наличием признаков особых причин соответственно на MR -, R - или S -карте.

Оценка собственной и полной изменчивости процесса. Собственную и полную изменчивость (вариабельность) процесса следует оценивать по данным, которые были использованы для построения контрольных карт Шухарта.

Собственная изменчивость процесса зависит от влияния только обычных (общих) причин вариаций. Собственную изменчивость процесса следует определять для стабильных по разбросу процессов в состояниях А и Б и оценивать по выборочным стандартным отклонением σ_I , по одному из следующих способов в зависимости от вида контрольной карты Шухарта по ГОСТ Р50779.42 :

- при использовании X - и MR -карт Шухарта

$$\sigma_I = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (10)$$

где \bar{R} – среднее значение скользящих размахов; d_2 – коэффициент, значения которого зависят от числа точек, использованных для расчета скользящих размахов в MR -карте;

– при использовании \bar{x} - и R -карт Шухарта

$$\sigma_I = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (11)$$

где \bar{R} – среднее значение размахов отдельных выборок; d_2 – коэффициент, значения которого зависят от объема отдельных выборок в R -карте;

– при использовании \bar{x} - и S -карт Шухарта

$$\sigma_I = \frac{\bar{S}}{c_4}, \quad (12)$$

где \bar{S} – среднее значение стандартных отклонений отдельных выборок; c_4 – коэффициент, значения которого зависят от объема отдельных выборок в S -карте.

Значения коэффициентов d_2 и c_4 приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов для расчета оценок стандартного отклонения

n	d_2	c_4
2	1,128	0,7979
3	1,693	0,8862
4	2,059	0,9213
5	2,326	0,9400
6	2,534	0,9515
7	2,704	0,9594
8	2,847	0,9650
9	2,970	0,9693
10	3,078	0,9727
11	3,173	0,9754
12	3,258	0,9776
13	3,336	0,9794
14	3,407	0,9810
15	3,472	0,9823
16	3,532	0,9835
17	3,588	0,9845
18	3,640	0,9854
19	3,689	0,9862
20	3,735	0,9869
21	3,778	0,9876
22	3,819	0,9882
23	3,858	0,9887
24	3,895	0,9892
25	3,931	0,9896

Полная изменчивость процесса зависит от влияния как случайных (обычных), так и неслучайных (особых) причин вариаций.

Полную изменчивость процесса следует определять для процессов в состояниях Б и В т оценивать по выборочным стандартным отклонением по формуле

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (13)$$

где N – суммарный объем данных во всех выборках объема каждая (в объединенной выборке); i – результат измерений показателей качества отдельных единиц продукции, $i=1, \dots, N$; \bar{x} – среднее арифметическое всех значений в объединенной выборке

2. МЕТОДОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для того, чтобы качество продукции соответствовало современным требованиям, необходимо выполнение следующих моментов:

- процесс производства должен находиться в статистически управляемом состоянии;
- процесс производства должен быть воспроизводимым.

Новые подходы к проблеме качества требуют сдвига от административных рычагов контроля качества к преимущественно организационно-экономическим мерам управления качеством, позволяющим производителям оперативнее реагировать на организацию работы по производству и обеспечению высокого качества продукции.

В зависимости от показателей стабильности и воспроизводимости процесса необходимо вмешательство или его отсутствие со стороны высшего руководства или линейного персонала. При принятии решения о невмешательстве или вмешательстве следует руководствоваться статистическим мышлением. Под «статистическим мышлением» понимается подход к принятию управленческих решений на всех уровнях организации, причем как оперативных или тактических, так и стратегических. Статистическое мышление – это основанный на теории вариабельности способ принятия решений о том, надо или не надо вмешиваться в процесс, и если надо, то на каком уровне (т.е. кому и когда). Очевидна важность этой позиции, ибо если мы вмешиваемся в процесс, когда этого делать не надо, или не вмешиваемся, когда это крайне важно, то процесс только ухудшается. Аналогичный результат возникает, если в процесс вмешиваются не те люди, кому следует это делать.

Разделение причин вариаций на общие и специальные принципиально для принятия правильных управленческих решений, поскольку уменьшение вариаций в этих двух случаях требует различного подхода. Специальные причины вариаций требуют локального вмешательства в процесс, тогда как общие причины вариаций требуют вмешательства в систему и принятия решений высшим менеджментом, в том числе и по вопросам выделения ресурсов на улучшение процесса. В связи с этим весьма актуальным является организация на производстве процесса мониторинга, направленного на постоянную диагностику ситуации. Он призван представить текущую информацию в такой форме, чтобы было ясно, какие решения следует принимать на ее основе.

Локальное вмешательство обычно осуществляется людьми, занятыми в процессе и близкими к нему (т. е. это линейный персонал, линейные руководители и т. д.). Вмешательство в систему почти всегда требует действий со стороны высшего менеджмента.

С другой стороны, излишнее вмешательство в стабильный процесс будет ошибочным решением (излишней регулировкой), которое чаще всего приводит к ухудшению характеристик процесса.

Модель анализа процесса приведена на рис. 7, принципиальное отличие которой – блок статистического мышления в цепи обратной связи.

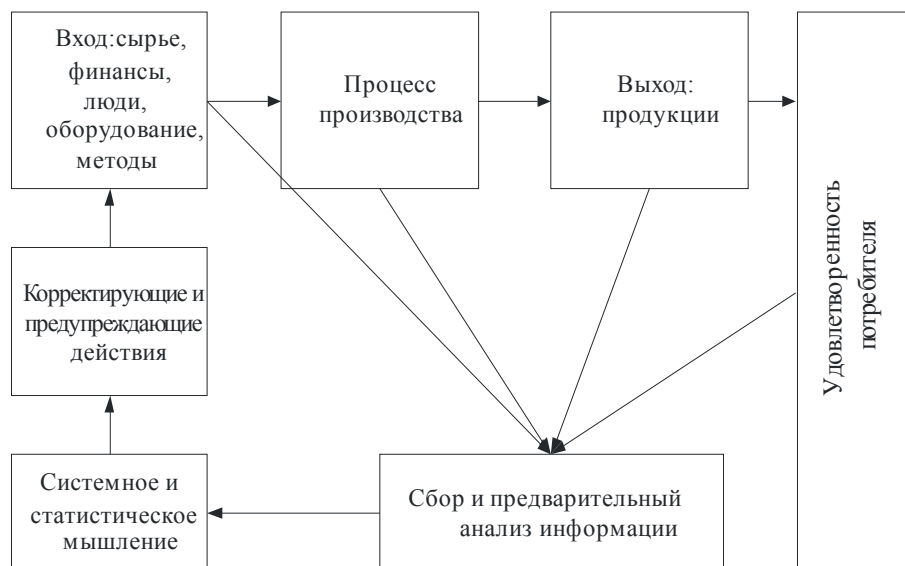


Рис. 7. Модель анализа процесса

С практической точки зрения ситуация сводится к диагностике стабильности и воспроизводимости процессов. Возможна следующая ситуация, когда процесс:

- 1) стабилен и воспроизводим;
- 2) стабилен, но невоспроизводим;
- 3) нестабилен, но воспроизводим;
- 4) нестабилен и невоспроизводим.

В первом случае вмешательства со стороны руководства и линейного персонала не требуется, во втором случае требуется вмешательства высшего руководства. В третьем случае требуется безотлагательное вмешательство в процесс со стороны линейного персонала с целью обнаружения этой специальной причины вариабельности и её скорейшего устранения. В четвертом случае так как процесс не стабилен, и не воспроизводим, то требуется вмешательство линейного персонала для обнаружения причин специальных вариаций и приведение процесса в статистически управляемые условия. Затем можно проводить мероприятия, направленные на изменение системы со стороны высшего руководства

3. МЕТОДЫ ТАГУТИ

Японский специалист по статистике Тагути разработал идеи математической статистики применительно к задачам планирования эксперимента и контроля качества. Он предложил измерять качество теми потерями, которые вынуждено нести общество после того, как некоторый товар произведен и отправлен потребителю. Тагути доказал, что стоимость отклонения от целевого значения (номинала) возрастает по квадратичному закону по мере удаления от цели и предусматривает наличие потерь за пределами допуска (рис. 8).

Тагути предложил *характеризовать производимые изделия устойчивостью технических характеристик и объединил стоимостные и качественные показатели в так называемую функцию потерь, которая одновременно учитывает потери, как со стороны потребителя, так и со стороны производителя.*

Функция потерь имеет следующий вид:

$$L = k(y - m)^2, \quad (14)$$

где L – потери для общества (величина, учитывающая потери потребителя и производителя от бракованной продукции); k – постоянная потеря, определяемая с учетом расходов производителя изделий; y – значение измеряемой функциональной характеристики; m – номинальное значение соответствующей функциональной характеристики; $(y-m)$ – отклонение от номинала.



Рис. 8. Допусковое мышление

Практическое применение функции потерь заключается в том, что она позволяет определить эффективность любого мероприятия, направленного на увеличение качества (рис. 9).



Рис. 9. Мышление через функцию потерь

Рассмотрим применение методологии Тагути на примере автомобилестроения. Известно, что качество отечественных автомобилей нуждается в существенном повышении и постоянном улучшении. Допустим, что отклонение диаметра вала коробки передач превышает 1,5 %, возникает брак, т.е. потребитель, конечно, его обнаружит и обратится в гарантийную мастерскую.

Устранение дефекта оценивается в 80 руб. (условно). Отклонение менее 1,5 % дает приемлемое качество. С учетом формулы (14) определим постоянную потерь

$$k = \frac{L}{(y - m)^2} = \frac{80}{1,5^2} = 35,56 \text{ руб.}$$

Тогда любое отклонение от номинального размера (в нашем примере диаметр вала 10 мм) служит причиной возрастания стоимости пропорционально квадрату отклонения. Графически эта зависимость позволяет оценить потери (рис. 10). Из графика видно, что максимальное отклонение в пределах допуска дает потери 2,12 руб. на деталь.

Таким образом, если вал или, соответственно, шестерня изготовлены сточными (целевыми) параметрами, они будут отлично сопрягаться, не создавая шума при работе, не будут изнашиваться раньше времени из-за слишком тугий или свободной посадки, а также не вызовут неудобств для потребителя; потери при этом будут минимальными. Кроме того, не потребуются дополнительные затраты на приемочные испытания.

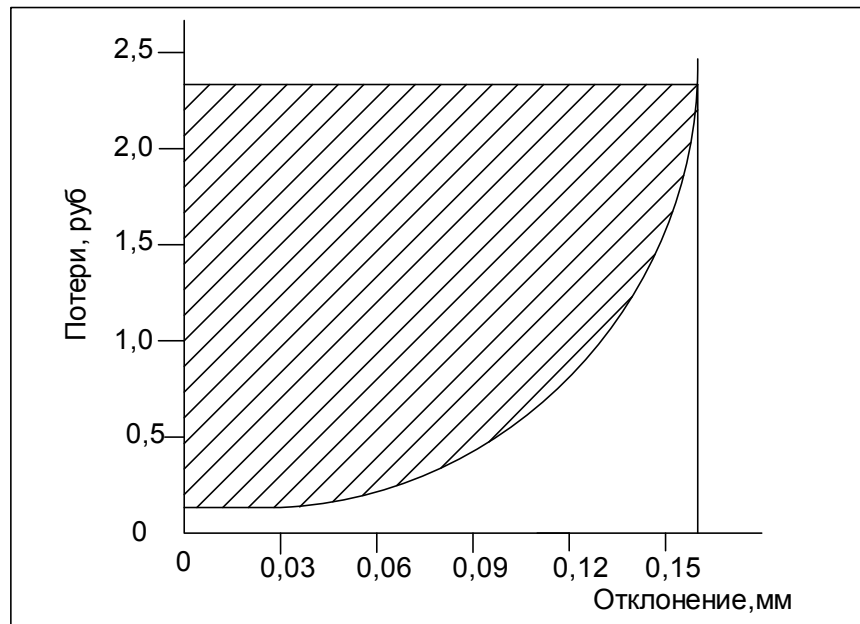


Рис. 10. Зависимость потерь вследствие отклонения размера вала от номинального значения

Таким образом, логика, стоящая за функцией потерь доктора Тагути, становится вполне понятной. *Если производится продукция, соответствующая целевым значениям, это приводит к снижению затрат на качество, уменьшению возможных затрат, связанных с приемочными испытаниями, а также к снижению вероятности того, что в будущем компания утратит свою репутацию.*

Производство продукции, соответствующей целевым показателям, это не фанатизм, напротив, это как раз и есть показатель хорошей работы.

Функция потерь также позволяет инженеру установить экономически обоснованные границы поля допуска, а также ответить на вопрос о том, сколько денег он может потратить на уменьшение разброса в процессе изготовления или в свойствах продукта.

Из сказанного ранее становится ясно, **что задачей любого производства является производство продукции с номинальными (целевыми) значениями**. Но у любого здравомыслящего человека, не слышавшего о методах Тагути, возникает вопрос: как же этого можно добиться? Для того чтобы это сделать, Тагути предлагает вернуться к стадии проектирования.

Преимущество планирования параметров, предложенного Тагути, заключается в том, что планирование помогает выяснить, какие факторы важны для снижения разброса (**управляемые факторы**), какие важны для удержания выхода на целевом значении (**сигнальные факторы**), а какие фактически не имеют значения (**второстепенные факторы**) при достижении этих целей. Второстепенные факторы стоит установить на самых дешевых уровнях с целью снижения затрат, не создавая никаких компромиссов с качеством.

Важный аспект методологии Тагути состоит в том, что он не предполагает управлять каждым фактором, учитываемым в технологическом процессе или при изготовлении продукта. Идея состоит в том, чтобы влиять только на те факторы, которые способны привести к снижению затрат, причем делать это организованным, тщательно продуманным способом; те же факторы, управление которыми не способно привести к снижению затрат, следует просто игнорировать.

Тагути вводит понятие идеальной функции. *Идеальная функция* определяется идеальным соотношением между сигналами на входе и выходе, выражаемым специальной формулой. Но реальные процессы показывают результаты, отличные от предсказанных идеальной функцией.

Тагути вводит понятие отклоняющего фактора (или «шума»), являющегося причиной разброса характеристик на рабочем месте, а также вносит поправку в понятие случайного отклонения. Специалисты по математической статистике считают, что на результат статистического прогнозирования влияют случайные факторы. Тагути придерживается мнения, что все отклонения и ошибки имеют свои причины и что существуют не случайности, а факторы, которые иногда трудно учесть.

Специалист, использующий методы Тагути, должен владеть методами предсказания «шума» в любой области, будь то технологический процесс или маркетинг.

Внешние «шумы» – это вариации окружающей среды: влажность; пыль; индивидуальные особенности человека и т.д. «Шумы» при хранении и эксплуатации – это старение, износ и т.п.

Внутренние «шумы» – это производственные неполадки, приводящие к различиям между изделиями даже внутри одной партии продукции.

Тагути создал надежный и изящный метод расчета, используя идею отношения «сигнал/шум», принятую в электросвязи. Отношение «сигнал/шум» используется Тагути не только применительно к измерениям, но и в более широком смысле – для проектирования и оптимизации процессов. Отношение «сигнал/шум» стало основным инструментом инжиниринга качества. Это основное понятие, имеющее смысл отношения составляющей «сигнала» на выходе к составляющей «шума».

Если обозначить значение параметра на входе (множество входных данных, начиная от качества станка, материала и квалификации работника вплоть до чистоты помещения) через M , составляющие «шума» (дефекты материала, ошибки рабочего) через $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, значение параметра на выходе (в нашем случае рассматривается диаметр вала коробки передач автомобиля) через y , то y будет функцией M и «шума»

$$y = f(M, x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (15)$$

Отношение «сигнал/шум» в общем виде записывается так:

$$C/Ш = \frac{(df / dM)^2}{(df / dx_1)^2 \cdot \sigma x_1^2 + \dots + (df / dx_n)^2 \cdot \sigma x_n^2}. \quad (16)$$

Тагути предложил 72 формулы для расчета отношения «сигнал/шум», большинство которых связаны со спецификой соответствующих отраслей техники (электроники, автомобилестроения, химии и т.д.). Однако существуют три стандартные общеупотребительные формулы:

- Тип *N*: оптимальные номинальные характеристики (размеры, выходное напряжение и т.д.)

$$C/Ш = 101g \frac{(Sm - Ve) / n}{Ve}, \quad (17)$$

где $Sm = \frac{(\sum y_i)^2}{n}$; $Ve = \frac{\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n}{n - 1}$; y_i – параметр i -го наблюдения; n – количество наблюдений.

- Тип *S*: оптимальные минимальные характеристики (шум, загрязнение и т.д.)

$$C/Ш = 101g \left(\sum y_i \right)^2 / n. \quad (18)$$

- Тип *B*: оптимальные максимальные характеристики (прочность, мощность и т.д.)

$$C/Ш = 101g \left[\sum (1 / y_i)^2 \right] / n. \quad (19)$$

Отношение «сигнал/шум» интерпретируется всегда одинаково: чем больше отношение, тем это лучше. По существу, эта величина связана с коэффициентом вариации относительно y при зафиксированных условиях эксперимента для управляемых факторов. Стандартными методами находится модель

$$C/Ш = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (20)$$

Рассмотрение такой модели, наряду с моделью для средних значений, позволяет найти компромиссный режим, который при достаточно высоких средних значениях обладает наилучшей робастностью, т.е. меньше всего варьирует под воздействием неуправляемых факторов. При этом можно использовать как дисперсионный, так и регрессионный анализ. Впрочем, Тагути рекомендует чаще пользоваться графическими методами, не прибегая к формальным вычислениям.

В отличие от принятого в статистике толкования отношения «сигнал/шум» как отношения разности между начальным значением и изменен-

ным значением к начальному значению, в методах Тагути принято рассматривать отношение разности этих значений к среднему значению. Это позволяет повысить точность расчета, а значит, и надежность изделия.

При перенесении методов Тагути из лабораторных в реальные условия предложено ввести для отношения «сигнал/шум» расчет устойчивости. В данном случае устойчивость означает высокую повторяемость реагирования. Сама *устойчивость* выражает, в некотором роде, взаимодействие между «сигналом» и «шумом». При изменении «шума» величина реагирования изменяется. В результате изменится и среднее значение. Расчет устойчивости параметров проводится в соответствии с методом Тагути не сложными трудоемкими и дорогостоящими способами, а новым методом экспериментального проектирования с использованием дисперсионного анализа. В процессе экспериментального проектирования значения параметров подбираются таким образом, чтобы «сигнал» был как можно больше, а «шум» как можно меньше.

Если перейти к обсуждению уровня качества совокупности, состоящей из N единиц продукции, то, прежде всего, потери необходимо по ним просуммировать и формула (1) будет иметь вид

$$\sum_{i=1}^{i=N} L(y_i) = k \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_o)^2 = k \left[\sum_{i=1}^{i=N} y_i^2 - 2y_o N\mu + Ny_o^2 \right], \quad (21)$$

где μ – среднее арифметическое совокупности,

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y_i. \quad (22)$$

После преобразования выражения (8) получим

$$\sum_{i=1}^{i=N} L(y_i) = kN \left[\sigma^2 + (\mu - y_o)^2 \right]. \quad (23)$$

Величина δ^2 , равная

$$\delta^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_o)^2 = \sigma^2 + (\mu - y_o)^2, \quad (24)$$

может рассматриваться как средний квадрат отклонения характеристики y от цели, определяющий уровень качества рассматриваемой совокупности единиц продукции. В связи с этим представляет интерес вопрос об относительном вкладе величин σ^2 и $(\mu - y_o)^2$ в величину δ^2 , а значит дополнительные затраты потребителя или изготовителя.

В соответствии с (14) потери определяются положением среднего μ относительно целевого значения y_o и разбросом значений характеристики

вокруг своего среднего. При наладке технологических процессов требуется настроить процесс таким образом, чтобы среднее μ совпадало или было близко к целевому значению y_o , либо уменьшить разброс значений характеристики y_i вокруг своего среднего μ . Две рассмотренные ситуации требуют различных по масштабу финансовых вложений. Вклад каждого составляющего в уровень качества и финансовые затраты различен. Разделить полную вариацию на две составляющие и получить соответствующие коэффициенты вклада важно потому, что они позволяют направить усилия организации-производителя в нужном направлении.

Полная вариация S_T характеристики y в выборке из N единиц может быть определена по формуле

$$S_T = \sum_{i=1}^{i=N} (y_i - y_o)^2. \quad (25)$$

Полная вариация S_T состоит из двух компонент

$$S_T = S_m + S_e. \quad (26)$$

Компонента S_e (фактор ошибки) определяется выборочной дисперсией

$$S_e = (N - 1)S \quad (27)$$

и представляет собой вклад в полную вариацию того фактора, который приводит к разбросу значений характеристики вокруг их среднего значения.

Вторая компонента полной вариации вычисляется в соответствии с выражением

$$S_m = N(m - y_o)^2 \quad (28)$$

и определяется значением выборочного среднего m относительно целевого значения функциональной характеристики y_o .

При переходе от выборке к генеральной совокупности компоненты вариации могут быть определены по формулам

$$S_m^* = N(m - y_o)^2 - S^2, \quad (29)$$

$$S_e^* = NS^2. \quad (30)$$

Коэффициенты, учитывающие вклад каждого из факторов определяются по формулам

$$\rho_m = \frac{S_m^*}{S_T} 100\%, \quad (31)$$

$$\rho_e = \frac{S_e^*}{S_T} 100\%. \quad (32)$$

Дополнительные затраты, которые несет потребитель или изготовитель, могут быть определены по формуле

$$L = kd^2, \quad (33)$$

где d^2 – выборочное значение среднего квадрата отклонения характеристики y от цели.

$$d^2 = \frac{N-1}{N}S^2 + (m - y_o)^2. \quad (34)$$

Примерная схема метода надежного проектирования

1. Выявление всех факторов, оказывающих какое-либо влияние на процесс (методы мозгового штурма, экспертный и другие).

2. Подготовка эксперимента (число экспериментов должно быть не меньше 16, каждый эксперимент должен проводиться не менее чем с четырьмя образцами). Строится матрица планирования эксперимента.

3. Проводятся эксперименты. Полученные значения соответствующих функциональных характеристик записываются в соответствующие таблицы.

4. Для всех экспериментов по соответствующим формулам рассчитывается значение соотношения «сигнал/шум».

5. С помощью дисперсионного или корреляционного анализа выявляется степень влияния каждого фактора на результат измерения. Если фактор слабо влияет на результат измерения – его устанавливают на самом низком уровне. Для факторов, значительно влияющих на конечный результат, выясняют, какие манипуляции надо с ними выполнять, чтобы приблизиться к оптимуму (в случае корреляционного анализа определяем прямую или обратную зависимость с результатом).

6. Проводится эксперимент с учетом п. 5.

В качестве практического применения метода Тагути можно привести расчет эффективности мероприятий по повышению качества деталей трансмиссии автомобиля. Номинальный диаметр вала коробки передач 10 мм. Изделия размерами больше 10,25 мм и меньше 9,9 мм признаются браком (несимметричный допуск). Предприятие предприняло ряд мероприятий по повышению качества, было закуплено новое оборудование. Необходимо определить экономический эффект от этих мероприятий.

Обыкновенными методами определить количественно экономический эффект практически невозможно, если все изделия находятся в пределах допуска, что показано ниже:

Диаметр вала, мм, полученного на оборудовании:										
старом	0,1	10,22	10,08	9,92	10,06	9,94	9,97	10,09	0,24	9,91
новом	9,94	10,02	10,09	9,95	10,1	9,99	10,06	10,02	9,98	9,98

Найдем потери, которые будут у производителя в связи с недостаточным качеством валов. Для этого сначала рассчитаем постоянную потерь, коэффициент k :

$$L = k(y - m)^2.$$

Отсюда $k = L / (y - m)^2$.

Подставляя верхнюю и нижнюю m границы допуска для $L = 80$ руб. (условно), получаем постоянную потерь:

$$k_{\text{верх}} = 12,8; k_{\text{нижн}} = 80,0.$$

Теперь, зная постоянную потерь, в случае эксплуатации старого оборудования имеем:

Диаметр вала, мм.	10,1	10,22	10,08	9,92	10,06	9,94	9,97	10,09	10,24	9,91
Потери, руб.	12,8	61,95	8,192	51,2	4,608	28,8	7,2	10,37	73,73	64,8

Потери от 10 изделий, выпущенных на старом оборудовании, составили 323,648 руб. (по 32 руб. в среднем на каждый вал)

Для нового оборудования проводим аналогичный расчет. Получаем:

Диаметр вала, мм.	9,94	10,02	10,09	9,95	10,1	9,99	10,06	10,02	9,98	9,98
Потери, руб.	28,8	0,512	10,37	20	12,8	0,8	4,608	0,512	3,2	3,2

Потери от десяти изделий, выпущенных на новом оборудовании, составляют 84,8 руб. (по 8,48 руб. в среднем на каждый вал).

Отношение потерь на новом оборудовании к потерям на старом и дает нам увеличение качества процесса.

В приведенном примере потери уменьшились в 3,8 раза. В реальных условиях размеры выборки должны быть намного больше для увеличения достоверности результатов.

В этом случае для расчета экономического эффекта необходимо:

- произвести достаточную выборку;
- рассчитать для каждого случая функцию потерь и найти среднее значение функции потерь для нового и старого оборудования или рассчитать средний параметр каждого изделия и найти для него значение средней функции потерь;
- умножив разность среднего значения функции потерь для нового и старого оборудования, сравниваем эту величину с предлагаемыми расходами на покупку и установку нового оборудования.

Использование методов Тагути позволяет повысить качество изделий на имеющемся оборудовании без его модернизации с минимальными затратами.

4. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Развертывание функции качества (Quality Function Deployment – QFD) – это методология систематического и структурированного преобразования пожеланий потребителей уже на ранних (первых) этапах петли качества в требования к качеству продукции, услуги и/или процесса (рис.11). QFD-методология используется для обеспечения лучшего понимания ожиданий потребителей при проектировании, разработке и совершенствовании продукции, услуг и процессов с применением все большей и большей ориентации на установленные и предполагаемые потребности потребителей.

Представленную на рис.11 структуру, состоящую из нескольких таблиц-матриц), используемую в рамках QFD-методологии, из-за ее формы называют «домом качества» quality house).

Сначала важные (необходимые, критические) пожелания потребителей с помощью первого «дома качества» преобразовываются в детальные технические характеристики продукции, а затем (посредством трех последующих «домов качества», представленных на рис. 12) – в детальные технические требования сначала к характеристикам компонентов продукции, потом – к характеристикам процессов и, в конце концов, как к способам контроля и управления производством, так и к оборудованию для осуществления этого производства. Эти технические требования к производству (к способу контроля и управления, а также и к оборудованию) должны обеспечить достижение высокого качества продукции.

Первый «дом качества» (рис.12) устанавливает связь между пожеланиями потребителей и техническими условиями, содержащими требования к характеристикам продукции. Для второго «дома качества» центром внимания является взаимосвязь между характеристиками продукции и характеристиками компонентов (частей) этой продукции.

Третий «дом качества» устанавливает связь между требованиями к компонентам продукции и требованиями к характеристикам процесса. В результате устанавливаются индикаторы (критерии) выполнения важнейших (критических) процессов.

Наконец, с применением четвертого «дома качества» характеристики процесса преобразуются в характеристики оборудования и способы контроля технологических операций производства, которые следует применить для выпуска качественной продукции по приемлемой цене, что должно обеспечить высокий уровень удовлетворенности потребителей.

Примерный порядок применения QFD-методологии заключается в следующем. Создают межфункциональную команду специалистов, обучаемую и тренируемую лидером команды и поддерживаемую экспертом по QFD-методологии. Предпочтительно, чтобы руководителем (лидером)

команды был производственный менеджер или инженер-технолог по продукции. Эксперт по QFD-методологии снабжает необходимой информацией и дает советы, касающиеся эффективного использования этой методологии, а на подготовительной стадии работы помогает сформулировать цели, задачи и область применения QFD-проекта.

Главными вопросами при практическом применении QFD-методологии являются следующие:

- 1) взяло ли высшее руководство на себя обязательства по качеству?
- 2) какую важную продукцию мы собираемся совершенствовать?
- 3) для каких сегментов рынка?
- 4) каковы наши потребители?
- 5) какую конкурирующую продукцию мы собираемся сравнивать с нашей?
- 6) как много времени потребуется для выполнения проекта?
- 7) какой должна быть структура и состав отчетов о работе?

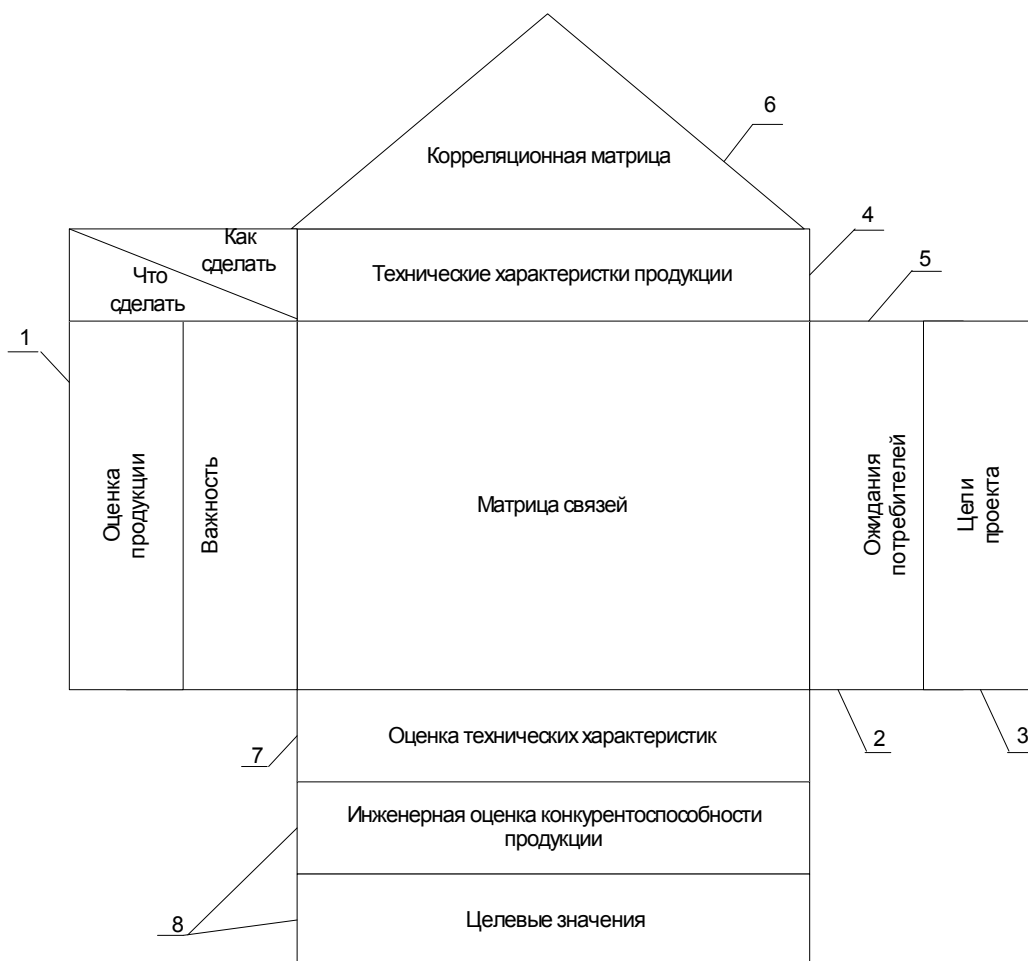


Рис. 11. Базовая структура QFD-диаграммы (дома качества) и цели ее проектирования.

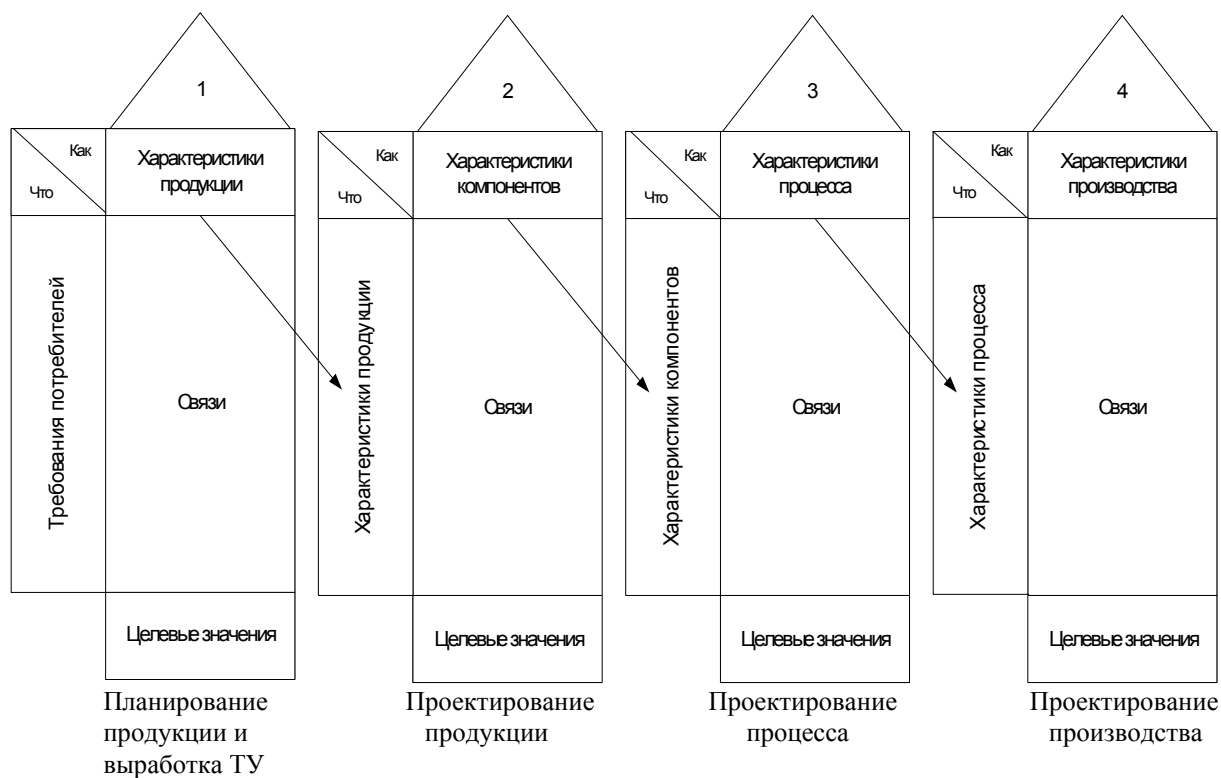


Рис. 12. Основные шаги последовательного применения QFD-методологии

При построении первого «дома качества» рекомендуется действовать следующим образом:

1. Определите конкретную группу потребителей, составьте реестр (список) установленных и предполагаемых потребностей (ожиданий) потребителей и определите (оцените) приоритетность этих ожиданий с использованием, например, весовых коэффициентов. Реестр ожиданий потребителей, касающийся свойств и характеристик продукции, может быть составлен на основании анализа письменных запросов, направленных к имеющимся и потенциальным потребителям, путем проведения устных опросов и интервью, а также с применением «мозговой атаки», проведенной с участием специалистов по маркетингу, проектированию, производству и продажам рассматриваемой продукции. Важными источниками информации для оценки и отображения ожиданий потребителей могут быть также:

- посещение торговых демонстраций, ярмарок и выставок;
- мнения опытного в вопросах продаж персонала;
- регистрация запросов потребителей (заказчиков, покупателей, клиентов);
- прямые контакты с потребителями, а также с представителями конкурирующих фирм;
- результаты работ, выполненных в рамках бенчмаркинга.

2. Сравните характеристики (эксплуатационные качества) вашей продукции с показателями конкурирующей продукции. Оцените и выразите в

виде чисел качество вашей продукции, а затем в письменном виде представьте ее сильные и слабые стороны (с точки зрения покупателей, заказчиков и клиентов).

3. Идентифицируйте и количественно определите цели и задачи планируемых улучшений. В письменном виде представьте, какие свойства продукции, входящие в реестр ожиданий потребителей, должны быть улучшены по сравнению с конкурирующей продукцией, и отобразите эти цели и задачи в виде документа.

4. Переведите ожидания потребителей на язык поддающихся количественному определению технических параметров и характеристик (технических условий) продукции. Установите, точно определите и ясно сформулируйте, как ожидания потребителей могут быть использованы для достижения вами преимуществ в конкурентной борьбе. Примерами таких технических параметров и характеристик могут служить:

- геометрический размер;
- вес (масса) изделия;
- потребление энергии;
- количество частей (деталей, узлов);
- вместимость, емкость, объем технологического аппарата;
- пределы измерения (прибора);
- допустимая погрешность изготовления детали (допуск) и т. п.

5. Исследуйте взаимозависимость между ожиданиями потребителей и параметрами (характеристиками) технических условий на продукцию. Отметьте в матрице связей, насколько сильно технические параметры и характеристики (технические условия) продукции влияют на уровень удовлетворения потребностей и ожиданий потребителей.

6. Идентифицируйте силу взаимодействия между техническими параметрами и ясно отобразите это в треугольной матрице связей (матрице корреляций), образующей крышу «дома качества».

7. Оформите в письменном виде полученные значения всех технических параметров и характеристик продукции с указанием единиц их измерения. Выразите эти параметры и характеристики в виде измеримых данных.

8. Определите целевые (плановые) показатели проектирования новой продукции.

Определите в письменном виде отличительные признаки (характеристики) предполагаемых улучшений технических параметров проектируемой продукции.

Аналогично следует действовать и при построении каждого из последующих «домов качества».

Пример применения QFD-методологии для улучшения качества блоков оконных из ПВХ профилей. На рис. 13 представлены заполненные таблицы первого «дома качества», использованные для перехода от выявленных ожиданий потребителей к характеристикам качества (техническим условиям) блоков оконных из ПВХ профилей.

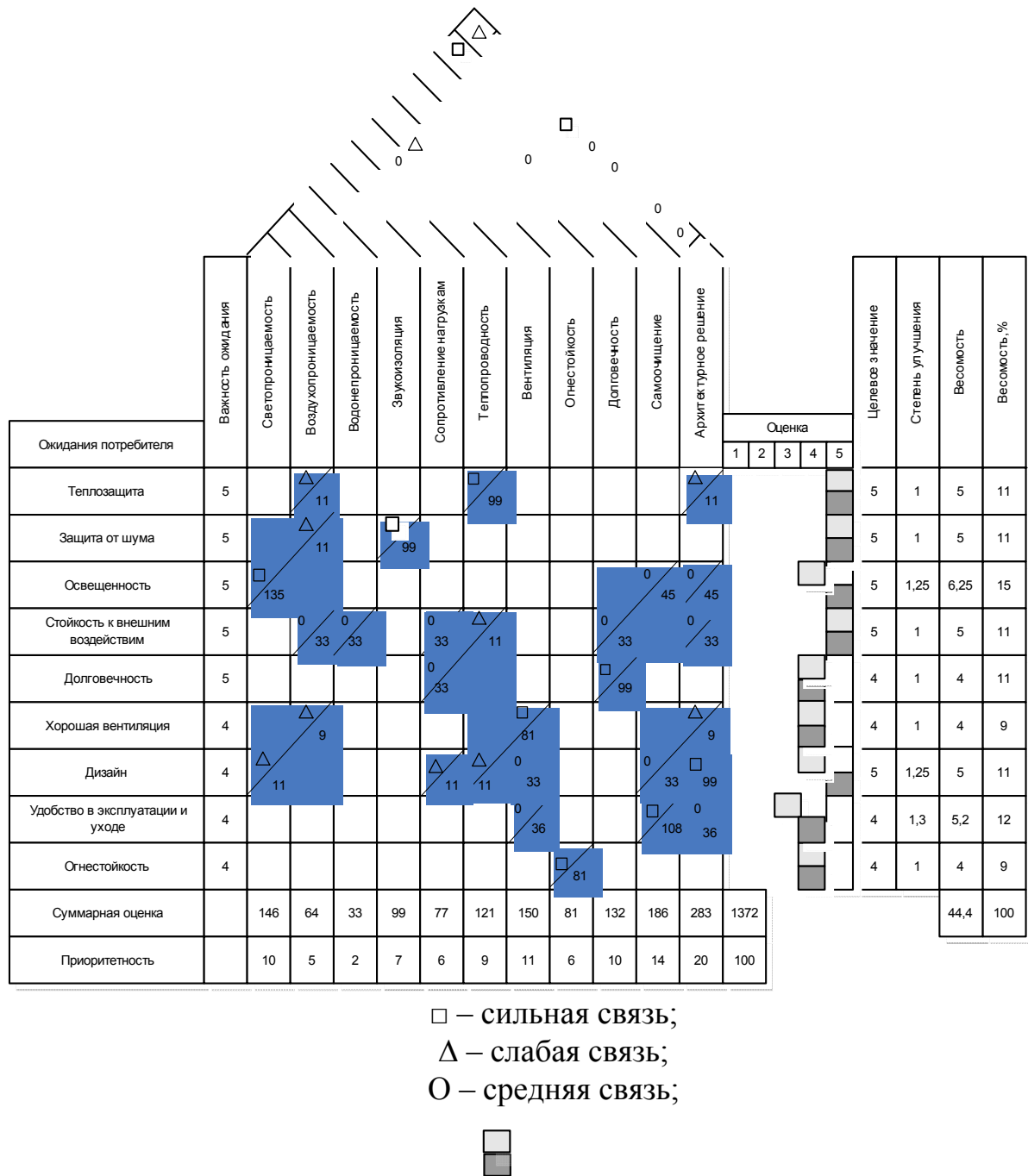


Рис. 13. «Дом качества»

Этап определения ожиданий потребителей. Ожидания потребителей на этом этапе были установлены с применением «мозговой атаки» и приведены (рис. 13) в «комнате» (субтаблице 1) «дома качества». На этом этапе был рассмотрен вопрос о том, что является наиболее важным для потребителей. В частности, было установлено следующее описание потребностей:

- 1) теплозащита;
- 2) защита от шума;
- 3) освещенность;
- 4) стойкость к внешним воздействиям;
- 4) долговечность;
- 5) хорошая вентиляция;
- 6) дизайн;
- 7) удобство в эксплуатации;
- 8) огнестойкость..

Поскольку все эти ожидания имеют одинаковую важность для потребителей, то на рис. 13 приведены их весовые коэффициенты (множители) по пятибалльной шкале, а именно:

- 5 – очень ценно;
- 4 – ценно;
- 3 – менее ценно, но хорошо бы иметь;
- 2 – не очень ценно;
- 1 – не представляет ценности.

Например, ожидание «дизайн, удобство в эксплуатации, вентиляция» получило оценку в виде весового коэффициента 4, так как оно является ценным, а ожидание «теплозащита, освещенность, защита от шума, стойкость к внешним воздействиям» – оценку 5, так как оно имеет большую ценность.

Этап определения сравнительной ценности продукции. На этом этапе выпускаемая фирмой продукция (блоки оконные из ПВХ профилей) сравнивается с одним или несколькими лучшими видами конкурирующей продукции. Конкурирующей продукцией были самоочищающиеся окна со структурным остеклением. В результате достигается понимание того, насколько производимая нами продукция является совершенной при сравнении с лучшими аналогами конкурирующих фирм. В этом случае также используется пятибалльная шкала от «отлично» до «плохо», а именно:

- 5 – отлично;
- 4 – хорошо;
- 3 – удовлетворительно (в основном соответствует);
- 2 – не очень удовлетворительно (соответствует отчасти);
- 1 – плохо (не соответствует ожиданиям).

Результаты такого сравнения представлены в субтаблице 2 (очередной «комнате» матрицы «дома качества» на рис.13). Видно, что блоки оконные из ПВХ профилей могут рассматриваться как обладающие удовлетворительными свойствами «теплозащитой, защитой от шума, стойкостью к внешним воздействиям» и по этому ожиданию потребителей конкурируют с продукцией конкурирующего завода. С другой стороны, самоочищающиеся окна со структурным остеклением конкурента имеет лучшую освещенность, более современный дизайн, вследствие чего более удобны в эксплуатации. Изложенное выше сразу указывает на потенциальные возможности усовершенствования блоков оконных из ПВХ профилей.

Этап установления целей проекта. На этом этапе мы желаем улучшить (исправить) имеющийся уровень показателей удовлетворения ожиданий потребителей по отношению к установленным показателям для конкурента. Другими словами, в субтаблице 3 (рис.13) следует установить целевые значения (в цифровом виде) для каждого ожидания потребителей (характеристики, свойства) продукции. При этом еще раз используется пятибалльная шкала. Для тех ожиданий (характеристик) продукции, которые не требуют улучшения, целевые значения устанавливаются на одном уровне с имеющимися на данный момент оценочными значениями для этих ожиданий. В рассматриваемом случае команда, созданная для осуществления проекта, в результате проведения «мозговой атаки» приняла решение, что не требуют улучшения следующие ожидания потребителей: «теплозащита», «защита от шума», «стойкость к внешним воздействиям», «долговечность», «хорошая вентиляция», «огнестойкость».

Этим ожиданиям потребителей были присвоены целевые значения соответственно 5, 5,5,4 и 5, которые будут оставаться постоянными на тех же уровнях, которые показаны в субтаблице 3.

Ожидания потребителей «освещенность», «дизайн», «удобство в эксплуатации и уходе», которые до начала работы имели оценочные значения соответственно 4, 4, 3 (ниже, чем у конкурирующей продукции), должны быть улучшены до целевых значений 5, 5 и 4.

На базе определенных целевых значений могут быть вычислены относительные величины «степени улучшения» качества (по каждой из характеристик продукции) по формуле

$$\text{Степень улучшения} = \frac{\text{Целевое значение}}{\text{Оценка продукции}}. \quad (35)$$

Результаты вычислений по формуле (35) проставлены во втором столбце субтаблицы 3. Из рассмотрения этой «комнаты» (субтаблицы 3) общей матрицы «дома качества» можно сделать вывод, что QFD-команда решила улучшить характеристики «освещенность», «дизайн», «удобство в

эксплуатации и уходе» до «степени улучшения», соответственно равной 1,25; 1,25 и 1,3. После этого в рамках определения целей проекта должна быть установлена весомость каждого ожидания потребителя или характеристики продукции. При этом весомость вычисляют по формуле

$$\begin{array}{l} \text{Весомость} \\ \text{ожидания} \\ \text{потребителя} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Важность} \\ \text{ожидания} \\ \text{потребителя} \end{array} \cdot \text{Степень улучшения.} \quad (36)$$

При выполнении этой работы важность ожидания потребителя берется из второго столбца субтаблицы 1, а степень улучшения – из второго столбца субтаблицы 3.

При вычислениях по формуле (2) получены значения:

весомость ожидания «освещенность» = $5 \times 1,25 = 6,25$;

весомость ожидания «дизайн» = $4 \times 1,25 = 5$;

весомость ожидания «удобство в эксплуатации и уходе» = $4 \times 1,3 = 5,2$.

После завершения вычислений результаты оценки весомостей различных ожиданий потребителя поместили в третий столбец субтаблицы 3, а в дополнительной нижней строке этого же столбца поместили сумму 44,45 всех значений весомостей. Приняв сумму 44,45 за 100 %, в четвертый столбец субтаблицы 3 поместим (выраженные в процентах) значения весомостей каждого ожидания потребителей. Например, выраженная в процентах весомость ожидания «освещенность» была посчитана на основании пропорции:

44,45 соответствует 100 %;

5 соответствует x %.

В результате получили значение $6,25 \times 100 / 44,45 = 15$.

Для весомости ожидания «дизайн» получаем значение

$5 \times 100 / 44,45 = 11$ и т. д.

После завершения вычислений следует проверить, чтобы сумма всех (выраженных в процентах) весомостей, помещенных в четвертый столбец субтаблицы 3, была равна 100 %.

Этап подробного описания технических характеристик продукции.

После окончания этапа работы, связанного с визуализацией и оценкой весомости ожиданий потребителей, необходимо решить, **как** обеспечить выполнение этих ожиданий на практике. В рассматриваемом случае QFD-команда с применением «мозговой атаки» выработала решение о том, за счет изменения каких параметров (характеристик) продукции могут быть выполнены различные ожидания потребителей. Точнее говоря, было установлено, как технические характеристики продукции (**как** надо сделать?) соотносятся с тем, что ожидают и хотят получить потребители (**что** надо сделать?). В рассматриваемом примере были определены 11 технических

характеристик блоков оконных из ПВХ профилей (см. рис. 13, субтаблица 4), связанные с пожеланиями и ожиданиями потребителей, а именно:

- светопроницаемость;
- воздухопроницаемость;
- водонепроницаемость;
- звукоизоляция;
- сопротивление нагрузкам;
- теплопроводность;
- вентиляция;
- огнестойкость;
- долговечность;
- самоочищение;
- архитектурное решение.

Успех проектирования блоков оконных из ПВХ профилей определяется правильным выбором значений этих технических характеристик.

Этап заполнения матрицы связей. На данном этапе изучается сила влияния технических характеристик продукции на выполнение ожиданий потребителя. Эта работа проводится с применением матрицы связей (см. рис. 13, субтаблицу 5), являющейся центральной частью общей матрицы «дома качества». Посредством матрицы связей исследуется взаимосвязь между ожиданиями потребителей и техническими характеристиками (параметрами) продукции. Эта работа включает в себя взаимную стыковку того, «ЧТО НАДО СДЕЛАТЬ?» с тем, «КАК ЭТО НАДО СДЕЛАТЬ?»

Пустая (незаполненная) строка в матрице связей означает отсутствие какой-либо связи между техническими характеристиками продукции и соответствующим ожиданием потребителя, записанным в этой строке (ни одна из технических характеристик продукции не может удовлетворить данное ожидание потребителей). Аналогично пустая колонка указывает на ненужность этой технической характеристики, включенной в список характеристик продукции и удорожающей ее. Каждый элемент (ячейка, клеточка) матрицы связей, стоящий на пересечении ее строк и столбцов, определяет имеющуюся силу взаимосвязи между ожиданиями потребителей (записанными в каждой строке матрицы связей) и техническими характеристиками продукции (записанными в каждом столбце этой же матрицы связей). Символ, который находится в каждом из этих элементов, если такая взаимосвязь имеется, определяет, насколько сильна эта взаимосвязь.

При заполнении элементов (ячеек) матрицы связей для описания силы взаимосвязей на рис. 13 использованы символы, приведенные в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Символы и коэффициенты, используемые для описания силы взаимосвязи

Символ	Сила взаимосвязи	Весовой коэффициент
□	Сильная	9
О	Средняя	3
∇	Слабая	1

Отсутствие какого-либо символа на пересечении строк и столбцов матрицы связей означает, что нет взаимосвязи между соответствующими ожиданиями потребителей и техническими характеристиками продукции.

На рис. 13 видно, что ожидание потребителей «дизайн» очень сильно взаимосвязано с технической характеристикой «архитектурное решение». Однако это же ожидание потребителей слабее взаимосвязано с характеристикой «самоочищение», «вентиляция» и совсем слабо связано с характеристиками «светопроницаемость», «теплопроводность».

Цифровые оценки значимости взаимосвязи каждой технической характеристики проектируемых блоков оконных из ПВХ профилей должны быть представлены в ячейках (клеточках) матрицы связей на рис. 11. Эти цифровые оценки значимости легко подсчитываются по формуле

$$\text{Значимость взаимосвязи} = \text{Сила взаимосвязи} \times \text{Весомость, \%}. \quad (37)$$

При вычислениях по формуле (16) используются числовые значения весовых коэффициентов «сила взаимосвязи» (см. табл.7), а значения показателей «весомость, %» берутся по данным четвертого столбца субтаблицы 3 (см. рис. 13).

Примечание. Значения показателей «сила взаимосвязи», внесенные в виде символов «□», «О», «Δ» в левые верхние части элементов (ячеек) матрицы связей (субтаблица 5), были определены членами QFD-команды в результате применения «мозговой атаки».

В нижние правые части элементов (ячеек) матрицы связей (см. рис.13 субтаблицу 5) занесены числовые значения показателей «значимость взаимосвязи».

Суммы числовых значений показателей «значимость взаимосвязи» по каждому столбцу (колонке), представленные в верхней строке «суммарная оценка» субтаблицы 7, показывают приоритетность каждой технической характеристики проектируемых блоков оконных из ПВХ профилей. Из рис. 13 видно, что техническая характеристика «светопроницаемость» имеет суммарную оценку 146, «архитектурное решение» – 283, а «самоочищение» – 186.

Все значения, стоящие в верхней строке субтаблицы 7, были просуммированы. В результате получили итоговую величину 1372, отображенную в дополнительной ячейке субтаблицы 7. В нижней строке субтаблицы 7

помещены числовые значения приоритетности (выраженные в процентах от итоговой величины 1372) каждой технической характеристики проектируемых блоков оконных из ПВХ профилей. В частности, технические характеристики «архитектурное решение», «самоочищение» имеют наиболее высокие приоритеты: 20 и 14 соответственно. На стадии проектирования блоков оконных из ПВХ профилей на эти технические характеристики было обращено особое внимание.

Этап определения взаимодействия между техническими характеристиками продукции. Сила взаимосвязи между техническими параметрами отображается в элементах (ячейках) треугольной матрицы связей (субтаблица б), образующей «крышу» матрицы «дома качества», с использованием символов, приведенных в табл.3. Видно, что характеристика «воздухопроницаемость» имеет слабую взаимосвязь с характеристикой «вентиляция» и среднюю взаимосвязь с характеристикой «теплопроводность». Обозначенные символами «□», «О», «Δ» взаимосвязи имеют очень важное значение при детализации (подробном описании) путей усовершенствования этой продукции.

При выполнении проекта усовершенствования процесса производства блоков оконных из ПВХ профилей, помимо первого «дома качества» построен второй (рис.14), третий (рис.15) и четвертый (рис.16) «дома качества» и с их помощью разработаны рекомендации.

В связи с тем, что пластиковые окна создают микроклимат в помещении, защищают от шума и пропускают необходимое количество света, они также являются частью общего интерьера помещения. При построении последующих «домов качества» установлено, что улучшения могут быть достигнуты путем изменения дизайна окна. Можно предложить предприятию выпускать окна со структурным остеклением, что позволяет отказаться от привычного сочетания рама-створка и использовать стеклопакет как несущую конструкцию.

Для того, чтобы улучшить удобство в эксплуатации и уходе рекомендовано использовать окна с самоочищающим покрытием. Механизм самоочищения состоит в следующем: в результате химической реакции ультрафиолетовые лучи разрушают частицы грязи, которые затем смываются дождевой водой, равномерно распределяющейся по поверхности стекла. Таким образом, стекло остается чистым, позволяя покупателям экономить время и деньги на мойку окон. Кроме зимних садов, такие окна можно использовать при строительстве высотных зданий и сооружений.

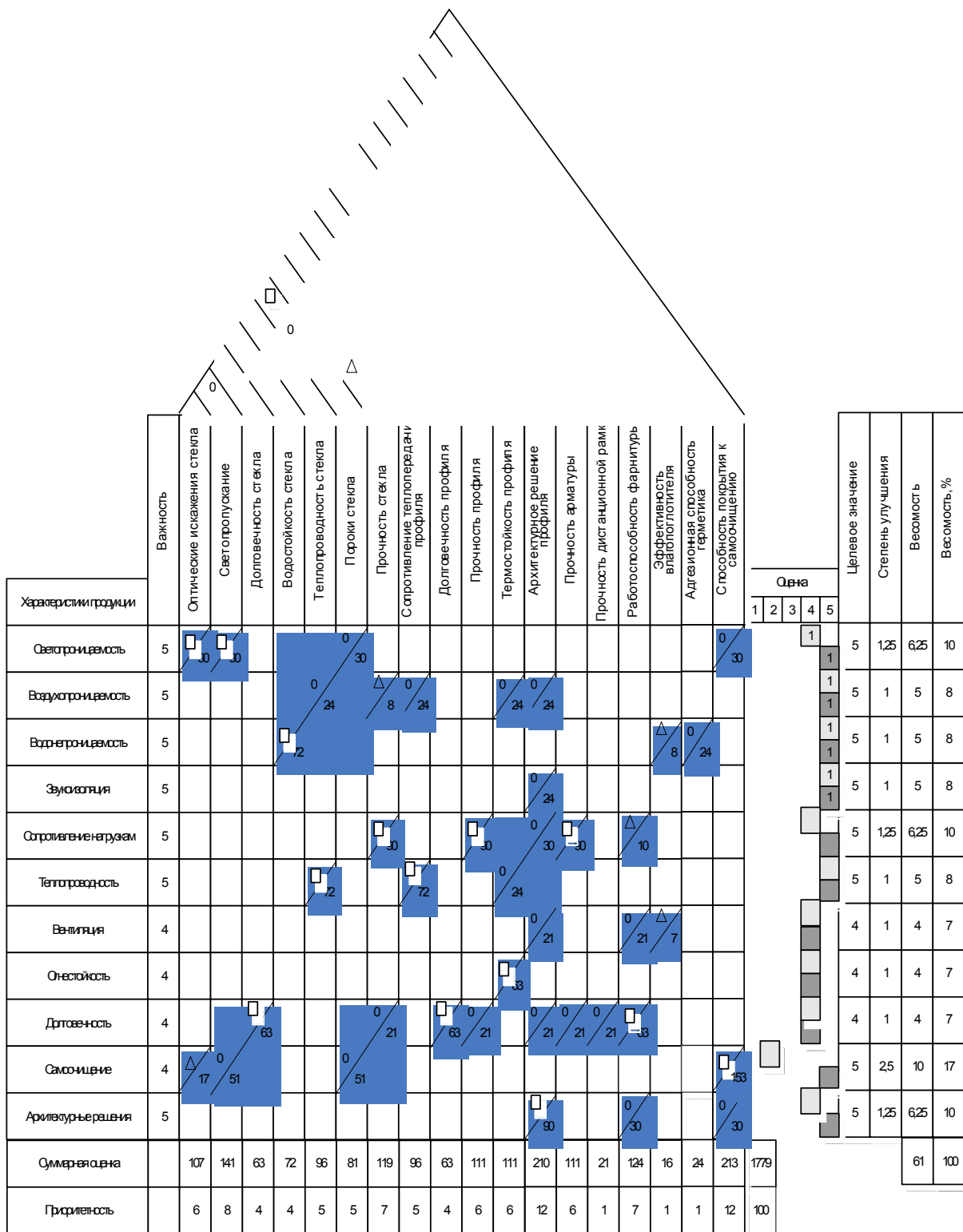


Рис.14. Дом качества

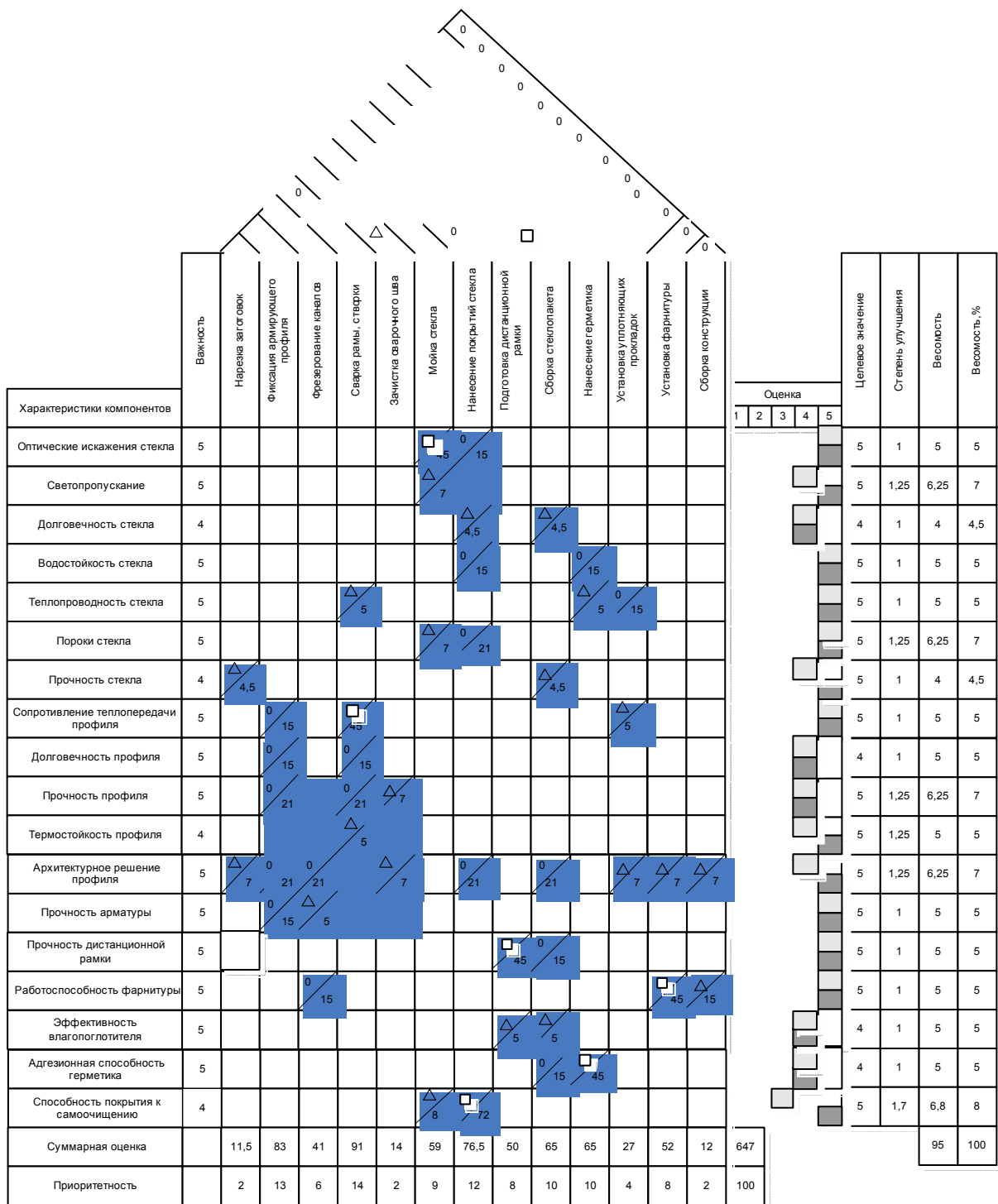


Рис.15. Дом качества

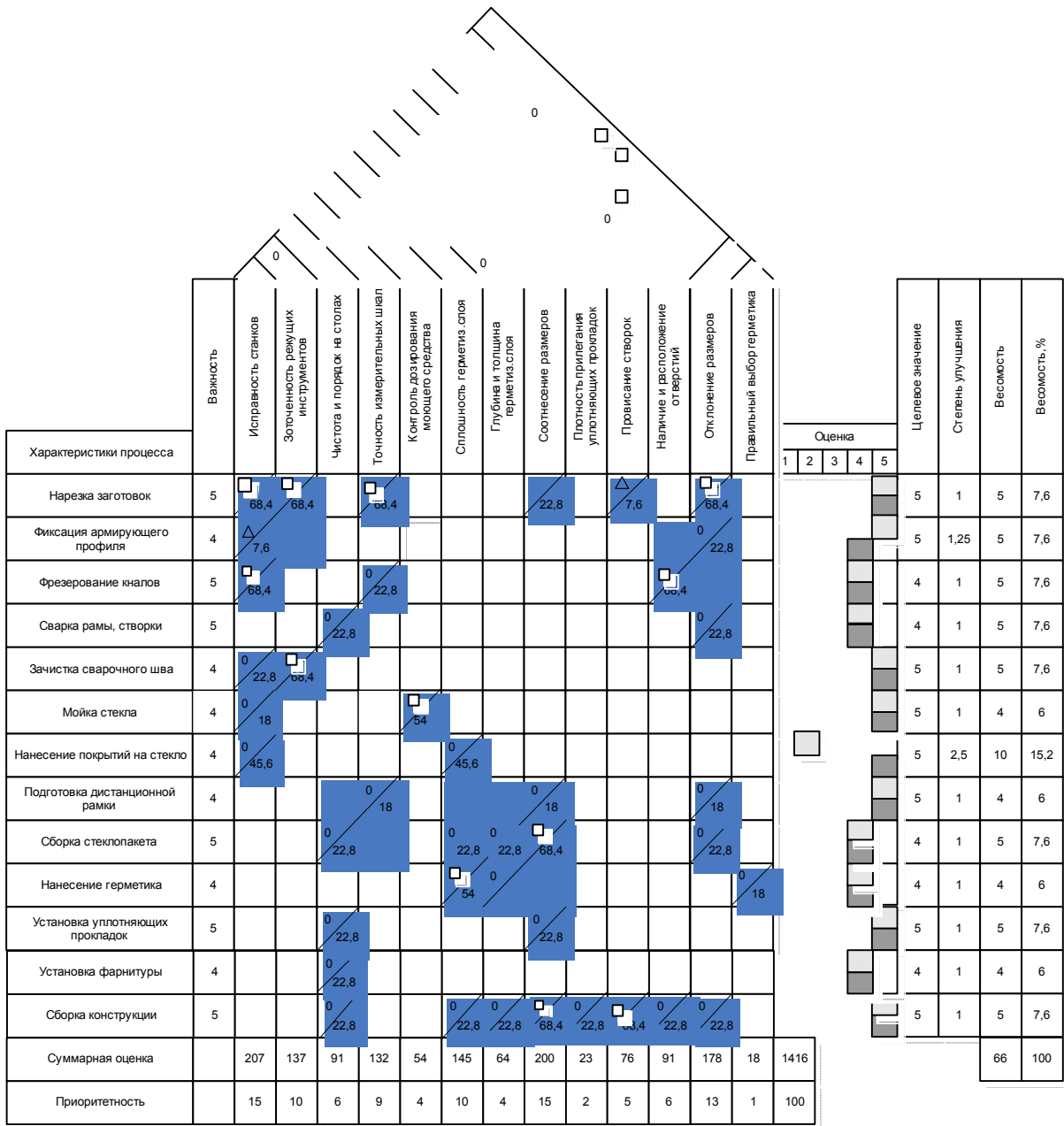


Рис.16. Дом качества

5. МЕТОД FMEA. ОСОБЕННОСТИ, НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – «Анализ характера и последствий отказов» (часто его также называют «Анализ потенциальных несоответствий и их последствий») появился в США в середине шестидесятых годов и был использован впервые при разработке проекта космического корабля «Аполлон», а затем в медицине и ядерной технике. В 80-е годы метод получил дальнейшее развитие под названием FMEA и нашел применение также в автомобильной и других отраслях промышленного производства США, а затем в Европе и Японии. В некоторых областях промышленного производства метод стал основой обеспечения качества. В Германии метод нормирован стандартом ДИН 25448.

Метод FMEA применяют на ранних стадиях планирования и создания как продукции, так и производственных процессов. Это – один из наиболее эффективных методов аналитической оценки результатов конструкторской деятельности, процессов (в том числе и испытаний) на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее создание и подготовка к производству.

Этот метод нацелен на «внедрение» качества в продукцию, поэтому он должен применяться как можно раньше, по крайней мере, до начала производства. Этот метод сначала применялся в основном при конструировании и создании процессов во всех технических сферах.

При конструировании методом FMEA решаются следующие задачи:

- получение сведений о риске альтернативных вариантов;
- определение «слабых» мест конструкций и нахождение мер по их устранению;
- сокращение дорогостоящих экспериментов.

В свете ответственности за качество продукции, этот метод определяет технический уровень продукции с точки зрения предотвращения ошибок, то есть выявления потенциальных ошибок и оценки тяжести последствий для заказчика (внешней стороны), а также устранение ошибок или уменьшение степени их влияния на качество (выводы для внутренней стороны). Анализ конструкции основан на теоретических знаниях и информации о прошлом опыте. Анализ проходит параллельно самому процессу разработки, придает ему документированную форму. Он как бы обобщает все поиски и рассуждения в процессе разработки. Снижение риска появления ошибок, которые вызывают неудовлетворенность потребителя и потерю у него интереса к продукции, является важнейшим элементом для сохранения конкурентоспособности.

На этапе создания процессов методом FMEA решаются задачи:

- принятие решений о пригодности альтернативных процессов и оборудования при предварительном планировании и определении лучших из них;
- обнаружение «слабых» мест и принятие мер по их устранению при планировании производства;
- подготовка серийного производства;
- исправление процессов серийного производства, которые оказываются нестабильными или неспособными.

Наиболее часто метод FMEA применяют при:

- разработке новых изделий;
- разработке новых материалов и методов;
- новых условиях применения существующей продукции;
- недостаточных возможностях технологического процесса;
- ограниченных возможностях контроля;
- использовании новых установок, машин или инструментов;
- высокой доле брака;
- возникновении риска загрязнения окружающей среды, нарушении норм техники безопасности;
- существенных изменениях организации работы.

В настоящее время метод FMEA применяется как в технических, так и других отраслях. При этом он может быть продуктивно использован при анализе закупок, организации работы, программном обеспечении и в других случаях.

FMEA – это эффективный инструмент повышения качества как для разработчиков и конструкторов, так и инженеров, связанных с организацией труда, процессами и производством. Он позволяет идентифицировать недостатки способа и самой продукции при новых разработках. Метод FMEA позволяет выявить потенциальные несоответствия, их причины и последствия, оценить риск предприятия и принять меры для устранения или снижения опасности.

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

FMEA – это общепринятый и самостоятельный инструмент, который подготавливает базу для дальнейшего применения аналитических и статистических методов.

Структура FMEA содержит известные элементы методик структурирования, анализа и оценки вместе с перечнем мероприятий и обязательными контрольными нормативами.

FMEA требует от человека, применяющего этот метод, систематического документирования своих рассуждений и идей. С точки зрения предприятия, документирование постоянно пополняет опыт работы. Это

устраивает также и заказчика, который убеждается в том, что исполнители критически подходят к проверке собственной работы. Все это позволяет заранее оценить риск от появления несоответствий и снизить или вообще избежать затрат на устранение последствий отказов. Таким образом, при последовательном применении метода FMEA можно с самого начала выявить потенциальные несоответствия и избежать их появления в продукции.

Этот метод, позволяющий исключить ошибки на ранней стадии создания продукции и процессов, исходит прежде всего из их детализации и строгого учета всех исполняемых функций. Он обладает значительной эффективностью при создании конкурентоспособной продукции в короткие сроки и значительно экономит время и средства. Однако этот метод не является всеобъемлющим. Он, например, не обеспечивает анализа и обобщения пожеланий заказчиков (покупателей). Какой объем багажного отделения должен быть в новом легковом автомобиле – большой, средний или маленький? То есть, при формировании перечня показателей качества помог бы метод «QFD» (Quality Function Deployment). Метод QFD осуществляет связь между ожиданиями заказчика и характеристиками продукции, компонентами комплексной продукции, процессами производства, а также отдельными технологиями для того, чтобы определить потребности в улучшении с учетом выполнения ожиданий заказчика и возрастающей конкуренции. При оценке надежности всей системы с учетом всевозможных отказов был бы целесообразен метод графов. На других этапах исследований бывает необходимо и полезно применение также статистического регулирования процессов, метода Тагути и других. Поэтому для создания конкурентоспособной продукции в короткие сроки предприятие само должно решить, какой набор методов анализа и планирования, дополнительно к FMEA, целесообразно применить для данной продукции и конкретных условий. Только при удачном совокупном подборе таких методов, система качества будет активно функционировать и соответствовать требованиям МС ИСО 9001-9003, а предприятие будет иметь стабильно высокие прибыли. Удовлетворенный потребитель является лучшим показателем качества продукции и эффективной организации работы!

Особенности метода.

К особенностям метода можно отнести:

1. Прогнозирование несоответствий (ошибок) и превентивность при обеспечении качества. Эта особенность была отмечена ранее.

2. Систематические действия, которые выполняются по формализованной и апробированной многими предприятиями методике с применением типовых формуляров (табл.4). Все это позволяет, с одной стороны, выявить и изобразить в логической последовательности и взаимосвязи потенциальные ошибки, и с помощью количественного показателя оценить

в связи с этим риск предприятия, а, с другой стороны, накопить соответствующий опыт для последующих разработок и совершенствовании.

3. Коллективный подход. FMEA обычно проводит рабочая группа, составленная из специалистов разных служб и отделов с целью:

- использования большего объема знаний и опыта. Опыт работы имеет существенное значение для эффективного использования метода FMEA при оценке качества разработок. Для анализа многих объектов бывает достаточно машинное или компьютерное моделирование, чтобы оценить объект без его физического изготовления и испытания. Число моделируемых объектов и их компонентов увеличивается вместе с накоплением опыта анализа;

- повышения эффективности решения проблемы за счет применения синергического эффекта, а также одновременного, а не последовательного принятия решения;

- расширения круга лиц, признающих результаты;

- мотивации качественного труда.

4. Функциональное рассмотрение, т.е. метод имеет целенаправленное значение для анализа функций систем, конструкций и процессов, контролирующей выполнение поставленных задач (в соответствии с техзаданием, чертежом или рабочим планом).

5. Критический анализ для выявления по возможности всех потенциальных отказов, слабых мест или рисков. Анализ позволяет наметить способы снижения риска и оценки.

6. Творческий подход при реализации метода на всех стадиях анализа. Выявление ошибок, причин их появления, оценка последствий и выполнение других работ требует аналитического, творческого мышления. Такое мышление, поддерживаемое применением различных методов коллективной работы, требуется и при поиске идей и способов уменьшения риска. Специалистам, выполняющим такой анализ, приходится сталкиваться с многовариантностью решений, которая может привести к определенным замешательствам и разногласиям у участников. Но возможность многовариантного решения и выбора наиболее эффективного (или эффективных) из них – это, безусловно, удача и, как правило, результат грамотной организации работы. В таких случаях необходимо применить обоснованный выбор критериев отбора вариантов. Хорошо, если такие критерии будут иметь числовые характеристики, и при этом представлены в виде математических зависимостей от факторов влияния. Тогда анализ достоинств вариантов будет сведен к элементарному сравнению числовых значений обобщенных показателей.

7. Детализация, Метод рассматривает риск применения отдельных элементов объектов в соответствии с заданными функциями. Анализ дает

картину отказа системы в целом на основе изучения отказов отдельных компонентов. Комбинация отказов не рассматривается.

8. Метод FMEA является формализованным аналитическим методом для систематизированного и полного определения и устранения потенциальных ошибок при планировании, конструировании, на производстве.

Введение и проведение метода FMEA возможно лишь при активном участии руководства.

9. Преимущество метода состоит в том, что его можно применять на ранних, наиболее важных стадиях планирования и создания продукции и процессов, о чем будут даны разъяснения в следующем разделе.

Метод FMEA может быть успешно внедрен лишь сверху вниз. Это означает, что введение и реализация метода возможны лишь при активном участии руководства предприятия, которое должно обеспечить обучение персонала, предоставить время, достаточное для получения результата, и не ограничивать поле организационной деятельности работников. После окончания анализа также требуется участие руководства для поддержки реализации разработанных мероприятий.

Экономические основы применения метод. Экономические расчеты по эффективности применения метода FMEA должны учитывать следующие положительные факторы:

- предупреждение дефектов в конструкции и технологии;
- исключение отзыва продукции из-за пропущенных ошибок, снижение опасности обратного отзыва изделий за счет систематического отслеживания возникновения ошибок;
- распознавание слабых мест, повышение эффективности системы качества;
- систематический анализ современных достижений (ноу-хау) для избежания повторных дефектов;
- выполнение требований заказчика, сохранение и повышение конкурентоспособности, а также авторитета (имиджа) фирмы;
- информированность сотрудников, лучшее понимание задач и осознание необходимости качества – мотивация качественного труда;
- исключение кризисной ситуации;
- сокращение сроков проектирования, уменьшение объемов дорогостоящих испытаний;
- планирование на ранних стадиях средств производства и контроля, оптимизация использования всех ресурсов;
- ослабление влияния «барьеров» между службами.

Применение метода FMEA исключает ошибки и связанные с ними отказы, а, следовательно, избавляет от рекламаций, судебных исков и значительных затрат на устранение несоответствий.

Раннее распознавание потенциальных ошибок и просчетов избавляет от дорогостоящего исправления дефектов. Лучше предвидеть возможные ошибки и своевременно исключать их, чем запоздало заниматься проблемами исправления недостатков, после того как они появились. Тем больше экономия, чем раньше будут обнаружены ошибки в цепи «планирование продукции, ее разработка, изготовление образца, установочная (пилотная) серия, серийное производство, эксплуатация потребителем». Следует отметить, что около 70 % ошибок совершается на стадии планирования и разработок. Но только 20 % ошибок удается устранить на самом предприятии, а остальные выявляются в виде дефектов у потребителя.

В соответствии с «Правилем десяти» примерное соотношение между затратами на отдельных этапах этой цепочки показано на рис. 17. Если обнаружение и устранение дефектов на стадии материально-технического снабжения потребует затрат в размере, к примеру, Q рублей, то устранение этой ошибки на стадии производства обойдется $10Q$, а у потребителя – уже составит $100Q$. Но если бы эта ошибка была выявлена методом FMEA как потенциальная, на стадии проектирования продукции или планировании производства, то ее устранение обошлось бы всего $0,1Q$.

Следует иметь в виду, что первоначальное использование метода FMEA требует значительных затрат. Только при достаточном накоплении опыта применения и статистических данных по причинам нарушения работоспособности и вероятности их проявления, затраты не только быстро окупаются, но и дают значительный экономический эффект соотносительно упомянутого выше «Правила десяти».

Имеется опыт сокращения затрат на проведение FMEA при помощи классификации анализируемых элементов на типовые (стандартные) и специфические. Типовые элементы конструкции или процесса с основными функциями повторяются при создании новой продукции и процессов или их модернизаций. Типовые элементы при FMEA конструкции имеют название, например: зубчатые передачи, подшипники, муфты и другие. При этом FMEA процесса составляется независимо от вида продукта для типового (стандартного) этапа работы. Анализ типовых элементов в обобщенном виде не содержит оценки риска, которая производится лишь для конкретных условий и дополняет стандартные разработки.



Рис. 17. Соотношение расходов по устранению ошибок на разных этапах жизненного цикла продукции (СУП – статистическое управление процессами)

При пользовании типовыми элементами необходимо при рассмотрении конкретной продукции или процесса дополнительно иметь описания специфических требований и условий работы, которые потребуются при числовой оценке показателей риска.

Основы практического применения метода FMEA

Метод FMEA первоначально применялся обычно только при анализе конструкций или процессов (классические методы FMEA конструкции и FMEA процесса). Между тем, метод FMEA развивался далее. Сегодня речь идет уже о FMEA комплексной системы. Теперь как продукция, так и относящийся к ней производственный процесс, рассматриваются как системы, которые находятся во взаимосвязи. Одну часть называют FMEA системы продукции, а другую – FMEA системы процесса (рис. 18).

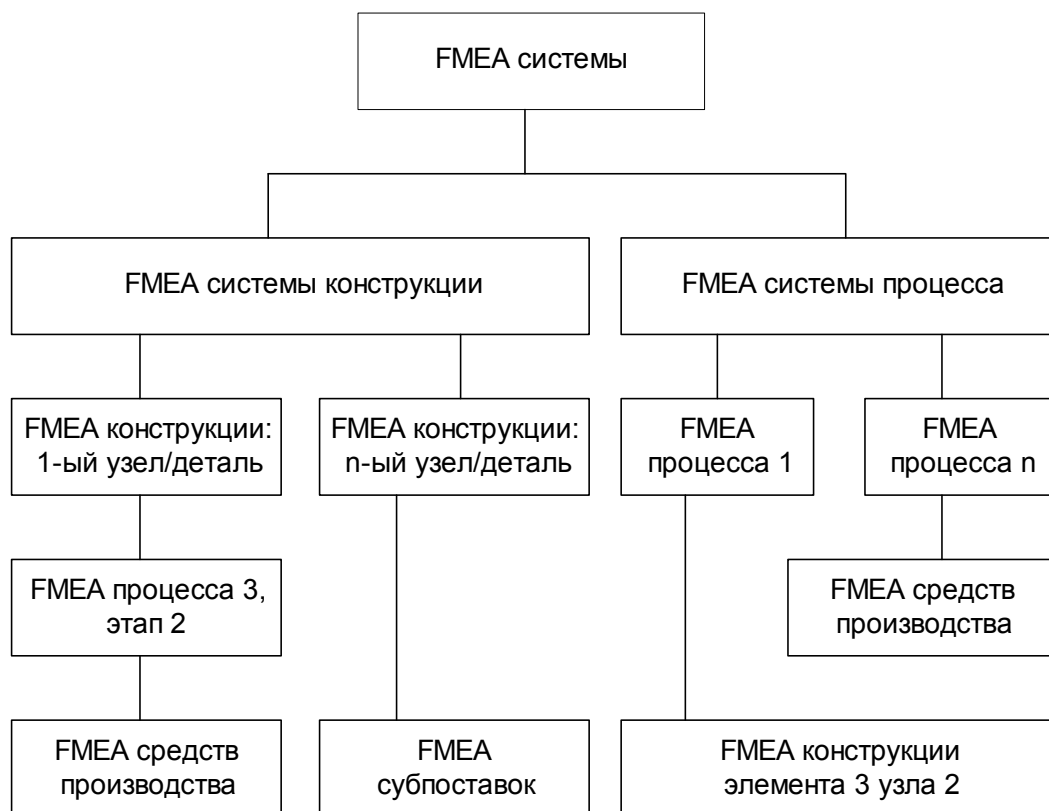


Рис. 18. Взаимосвязь некоторых видов

FMEA комплексной системы (далее просто системы) учитывает функции взаимодействия между отдельными компонентами, не исследуя при этом сами компоненты. С помощью FMEA системы осуществляют исследование с учетом требований технического задания на раннем этапе с использованием функциональных схем и блоков диаграмм. Анализируется взаимодействие компонентов системы, проверяются возможности производства, безопасности, надежности и выполнения требований соответствующих законов. Определяются не только слабые места и потенциальные ошибки, но и решаются вопросы выбора основного варианта при многовариантных предложениях структуры и компонентов системы.

FMEA системы продукции обычно включает классический метод FMEA конструкции. При FMEA системы продукции исследуются отказы, которые выступают как последствия отказов подчиненных компонентов или этапов процесса. Например, система зубчатый редуктор (основная функция – передача движения с преобразованием крутящего момента и скорости). Как следствие этого, один из видов отказа – выход из строя редуктора из-за неблагоприятного сочетания жесткости валов и подшипников, вызвавших при заданной частоте вращения резонансные колебания. Учитывая сказанное, при проведении FMEA системы продукции (также как и комплексной системы) сначала исследуют взаимодействия, а затем, по аналогии с анализом графа, рассматривают и зависимые отказы.

В классическом методе FMEA конструкции рассматриваются отказы конструкции, касающиеся функций продукции. Искомые причины (первопричины) – это слабые места конструкции. FMEA конструкции анализирует только сами компоненты (узлы и, или детали) относительно выполнения описанных функций. Подфункции (и выполняющие их элементы) упорядочиваются с помощью анализа исходной функции и дополняются известными и потенциальными видами отказов. Если вернуться снова к зубчатому редуктору и его основной функции, то следует отметить, что само преобразование крутящего момента и скорости осуществляет зубчатая передача. К отказам зубчатой передачи могут быть отнесены преждевременные (до достижения требуемой наработки) поломки зубьев зубчатых колес или разрушение поверхностных слоев их материалов. Оценка риска по этим отказам должна стать целью анализа FMEA зубчатой передачи. Но в осуществлении передачи движения принимают участие и другие детали редуктора – валы, подшипники. FMEA конструкции содержит все мысли проектировщика (или конструктора) относительно функций (подфункций) узлов и деталей, осуществляющих основную функцию. FMEA конструкции включает весь комплекс ноу-хау проектирования при критическом рассмотрении проекта для достижения лучшего результата. FMEA конструкции проводят с учетом технического задания для избежания ошибок как в конструкции самого продукта и его элементов, так и соответствующих ошибок в процессах, обусловленных особенностями конструкции.

FMEA конструкции часто составляет основу для FMEA процесса, так как при анализе конструкции в качестве причины отказа могут быть отклонения в производственном процессе. Например, большие разбросы механических характеристик материала зубчатого колеса обусловлены ошибками в технологическом процессе химико-термической или термической обработки. Эта стадия производства при проведении FMEA процесса рассматривается как источник возможного отказа и подвергается дальнейшему анализу для того, чтобы установить, почему этот этап производства может дать «сбой».

FMEA системы процесса исследует прежде всего отказы и их первопричины, которые выступают как последствия отказов подчиненных этапов процесса и их взаимосвязей, а также отказов конструкции.

Классический метод FMEA процесса является частью метода FMEA системы процесса. Он может быть также взаимосвязан с методом FMEA конструкции и вытекать из него. В рамках классического метода FMEA процесса рассматриваются отказы, касающиеся отдельных этапов процесса, а также зависимые отказы на основании предшествующих этапов процесса и отказов элементов изделия. К оцениваемым последствиям могут относиться как последующие этапы процесса, так и характеристики

продукции. Анализируют все особенности конструкции относительно спланированного технологического процесса (изготовления и контроля) и определяют соответствие изготовления требованиям чертежей и перечню обязанностей исполнителей.

Метод FMEA системы процессов начинают применять даже с предварительного планирования производственных процессов, а затем продолжают при планировании производства и его отладке. Все планируемые мероприятия и капиталовложения должны оцениваться на основе применения этого метода, чтобы исключить ошибки в производстве. FMEA процессов используется при планировании процесса и его организации с учетом требований проектировщиков и конструкторов, заложенных в технической документации (чертежах, спецификациях и др.). Целью такого исследования является обеспечение качества продукции, воплощенного в технической документации.

На примере табл.4 показана особенность взаимосвязи методов FMEA, из которой видно, что в цепи причина-следствие, начиная с анализа системы и далее конструкции и процесса, наблюдается иерархический сдвиг «причины» и «вида отказа» предыдущего анализа, например, FMEA системы, соответственно в «вид» и «следствие отказа» FMEA конструкции.

Прогнозирование возможных дефектов и анализ их последствий может производиться по требованию заказчика. При конструировании метод FMEA применяют в начале проектирования продукции и заканчивают перед апробированием конструкции и официальным окончанием разработки. При помощи метода необходимо дать оценку последующего состояния серийного выпуска продукции.

Оценка риска производится в отношении слабых мест объекта, которые определяются по совокупности трех показателей, учитывающим: вероятность появления потенциальных отказов, значения потенциальных отказов для заказчика и вероятность нераскрытия потенциальных отказов перед поставкой

Анализ характера и последствий отказов производится с использованием приоритетного коэффициента риска

$$K_p = K_n K_H K_o, \quad (38)$$

который показывает, какие возможные отказы (и их причины) являются наиболее существенными (относительный приоритет отдельных отказов/причин), а, следовательно, по каким из них следует принимать предупреждающие меры в первую очередь. Анализ производится с использованием коэффициентов, принимающих во внимание все три указанные важнейшие факторы влияния на качество продукции. К этим коэффициентам относятся:

K_n – коэффициент, учитывающий значение последствий отказов (тяжесть последствий проявления причин отказов) для потребителя (табл. 5)

Потребителем конструкции всегда является конечный потребитель (покупатель). При анализе процесса потребителем, считают того, кто принимает результаты предыдущего этапа (и, в конце концов, конечного потребителя).

Т а б л и ц а 4

Взаимосвязь видов FMEA

FMEA	Компоненты или процесс	Функция, цель	Следствие отказа	Вид отказа	Причина появления отказа
Системы	Зубчатый редуктор	Передача крутящего момента	Отсутствие передачи крутящего момента	Потеря работоспособности зубчатого колеса	Поломка зубьев
Конструкции	Зубчатое колесо	Передача крутящего момента	Потеря работоспособности зубчатого колеса	Поломка зубьев	Занижены мех. характеристики материала, закалочные трещины
Процесса	Зубчатое колесо, закалка ТВ4	Получение необходимых свойств материалов	Поломка зубьев	Занижены мех. характеристики материала, закалочные трещины	Нарушение режимов термической обработки

Т а б л и ц а 5

Коэффициент K_p , учитывающий значение последствий отказов для заказчика (внутреннего / внешнего)

Значение последствий отказа	Показатель K_p
1	2
Вероятность, близкая к нулю , что дефект может иметь какие-либо ощутимые последствия. Видимое воздействие на функцию или на дальнейшее выполнение операций процесса невозможно	1
Незначительное влияние на функции системы или дальнейшее выполнение операций процесса (второстепенное несоответствие). Потребитель, вероятно, заметит лишь незначительную неисправность системы.	2-3
Умеренное влияние . Вызывает недовольство потребителя. Функции системы или дальнейшему выполнению операций процесса нанесен ущерб (значительное несоответствие).	4-6

1	2
Существенное влияние. Существенные функции системы полностью выпадают, или промежуточный продукт не поддается дальнейшей обработке (значительное несоответствие). Несоответствие вызывает досаду потребителю, но безопасность или соответствие законам здесь не затрагиваются.	7-8
Очень существенное влияние. Тяжелые последствия отказа, ведущие к остановке производства.	9
Критическое. Отказ угрожает безопасности (опасность для жизни и здоровья людей) и противоречит законодательным предписаниям.	10

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность P_n с которой отказ или его причина не могут быть обнаружены до возникновения последствий непосредственно у потребителя (табл.6). Нужно отметить, что вероятность пропуска (необнаружения) причины численно равна среднему выходному уровню дефектности

K_o – коэффициент, учитывающий вероятность P_o отказа. Обычно $P_o = 1 - P_{\bar{o}}$, где $P_{\bar{o}}$ – вероятность отсутствия отказа (см. табл.7 или рис.19, если вероятность отказа выражена в ppm). При определении P_o исходят из того, что отказ не обнаружится до тех пор, пока потребитель не начнет пользоваться изделием.

Коэффициент K_o выбирается по табл. 7 в зависимости от вероятности отказа P_o представленной в процентном выражении или числом ppm. Вероятность отказа связана с вероятностью $P_{\bar{o}}$ безотказной работы соотношением $P_{\bar{o}} = 1 - P_o$. Определить вероятность отказа без соответствующих статистических данных наблюдений за появлением отказов нельзя. Вероятность P_o можно оценить при наблюдении за партией из n изделий. Если n_o изделий из всей партии n имели отказ, то их отношение и определит статистическую оценку вероятности отказа, а если n достаточно велико, то – вероятность отказа P_o , то есть

$$P_o = (n_o / n)100\% .$$

Следует отметить, что вероятность безотказной работы системы, состоящей из m элементов, меньше вероятности $P_{\bar{o}i}$ любого из ее элементов i . Вероятность безотказной работы $P_{\bar{o}c}$ системы здесь не рассматривается, для этого нужно обратиться к специальной литературе. Только в качестве примера покажем, что если элементы последовательно соединены и отказ каждого из них вызовет отказ системы (при этом отказы элементов принимаются независимыми), то вероятность безотказной работы выражается $P_{\bar{o}c} = P_{\bar{o}1}P_{\bar{o}2} \dots P_{\bar{o}m}$.

Каждый из этих трех коэффициентов может иметь числовые значения в пределах от 1 до 10, поэтому коэффициент риска K_p колеблется от 1 до 1000. Следует обращать внимание на устранение тех причин, которые характеризуются наибольшими значениями коэффициента риска. Обычно считают опасными причины при $K_p > K_{pp} = 100$ (150), (где K_{pp} – принятое на

предприятия предельное значение K_p). Однако нужно также иметь в виду, что часто оценка бывает субъективна, и вывод о необходимости только, чтобы было $K_p > K_{pp}$, дезориентирует. Некоторые фирмы (например, немецкая фирма BOSCH) считают, что если хотя бы один из коэффициентов K_o , K_n или K_t имеет значение равное 10, то при любом значении обобщенного коэффициента риска K_p следует проводить анализ FMEA. Правильным может быть только подход, при котором все приведенные причины дефектов проверяются на возможность проведения мероприятий по их устранению. При этом в связи с затратами ориентируются на убывающую величину K_p , т.е. K_p устанавливает приоритет последовательности необходимых мероприятий.

Т а б л и ц а 6

Коэффициент K_n , учитывающий вероятность P_n невыявления отказа или его причины

Характеристика вероятности пропуска отказа или причины отказа	Вероятность невыявления P_n , %	Коэффициент K_n
Близкая к нулю Возникающие отказы или причины отказов явно распознаются (например, отсутствие отверстия для сборки)	не более 0,01	1
Очень маленькая Выявление возникающих отказов или причин отказов очень вероятно, например, с помощью большого количества независимых друг от друга испытаний/ технологических проверок (автоматический сортировочный контроль одного признака)	не более 0,1	2-3
Небольшая Выявление возникающих отказов или причин отказов вероятно; проводимые испытания/ технологические проверки относительно достоверны	не более 0,3	4-5
Умеренная Выявление возникающих отказов или причин отказов менее вероятно; проводимые испытания/ технологические проверки недостаточно достоверны (традиционный контроль – выборочный контроль, эксперименты, тесты)	не более 2	6-7
Высокая Выявление возникающих отказов или причин отказов весьма затруднительно; проводимые испытания / технологические проверки очень неэффективны (например, контроль ручным способом, т.е. зависимость от персонала; признак распознается с трудом – неправильно выбран материал)	не более 10	8-9
Очень высокая Возникающие отказы или причины отказов выявить нельзя: технологические проверки не проводятся (например: нет доступа, нет возможности для контроля, срок службы)	более 10	10

Важнейшим этапом анализа характера и последствий отказа является проведение целенаправленных мероприятий по предупреждению дефектов. Эти мероприятия должны вести к одному из следующих результатов:

- избежанию причин отказов;
- снижению вероятности появления отказа (что возможно вследствие изменения конструкции или процесса, например, включение в конструкцию запасных параллельных элементов, выбор другого материала или термообработки);
- снижению влияния первопричины на появление отказа и тяжесть его последствий (что возможно благодаря изменению конструкции, например, снижение вибраций по отношению к предельному уровню возможно при включении упругого элемента в трансмиссию машины, что позволяет в несколько раз уменьшить динамические нагрузки);
- повышению вероятности обнаружения отказа на предприятии до момента поставки продукции потребителю (обычно это достигается изменением конструкции и процесса, а также в результате совершенствования мероприятий по обнаружению дефектов).

В связи с необходимостью ограничения затрат на устранение ошибок и их последствий следует отдавать предпочтение мероприятиям, предупреждающим отказы, а не мероприятиям по их выявлению.

Анализ исходит из отказов отдельных компонентов, а не из комбинации отказов. Анализ дает картину всех возможных отказов системы на основе отказов отдельных компонентов, причем комбинации отказов не рассматриваются (детально комбинации отказов исследуются путем анализа графа дефектов). Метод не дает количественного значения надежности рассматриваемой системы. То есть, цель FMEA – оценка системы или проекта системы в отношении отказа отдельных компонентов и их взаимосвязей.

Т а б л и ц а 7

Коэффициент K_o , учитывающий вероятность возникновения причины отказа

Характеристика появления отказа	Доля отказов/дефектов P_o , %	Показатель K_o
1	2	3
Вероятность близка к нулю	менее 0,00001	1
Очень незначительная вероятность Конструкция в общем соответствует прежним проектам, при применении которых наблюдалось сравнительно незначительное количество отказов. Процесс статистически стабилен при C_p (и C_{pk}) = 1-1,3. Доля дефектов при контроле качества составляет	$0,00001 < P_o < 0,0005$ $0,00001 < P_o < 0,0005$	2-3

1	2	3
<p>Незначительная вероятность Конструкция в общем соответствует проектам, применение которых привело к появлению небольшого числа отказов. Технология сопоставима с прежней, при которой в незначительном объеме появляются дефекты. При коэффициенте C_p более, чем 0,85 доля дефектов в пределах</p>	$0,0005 < P_o < 0,5$ $0,0005 < P_o < 0,5$	4-6
<p>Средняя вероятность Конструкция в общем соответствует проектам, применение которых в прошлом всегда вызывало трудности. Процесс сопоставим с прежним, который часто приводил к дефектам</p>	$0,5 < P_o < 5$	7-8
<p>Высокая вероятность Конструкция – ненадежна. Требования к проекту учтены незначительно (менее 50 %). Процесс – нестабилен. Можно почти с уверенностью сказать, что дефекты появятся в значительном количестве</p>	$P_o > 5$	9-10

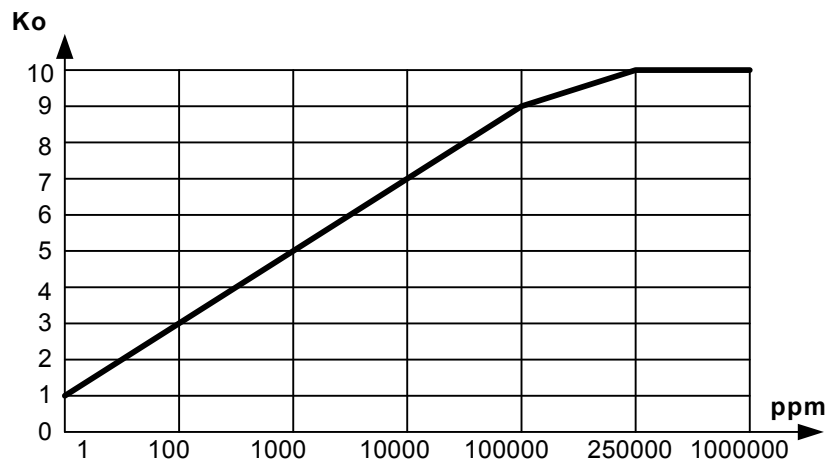


Рис. 19. Зависимость K_o от вероятности отказа, выраженной числом ppm (числом отказов на один миллион изделий)

Анализ производится при заполнении формуляра в виде табл. 8. Следует отметить, что применяется несколько видов формуляров. В некоторых формулярах объединяют расчет коэффициента риска для первоначального варианта конструкции или процесса и затем после его улучшения. Здесь рекомендуется использовать формуляр, который применяется отдельно для первоначальных и последующих измененных вариантов. Такой формуляр находит все большее применение и отвечает требованиям системного подхода.

Бланк FMEA

Фирма		FMEA – системы (Идентификация продукта или процесса)								Регистрационный номер
Ответственный		Элемент системы:								Страница_ Всего страниц
Отдел		Функция								Дата
Номер отказа	Возможный отказ	Возможное последствие отказа	K _п	Меры по обнаружению	K _н	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	K _о	K _р	Исполнитель. Срок исполнения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

В головной части формуляра последовательно в графах трех строк указывают следующее:

- предприятие (фирма) и название анализируемого продукта или процесса;
- регистрационный номер формуляра;
- ответственный исполнитель;
- элемент исследуемой системы;
- номер страницы и полное число страниц документа;
- отдел или подразделение, в котором производится анализ FMEA;
- функция (цель, назначение) анализируемого объекта;
- дата заполнения формуляра.

В столбцах по порядку записывают следующие сведения:

1. Номер отказа (в столбце 1) в соответствии с приведенным перечнем при функциональном анализе, или каталогом отказов.

2. Описание потенциального отказа. Исходя из установленных ранее функций и свойств, во 2-м столбце устанавливаются и перечисляются все возможные виды отказов. Возможно несколько видов проявления отказов (в зубчатой передаче – поломка зубьев, разрушение поверхностных слоев материала), и все их следует записать один под другим.

3. Возможные последствия отказа, например, потеря функции или отрицательное воздействие на здоровье человека (столбец 3). Вообще, в зависимости от цели анализа и от рассматриваемой системы для оценки последствий могут быть использованы различные показатели, такие как

поломка, расходы, затраты, задержка сроков, хранение на складе, наличие, личный ущерб, нарушение законодательных требований и др.

4. Величина коэффициента K_n , учитывающего значение последствий отказов (тяжесть последствий проявления причин отказов) для потребителя, находится по табл.5. Здесь необходимо принимать во внимание также требования обязательных документов (это может быть, например, отечественный или международный стандарт), регламентирующих границы проявления этого дефекта по каким-либо характеристикам, например, по предельному уровню шума или вибраций. Учитываются и принятые меры ограничения последствий отказов. Величина K_n записывается в столбце 4. Иногда, при определении K_n приходится предварительно учитывать и причины возникновения отказов, которые будут записаны в столбце 7.

5. Меры, принятые для обнаружения отказа до поставки объекта потребителю (столбец 5).

6. Величина коэффициента K_n (находится по табл.6), учитывающего вероятность необнаружения отказа или его причины до возникновения последствий отказа непосредственно у потребителя. Значение указывается в столбце 6.

7. Причина (все причины) возникновения каждого из видов отказов (столбец 7).

8. Меры, принятые для предупреждения появления причины (или отказа) – столбец 8.

9. Величина коэффициента K_o , учитывающего вероятность появления причины отказа, определенного по табл.7 или по рис.19 с учетом записей в столбце 8.

10. Величина коэффициента (приоритетное число) риска K_p для каждой из установленных причин. Записывается в столбец 10.

11. Результаты оценки фактически внедренных мероприятий в рассматриваемом элементе (контроль достигнутого успеха) путем сравнения коэффициента риска с предельным значением. Если K_p не более K_{pn} – в столбце 11 делается прочерк. Если же достигнутое значение K_p превышает K_{pn} , то назначается исполнитель, который должен разработать меры по улучшению качества и снижению коэффициента риска до допустимого уровня. Пути поиска идей по улучшению качества и снижению риска были описаны в начале этого раздела. Подразделение, отвечающее за исполнение, а также фамилия исполнителя и срок исполнения, указываются в последнем 11-м столбце.

Формуляр в табл. 8 используется и при повторном анализе объекта после разработки мероприятий по улучшению качества. Исполнитель заносит в столбцы 5 и 8 нового формуляра все возможные мероприятия по улучшению качества и анализирует их посредством сравнения коэффициентов риска между собой и каждого из них с предельным значением.

Естественно, что нужно отбирать такие мероприятия, которые бы не только снижали риск до требуемого уровня, но и были бы легко реализованы с наименьшими затратами времени и средств. Отобранные мероприятия используются для совершенствования анализируемого объекта. После повторного анализа назначаются ответственные за реализацию рекомендуемых мероприятий, а также сроки выполнения, которые указываются также в столбце 11 нового формуляра.

Методика и условия эффективного проведения FMEA

Предприятия, берущие за основу деятельности современные методы обеспечения качества и конкурентоспособности, обычно имеют в службе «Управления качеством» специально подготовленного координатора, наделенного полномочиями по определению места и задач проведения FMEA, планированию и координации проектов FMEA, обеспечению методическими указаниями и решению вопросов проведения соответствующего обучения. При этом рекомендуется следующая схема.



Рис. 20. Иерархическая схема участников работ по организации и проведению FMEA

Формирование рабочей группы. В практических условиях анализ по методу FMEA производится при групповой работе с участием сотрудников заинтересованных служб и отделов: планирования, проектного, конструкторско-технологического, производственного, управления качеством,

экспериментального и др. Для эффективной работы число участников обычно не должно превышать 4-5 человек. Ответственность проведения FMEA лежит на том отделе, который непосредственно разрабатывает анализируемый объект; например, ответственность за анализ системы лежит на проектно-конструкторском отделе, конструкции – на представителе проектного или конструкторского отдела (разработчике рассматриваемой конструкции), процесса – производственного или технологического отделов. Желательно также приглашать представителей со стороны.

При анализе действующих производственных процессов бывает также полезно объединение в группу участников, выполняющих отдельные операции.

Рабочие группы могут в процессе работы расширяться для выполнения специальных задач.

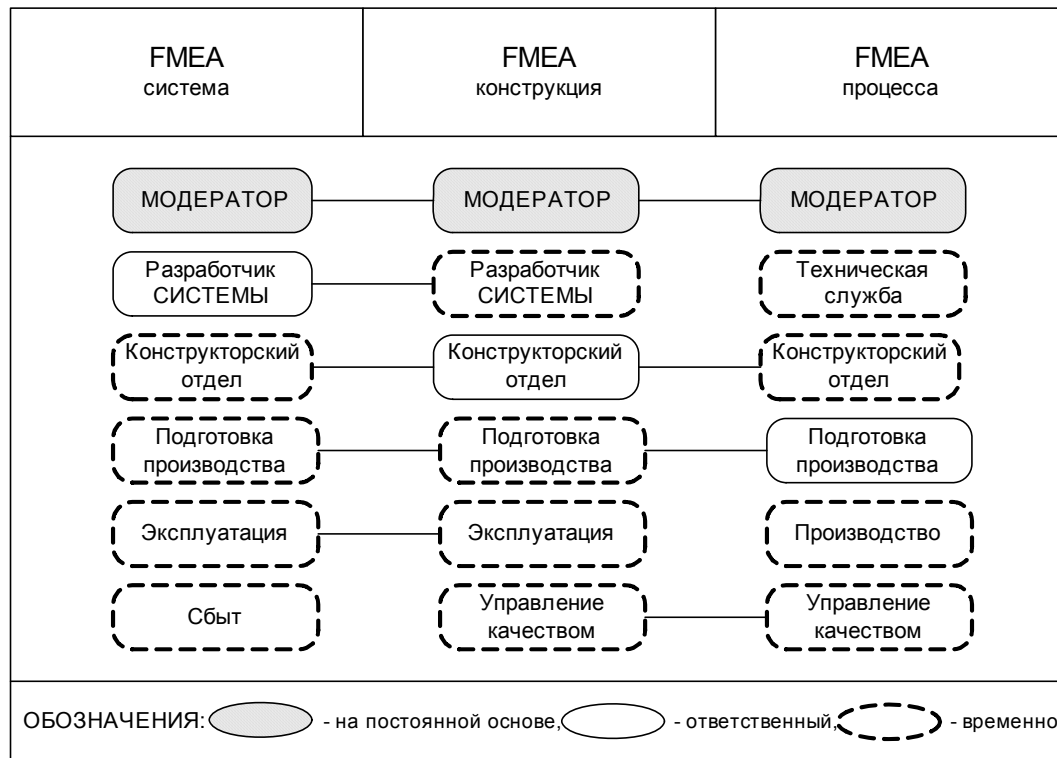
Коллективный труд результативен, обеспечивает эффективное использование знаний и опыта, более широкое признание результатов, мотивацию качественного труда.

Каждый из участников привносит в групповую работу свои профессиональные знания и опыт в той сфере, которую охватывает служба, командировавшая его для участия в FMEA. Но для успешной работы группы бывает необходим специалист, который может быть имеет менее глубокие знания по отдельным инженерным направлениям, по сравнению со специалистами соответствующих служб, но зато обладает опытом и знаниями в организации проведения самого анализа. Такого специалиста называют модератором. Модератор участвует в планировании проектов FMEA, подготавливает, организует, целенаправленно координирует и активизирует работу группы; оценивает и представляет результаты работы группы; информирует участников по запланированным и уже проведенным FMEA; берет на себя программное и компьютерное обеспечение. Модератор может участвовать в работе нескольких групп. Модератор обычно подчинен отделу – разработчику исследуемого объекта. Как уже упоминалось ранее, ответственным исполнителем проекта FMEA является тот отдел (специалист, представляющий его), который разрабатывает исследуемый объект. В табл. 9 приведен примерный состав групп в зависимости от вида FMEA.

При формировании групп разных видов и ступеней анализа соблюдается определенная преемственность участия специалистов, например, при анализе конструкций и процесса привлекается разработчик продукции – конструктор.

Обучение участников группы методике проведения FMEA. Желательно начинать с информационного семинара для руководства. Отдельные семинары желательно организовать для модераторов и координаторов, а затем уже провести семинар для участников рабочей группы.

Примерный состав рабочих групп FMEA
(указаны службы или специалисты, представляющие их)



Сбор и изучение материалов, необходимых для проведения анализа.

К материалам, собираемым рабочей группой, обычно относят:

- чертежи, спецификации;
- технологические схемы;
- цели качества по данному виду продукции;
- список важнейших проблем управления качеством;
- технические требования к системе;
- данные о взаимозависимостях;
- законодательные документы, нормы, требования техники безопасности;
- протоколы, карты сбора информации, планы ввода;
- описания функций;
- информацию о проблемах самой продукции, применяемых методов, материалах;
- информацию о сравнимых видах продукции, выпускаемых предприятием;
- планы проведения контроля сравнимых видов продукции;
- каталоги с описанием причин, видов несоответствий и их последствий;
- перечень принятых мероприятий по предупреждению несоответствий и контрольных мероприятий;

– перечень критериев возникновения отказов, их значений, частоты появления;

– отчеты о проведенных экспериментах;

– формуляры FMEA, расчетные программы.

Безусловно, к каждому виду анализа какого-либо объекта требуются не все перечисленные документы и материалы, а иногда и другие дополнительные сведения. Если в качестве процесса рассматривается испытание продукции, то каждый участник по анализу планирования испытаний должен иметь документацию в виде предварительных схем испытаний и информацию обо всех методах испытаний, испытательных средствах и объемах испытаний. При планировании производства и сборе материал учитывают также те обстоятельства, когда участникам группы придется принимать решения по всем технологическим ступеням и операциям, а также по используемым рабочим средствам.

Если предприятие впервые начинает применять FMEA, то некоторых из перечисленных материалов может вообще не оказаться. Но так как без них невозможно провести анализ и поиск потенциальных причин отказов, а также обеспечить в целом конкурентоспособность продукции и жизнеспособность предприятия, то необходимо организовать сбор требуемой информации по прошлому опыту работы и предусмотреть систематическое его пополнение. Этому, кстати, и поможет регулярное применение метода FMEA.

Структурирование и функциональный анализ. Для проведения анализа необходимо рассматривать состояние объекта как исходную ситуацию. При этом предполагается, что все его компоненты исправны. Если важно несколько состояний объекта (вследствие различных функций при определенной эксплуатации), то соответственно проводится отдельный анализ.

Сначала структурировать объект анализа, определить функции элементов и возможные виды их отказов, а затем установить причины отказов и оценить риск по каждой причине.

Метод FMEA предусматривает обязательную структуризацию объекта с определением и анализом выполняемых им функций. Без четкого определения функций (назначения и целей) не могут быть получены надежные результаты анализа. Исходная информация о структуре и функциях системы может быть получена при рассмотрении таких материалов, как: спецификация системы, чертежи, описание условий эксплуатации (профиль эксплуатации, условия окружающей среды), сведения о взаимодействии с другими системами.

Детализация объекта (иерархическое деление объекта по функциональным признакам на системы, подсистемы и т.д.) позволяет наиболее точно учесть функциональные признаки работы объектов и грамотно исполь-

зовать накопленный опыт работы. Нужно иметь четкую ясность в отношении технических функций каждой системы и подфункций её элементов. При анализе конструкции выделяют узлы, подузлы и детали, а процессов – отдельные этапы работы. Важными являются те функции, которые переносят рассматриваемый элемент на расположенную выше по иерархии систему. Основная функция механического конвейера, например, заключается в транспортировке груза. Систему «Механический конвейер» можно разделить на две такие подсистемы, как собственно конвейер и его привод. Подсистема «Конвейер» имеет такую же функцию, как и система, которая осуществляется при получении движения от «Привода», то есть «Привод» осуществляет важнейшую функцию, приводя в движение подвижные части конвейера для транспортировки груза. В свою очередь в приводе выделяют редуктор, муфты и электродвигатель. Функцией редуктора является передача движения от электродвигателя к конвейеру с преобразованием скорости и крутящего момента. Более низкий иерархический уровень занимают элементы редуктора: зубчатые колеса, валы, подшипники, уплотнения и др. Таким образом, здесь необходимо проведение анализа комплексной системы, FMEA системы конструкции, FMEA конструкции и FMEA системы процесса/процесса.

Предпосылкой правильного определения потенциальных отказов является точное и полное описание функций.

При использовании анализа характера и последствий отказов для процессов главным является деятельность. Необходимо точное описание отдельных рабочих операций со всеми требуемыми степенями в порядке их выполнения и выделение всех элементов (например, насосов, клапанов и др.), которые влияют на качество производства. Если обслуживающий персонал в ходе процесса выполняет определенные функции, то эту деятельность в сфере анализа последствий отказов нужно рассматривать как часть системы (компонент, элемент). Выполняемые персоналом функции (например, управление процессом, транспортным средством) должны исследоваться отдельно с точки зрения таких отказов, как: задание не выполняется, выполняется по несоответствующей инструкции, выполняется до/после установленного срока, выполняется неправильно и др.

Разбив объект по иерархическим уровням, его затем рассматривают как многоуровневую структуру. В соответствии с принципом приоритета необходимо оценить качество объекта на каждом из уровней, начиная с верхнего и кончая нижним. При этом может выясниться, что некоторые из подсистем или компонентов уже анализировались методом FMEA, поэтому повторение анализа для них становится ненужным. Безусловно, что детализация является важным этапом. Можно, например, зубчатую передачу выделить как низший элемент системы, так как ее нагрузочная способность определяется по ряду показателей при совместном рассмотрении

зубчатых колес. Но в некоторых случаях в качестве объектов для исследования целесообразно выделять в передаче как шестерню, так и колесо и рассматривать специфические цели, оценивать их уровень качества и отсутствие потенциальных дефектов.

Необходимо составить списки всех элементов и выполняемых ими функций, установить взаимосвязи функций. Для выполнения этой важной части работы могут быть использованы формуляры, показанные в табл. 10. Весьма полезным бывает графическое изображение элементов исследуемого объекта, их функций и взаимосвязей с помощью функциональной блок-диаграммы (ФБД).

ФБД составляется для каждой группы функционально связанных единиц (ФЕ). ФБД отражает взаимосвязи и зависимости отдельных ФЕ (узлов, деталей) и показывает критические для последствий участки. Указывают также участки, на которых происходит взаимное влияние внутренней и внешней среды.

Т а б л и ц а 10

Формуляр для описания структуры объекта и анализа функций

FMEA системы: (1)	Функциональный анализ элемента системы: (2) (продукция, узел)	Составитель: (Ф.И.О./ отдел) (3)	Дата(4)
		Инв. номер..... (5)	Страница(6) Листов.....(8)
Основная функция элемента в системе: (7)			
Обозначения (9)	Функциональные единицы ФЕ (10)	Функции (подфункции) (11)	Примечания, опасные участки (12)

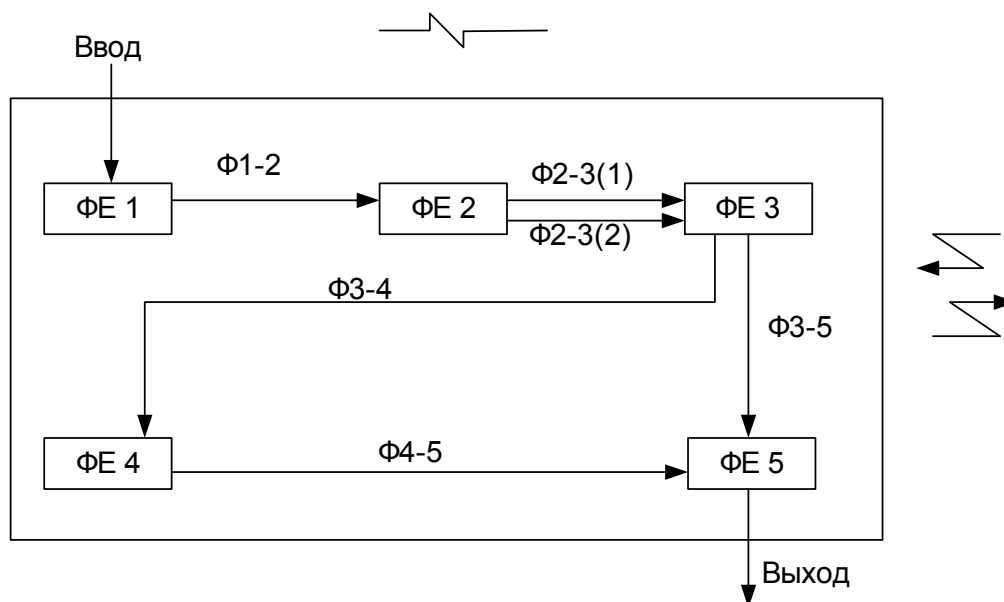
Если ФЕ выполняют несколько функций, то каждую из них рассматривают отдельно. Принцип построения диаграммы и ее оформления показан на рис.21.

При анализе процесса разделению (относительно выполняемого вида деятельности) подлежат: планы хода процесса, планы работы (производственные планы) и рабочие позиции, анализ и описание требований. При описании требований могут использоваться формуляры, аналогичные применяемым при функциональном анализе (табл.10), при следующих изменениях: в графе 2 указывается функциональный анализ требований к виду работы (процессу), в – 7 основная функция (назначение процесса, вид работы и т.д.) в графе 10 – этапы работы (как?), в 11 – требования (что?). Содержание других граф сохраняется.

Анализ потенциальных отказов и оценка достигнутого уровня качества рассматриваемого объекта. На этом этапе заполняется формуляр табл.10:

– указываются исследуемые компоненты или рабочие операции;

- записываются функции (цели, назначение);
- определяются виды потенциальных отказов;
- перечисляются причины и следствия отказов;
- отмечаются меры, предпринятые для предупреждения отказов.



Обозначения: Ф2-3 - функция Ф2 к Ф3; ----- - граница объекта;
 ↔ ↔ - влияние внешней среды на внутреннюю или наоборот;
 → - направление действия; Z - критический участок.

Рис.21. Функциональная блок-диаграмма (принцип построения)

Более подробное описание порядка заполнения табл.10 и содержание записей описано в предыдущей главе.

Предпосылкой правильного определения потенциальных отказов является точное и полное описание функций каждого из рассматриваемых элементов. Именно отсюда нужно начинать формулирование самих отказов и причин их появления. Не выяснив причин возможных отказов, можно пропустить недоработки какой-либо из служб.

Очевидно, что без накопленного и обобщенного опыта – здесь просто невозможно обойтись. Нужно знать механизм возникновения неисправностей, понять и количественно оценить частоту появления подобных отказов. Нужно понимать причинно-следственную связь, в соответствии с которой конкретный вид неисправности оказывает свое воздействие на проектируемую продукцию и планирование ее производства. Целесообразно иметь банк данных из опыта технологии изготовления специфической продукции и ее практического использования (эксплуатации). Поэтому предприятие должно накапливать данные о видах неисправностей, причинах их появления, а также о факторах воздействия, которые приводят к неисправностям. Такой банк данных повышает знания сотруд-

ников об изделиях, позволяет существенно экономить время при последующих анализах в процессе модернизации изделий или создании новых, которые обычно включают аналогичные (типовые, или стандартные) элементы. Накопленные данные должны также содержать информацию о рекламациях, отчеты об обслуживании заказчика, испытаниях опытных образцов. Желательно иметь информацию о работе аналогичной продукции. Таким образом, опыт определяется не только временем участия, но и прежде всего накоплением информации, её обобщением, соответствующим документированием и пополнением знаний. Опыт прошлого обычно обобщается в виде стандартных правил и передается следующим поколениям.

Т а б л и ц а 11

Основные виды/причины отказов машиностроительных конструкций

№	Виды/причины отказов
1.	Вибрации
2.	Поломки деталей (усталостью, статические)
3.	Статические и усталостные разрушения поверхностных слоев деталей и другие виды изнашивания
4.	Жесткость (завышенная, заниженная)
5.	Потеря устойчивости
6.	Отклонения от требуемых структур материала и механических свойств
7.	Неправильный характер подвижного/неподвижного соединений
8.	Теплостойкость материала
9.	Разрушения декоративных и защитных слоев покрытий

При анализе процессов нужно также перечислять все возможные ошибки, приводящие к отказу, которые могут появиться при выполнении работ, входящих в рассматриваемый процесс.

В общем случае ошибки возникают в системе: человек, машина (включая станок для изготовления, крепежные и другие приспособления, режущий инструмент), материалы, измерение, метод. Поэтому на этом этапе бывает полезно применение метода «причина-следствие» японского ученого Исикавы.

Необходимо включать в табл.11 все возможные отказы, причины их появления и способы устранения. При заполнении табл.11 и переходе от столбца к столбцу число строк возрастает.

Следует также иметь в виду, что начиная анализ с элементов высшего уровня, бывает не всегда возможно оценить вероятность отказа и вероятность обнаружения отказа или его причины объекта до анализа элементов более низкого уровня. Поэтому соответствующие графы табл.11 могут быть в начале анализа незаполненными. Вероятность отказа объекта

определяется по аналогии, например, с анализом графа с учетом показателей P_o для элементов объекта более низкого уровня. Тяжесть последствий отказа объекта и причину его появления устанавливают обычно для объекта на высшем уровне в виде более общего заключения об отказе подсистем следующих уровней, а затем начинают анализ подсистем. Процесс анализа идет далее с большей конкретизацией данных об элементах более низкого уровня.

Принцип такого последовательного анализа виден из схемы на рис.22. Подсистемы, указанные на этой схеме, могут быть развернуты и дальше.

Система Подсистема	FMEA - системы продукции			FMEA - системы процесса			FMEA - системы продук- ции
	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Этап 6	Этап 7
	Т.1						
Производство	0.1	Т.2		Т.4.1			
Узел	П.1.1	0.2	Т.3	Т.4.2			
Деталь		П.2.1	0.3	Т.4.3			
Характеристика конструкции	П.1.2	П.2.2	П.3.1				
Процесс производ- ства / монтажа	П.1.3	П.2.3	П.3.2	0.4	Т.5		Т.7.1
Подпроцесс				П.4.1	0.5	Т.6	Т.7.2
Шаг процесса					П.5.1	0.6	Т.7.3
Характеристика процесса				П.4.2	П.5.2	П.6.1	
Машина				П.4.3	П.5.3	П.6.2	0.7
.....						

Рис.22. Этапы FMEA системы:

О – отказ (и его характеристика – коэффициент K_n), Т – последствие отказа (характеристика тяжести отказа – K_n), П – причина отказа (характеристика – K_o)

Методика и рабочий план проведения FMEA отдельного элемента исследуемого объекта приведены на рис. 23.

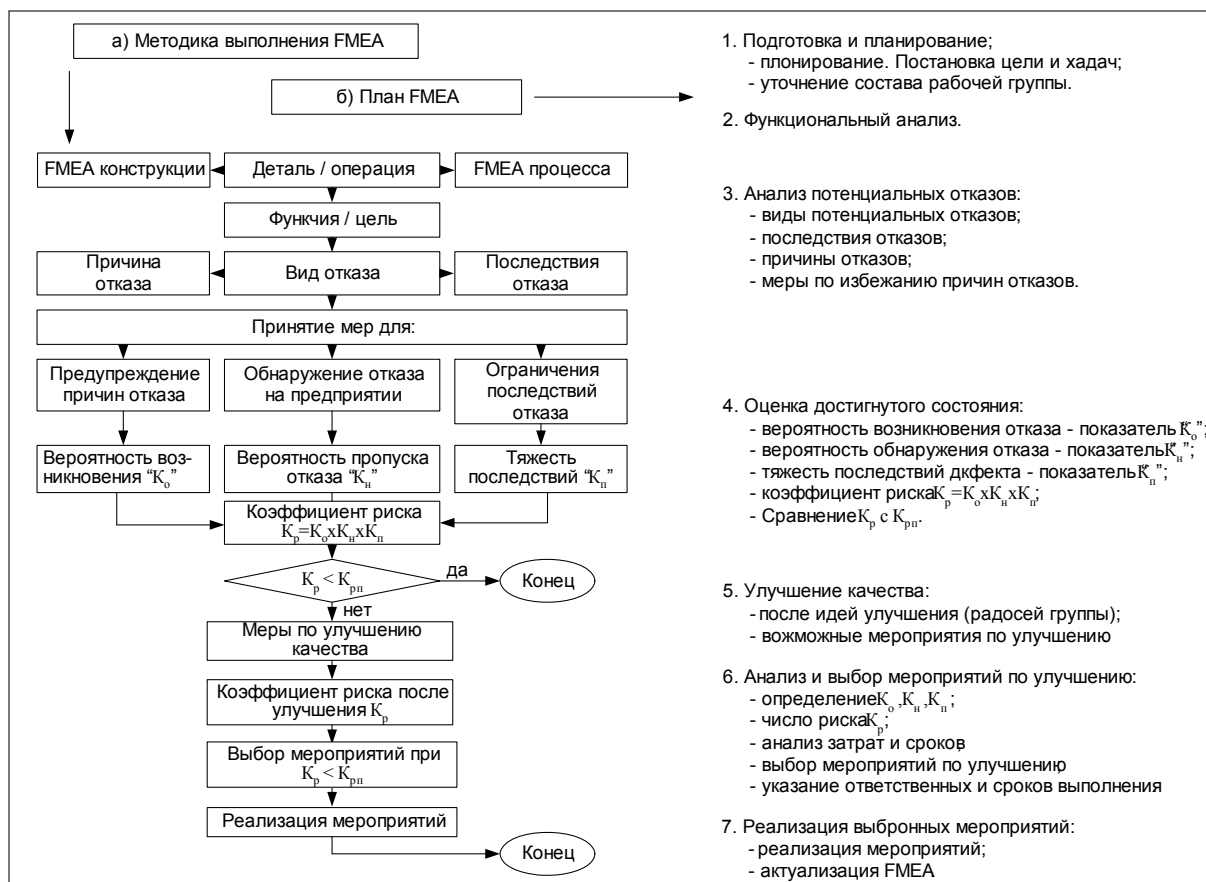


Рис. 23. Методика (а) и рабочий план (б) FMEA элемента исследуемого объекта

После заполнения таблицы 8 и определения коэффициента риска K_p анализируемого варианта объекта, производят сравнение $K_p = K_d K_n K_n$ с установленным на предприятии предельным значением $K_{рп}$, при превышении которого принятые меры предосторожности считаются недостаточными, и могут привести к неблагоприятным для предприятия последствиям. Поэтому делается вывод о необходимости поиска путей улучшения качества и снижения K_p . Для этого назначается ответственный исполнитель поиска улучшения качества и определяются сроки выполнения.

Отбор элементов для FMEA. На некоторых этапах анализа может оказаться, что появление отказа объекта зависит от возможных отказов многих составляющих его элементов. Проводить анализ всех элементов, как правило, трудоемко и не всегда обосновано. Поэтому встает вопрос об отборе наиболее «ответственных» элементов. Для ответа на этот вопрос можно использовать разные способы, например, производить отбор по таким критериям, как: системы, детали или процессы, влияющие на безопасность (потенциальная угроза при применении);

- новые условия эксплуатации существующей продукции;
- потенциальные отказы, ведущие к тяжелым последствиям с высокими затратами на устранение (высокие затраты при отказе);
- принципиально новые разработки;
- существенные изменения конструкции или процесса;
- функционально важная деталь или процесс;
- новая технология или материал;
- существенное влияние на взаимозависимые элементы.

Строится матрица, столбцы которой образуют элементы системы, конструкции или процесса, а строки – критерии оценки. На пересечении столбцов и строк ставятся соответствующие знаки, показывающие степень влияния каждого из критериев на последствия ошибок при создании объектов, и риск предприятия. Каждая из степеней влияния оценивается разным числом баллов, например, сильная – 9 баллов, средняя – 3 балла, слабая – 1 балл. Абсолютный показатель приоритета определяется для каждого элемента суммированием баллов по всем критериям. Относительный показатель вычисляется делением абсолютного показателя на сумму баллов для всех элементов. Применяют FMEA для элементов, имеющих показатели приоритета выше определенного уровня, который должны устанавливать участники рабочей группы. Пример применения такого способа отбора приведен в табл. 12.

Могут быть использованы и другие методы отбора ответственных элементов для анализа по методу FMEA, например, используют результаты предварительного исследования по методу QFD. Такое исследование позволяет отобрать признаки, которые важны для выполнения требований заказчика и цели которых труднодостижимы, то есть отобрать признаки, которые в первую очередь должны быть исследованы с помощью FMEA. Полезным может оказаться и прием оценки функций, выполняемых каждым из элементов. В этом случае приоритет элементов для FMEA определяют в зависимости от числа функций и их важности (например, основная функция, прочие функции). Для этого составляют матрицу «детали (элементы) – функции» (при конструировании). В первом столбце перечисляют все детали исследуемого объекта. В верхней строке матрицы последовательно для каждой детали перечисляют функции, для которых эти детали предназначены, или которые они обеспечивают. На пересечении строк и столбцов делают отметки о важности функции (образующей столбец) для детали, записанной в пересекающей строке.

Таблица 12

Матрица отбора по критериям применения
(на примере некоторых элементов зубчатого редуктора)

№ п/п	Детали Критерии применения FMEA	Зубчатая передача	Вал шестерни	Подшипник вала шестерни	Крепежный винт крышки подшипника
		1	2	3	4
1	Требования заказчика	0	0	0	0
2	Потенциальная угроза	•	0	•	0
3	Изменившиеся условия эксплуатации	-	-	-	-
4	Высокие затраты при отказе	•	•	0	0
5	Принципиально новая разработка	•	-	-	-
6	Существенные изменения	-	0	-	∇
7	Функционально важная деталь	•	•	0	∇
8	Взаимозависимые детали	•	•	•	0
9	Новые материалы, технологии	-	-	-	-
10	Важная постановка цели	•	∇	∇	-
11	Другие неотложные причины	-	-	-	-
	Показатель приоритета, абсолютный	57	37	28	14
	Показатель приоритета, относительный	0,42	0,27	0,20	0,11
	Производится анализ FMEA	да	да	да	нет

Обозначения: • сильное влияние – число баллов 9; ∇ слабое влияние – число баллов 1; 0 среднее влияние – число баллов 3; – не влияет.

Таблица 13

Матрица отбора элементов для по методу «детали-функции»

ЭЛЕМЕНТЫ	ФУНКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ						Число основных функций	Общее число функций	Приоритет для применения FMEA
	Передача движения 1.1	Преобразование крутящего момента и скорости 1.2	Поддержание зубчатых колен 2.1	Передача сил 2.2	Обеспечение вращения 3.1	Удержание от осевого смещения 4			
1. Зубчатая передача	●	●		○			2	3	1
2. Вал шестерни	○		●	○	○		1	4	2
3. Подшипни- ки вала шестерни			○	○	○	○		4	3
4. Крепеж- ные винты крышки подшипни- ка				○		○		2	

Примечание: ● -основная функция, ○ - функция (подфункция)

Можно выделить, кроме основных и прочих, также функции, нарушение которых приводит к критическим последствиям. На примере табл.13 при классификации использованы понятия только основных и прочих функций (подфункций). Затем подсчитывают общее число функций, отдельно критических, основных и прочих. Устанавливают приоритет применения ФМЕА. При наличии критических и основных, или многих прочих функций делается заключение о необходимости анализа ФМЕА. Следует отметить, что классификация функций по важности и соответствующая оценка функций для каждого элемента проводится по определенной договоренности, которая должна быть зафиксирована в соответствующих документах (методическом указании по применению ФМЕА и др.). Вовсе необязательно, что такие рекомендации будут на всех предприятиях одинаковы. Главное, чтобы на каждом предприятии такие рекомендации стабильно действовали, хотя бы в течение некоторого промежутка времени. Это позволяет иметь необходимую преемственность и сравнимость результатов, выполненных в разное время.

Улучшение качества.

Для элементов, у которых коэффициент риска выше предельно допустимого, должен быть проведен поиск способов (идей) по снижению риска. При анализе систем нужно учитывать, что ошибки обычно возникают при обеспечении взаимодействия отдельных компонентов. Поэтому мероприятия по улучшению должны быть направлены на необходимые изменения взаимодействия компонентов и определение целесообразных показателей характеристик самих компонентов. При анализе продукции учитывают, что ошибки бывают в самой конструкции, и поэтому мероприятия должны быть направлены на ее улучшение. Но не всегда можно достигнуть желаемых результатов изменением конструкции. Поэтому мероприятия могут касаться технологии изготовления и соответствующих средств производства. При совершенствовании технологии также не всегда ограничиваются только ее изменением: если отсутствуют надежные способы изготовления или испытаний, приходится изучать возможности изменения конструктивного оформления продукции.

Каждый из вновь предлагаемых способов улучшения должен быть оценен подсчетом коэффициентов риска и сравнением его с предельным значением. При этом нужно обратить внимание на то, что не все возможные способы устранения потенциальных отказов из числа рассмотренных могут быть реализованы на практике. Если несколько способов обеспечивают необходимый уровень качества, то целесообразно выбрать из них только такие (или один из них), которые могли бы быть реализованы в короткие сроки с минимальными финансовыми затратами. При анализе на этом этапе вновь заполняется формуляр (табл.8). При этом рассматриваются все возможные способы и записываются соответствующие критерии оценки по отдельным показателям и коэффициенты риска.

Практическая реализация намеченных мероприятий.

Отобранные для осуществления способы повышения качества и снижения риска предприятия должны быть реализованы в виде соответствующих мероприятий. Поэтому в последнем столбце формуляра табл.5 записываются ответственные исполнители и сроки реализации.

Но на этом процесс FMEA еще не заканчивается. Со стороны руководства, определившего необходимость проведения анализа FMEA и обеспечившего его проведение, должен быть выполнен контроль результатов анализа. Для успешной реализации мероприятий, выработанных рабочей группой, необходимо также создание соответствующих условий и последующее проведение оценки эффективности этих мероприятий.

Рекомендуется сделать выводы не только по результатам улучшения качества анализируемого объекта, но и совершенствованию самой методики использования FMEA. Полученный опыт практического применения FMEA должен найти отражение в соответствующих инструкциях и программных комплексах для ПЭВМ. Накопление и передача последующим поколениям прогрессивных технологий состоит прежде всего в сборе информации по проблемам ошибок, статистическом обобщении и установлении характеристик рассеяния отказов и причин их появления.

Условия эффективного использования FMEA.

Из рассмотрения могут быть исключены лишь такие элементы, которые не вызывают опасений, что должно быть подтверждено соответствующей оценкой с помощью, например, матриц отбора (табл.13).

Опыт работы создается не только при планомерном участии, но и обобщении, документировании и совершенствовании применяемой методики.

Для успешного применения метода FMEA необходимы, прежде всего, такие условия:

1. Метод должен быть востребован и являться составной частью системы обеспечения качества. За рубежом применение метода часто обуславливается требованиями заказчиков.

2. Метод должен быть поддержан руководством и задействован в организационной структуре типа той, которая показана на рис. 22.

3. Метод необходимо правильно разъяснить; без этого невозможно обучение персонала. Это условие обязательно для выполнения при обучении персонала.

4. Метод должен постоянно применяться, и при этом нужно достичь определенного опыта использования. FMEA должен стать непрерывно используемым и постоянно совершенствоваться за счет накопления информации и последующих корректировок. Он должен служить основой для принятия решений при возникновении альтернативных путей решения.

Пример.

Продукт включает кислоту и бутылку, состоящую из стеклянной колбы, устройства для безопасного разлива кислоты (которое крепится к стеклянной колбе), навинчивающейся крышки и этикетки на колбе.

Рассматриваемый продукт своими компонентами должен выполнять функции:

1. Кислота:
 - 1.1. Пригодность для (запланированного заказчиком) применения.
2. Бутыль.
 - 2.1. Стеклоянная колба:
 - 2.1.1. Возможность частичного или полного опорожнения (в соответствии с требованиями пользователя).
 - 2.1.2. Защита кислоты от вредных воздействий окружающей среды.
 - 2.1.3. Защита пользователя от опасного воздействия кислоты.
 - 2.1.4. Поддержание устройства для разлива кислоты
 - 2.2. Устройство для разлива кислоты:
 - 2.2.1. Возможность частичного или полного опорожнения.
 - 2.3. Навинчивающаяся крышка:
 - 2.3.1. Возможность частичного или полного опорожнения.
 - 2.3.2. Защита кислоты от вредных воздействий окружающей среды.
 - 2.3.3. Защита пользователя от опасного воздействия кислоты.
 - 2.4. Этикетка:
 - 2.4.1. Идентификация продукта.
 - 2.4.2. Указания на опасные свойства кислоты.
 - 2.4.3. Рекомендации по безопасному обращению с кислотой.
 Схема проведенного анализа риска и последствий отказов системы продукции показана на рис.24.

Система	FMEA системы продукции «Расфасованная в бутылки кислота»		
	Этап 1	Этап 2	Этап 3
	T.1 (K _n =10)		
«Расфасованная в бутылки кислота»	O.1 (K _n =10)	T.2 (K _n =10)	
Бутыль	П.1 (K _o =8)	O.2 (K _n =10)	T.3 (K _n =10)
Стеклоянная колба		П.2.1 (K _o =8)	O.3 (K _n =10)
Устройство для разлива		П.2.2 (K _o =2)	
Характеристика конструкции			П.3 (K _o =8)
Процесс изготовления/ сборки		П.2.3 (K _o =1)	

Рис.24. Схема анализа риска и последствий отказов системы «Расфасованная в бутылки кислота»:

O. (K_n) – отказ (коэффициент, характеризующий вероятность невыявления отказа или его причины), T.(K_n) – последствия отказа (коэффициент, характеризующий тяжесть последствия), П.(K_o) – причина отказа (коэффициент, характеризующий вероятность появления причины отказа)

Определение отказов и их последствий для общей системы

(1 этап анализа – таблица 14)

1.1. **Возможный отказ** системы может произойти при нарушении любой из перечисленных функций. В данном примере ограничимся рассмотрением

отказа при нарушении только одной функции «возможность частичного или полного опорожнения». Отказ состоит в том, что при выливании кислоты часть ее, отдельные капли стекают по внешней стороне бутылки.

1.2. Оценка возможных последствий отказа. При попадании кислоты на кожу человека появляется ожог. Здоровье пользователя подвергается опасности. Такое воздействие необходимо оценить значением коэффициента $K_n=10$.

1.3. Меры по обнаружению отказа и оценка вероятности невыявления (пропуска) его. Сам отказ не может быть выявлен до момента использования. Контрольные мероприятия не предусмотрены, поэтому в рассматриваемом случае $K_n=10$. Однако, возможно положительное влияние на выявление причин отказов путем проведения мероприятий, которые будут планироваться на более поздних этапах анализа подсистем и их элементов. Тогда вероятность распознавания причины может быть определена после соответствующих исследований.

1.4. Возможные причины отказа и меры по их предупреждению. Оценка вероятности отказа. Для сокращения объема книги рассматривается только одна причина отказа – отказ функций компонентов подсистемы «Бутыль». Чтобы избежать появления этой причины на данном этапе не проводится каких-либо дополнительных мероприятий. Но это не исключает, при необходимости, принятие их на более поздних этапах.

Вероятность возникновения этой причины пока неизвестна, но может быть оценена после проведения других этапов FMEA. С учетом данных последующих этапов в табл.14 записано $K_o=8$.

Т а б л и ц а 14

К примеру: FMEA – системы «Расфасованная в бутылки кислота»

Фирма: УКС		FMEA системы "Расфасованная в бутылки кислота"							Регистрационный номер 1.1	
Ответственный Кузнецов Н.В.		Элемент системы "Расфасованная в бутылки кислота"							Страница 1 Всего страниц 3	
Отдел Управление качеством		Функция: Частичное или полное опорожнение бутылки							Дата 19.04..96	
Номер отказа	Возможный отказ	Возможное последствие отказа	K_n	Меры по обнаружению	K_n	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	K_o	K_p	Исполнитель / срок
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Капли кислоты стекают по внешней стороне бутылки	Опасность ожога	10	-	10	Отказ функции бутылки	-	8	800	-

1.5. Оценка риска. Числовое значение K_p (полученное с учетом последующих этапов анализа) превышает допустимое, подтверждая значительный риск предприятия при выпуске продукции в первоначальном конструктивном оформлении элементов бутылки и необходимость проведения последующих этапов анализа.

1.6. **Вывод:** На следующем этапе анализа необходимо исследовать компоненты «Бутыли» с отказом функции «Возможность частичного или полного опорожнения бутылки»

Оценка риска конструкции «Бутыль»

(2 этап анализа, табл.15)

Т а б л и ц а 15

К примеру: FMEA – системы «Расфасованная в бутылки кислота»

Элемент системы « Бутыль»

Фирма: УКС		FMEA системы "Расфасованная в бутылки кислота"								Регистрационный номер 1.2
Ответственный: Иванов В.И.		Система - элемент Бутыль								Страница 2 Всего страниц 3
Отдел: Управленческие качества		Функция: Частичное или полное опорожнение бутылки								Дата 19.04.96
Номер отказа	Возможный отказ	Возможное последствие отказа	K_n	Меры по обнаружению	K_n	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	K_o	K_p	Исполнитель / срок
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Капли кислоты стекают по внешней стороне бутылки	Опасность ожога	10	-	10	Отказ функции "крепление устройства для разлива" на стеклянной колбе	-	8	800	-
						Отказ функции устройства для разлива	-	2	200	-
						Неправильная сборка. (Отказ при сборке)	Ручная сборка прямо перед заполнением	1	100	-

2.1. **Возможный отказ подсистемы «Бутыль».** Из первого этапа можно сделать вывод, что отказ элементов «Бутыли» происходит аналогично описанному выше отказу функции «Возможность частичного или полного опорожнения бутылки».

2.2. **Оценка возможных последствий отказа.** Последствия отказа отражаются прямо на общей системе, приводя ее к отказу, поэтому значение K_n берется непосредственно по результатам анализа 1-го этапа, $K_n=10$.

2.3. **Меры по обнаружению отказа и оценка вероятности невыявления (пропуска незамеченным) его.** Сама подсистема «Бутыль» не подвергается для этой цели проверке, поэтому сам отказ нельзя обнаружить до начала процесса закрытия бутылки. Так как появление этой причины своевременно не может быть выявлено, то $K_n=10$.

2.4. **Возможные причины отказа и меры по их предупреждению. Оценка вероятности отказа.** Причины отказа и соответствующие характеристики вероятности их появления:

1. Отказ подфункции стеклянной колбы удерживать прибор для разлива кислоты. Эксперименты во время проектирования стеклянной колбы

показали, что устройство для разлива в двух случаях из 1000 закрепляется с отклонениями от технических требований. Вероятность $(2/1000)100=0,2\%$ возникновения этой причины в соответствии с рекомендациями табл.7 оценивается значением $K_0=8$.

2. Отказ функций компонентов «Устройство для разлива». Устройство для разлива по прошлому опыту его использования на другой продукции является пригодным для использования. Его функция, обусловленная особенностями конструкции, отказывает с вероятностью менее чем $50/1000000$. При такой вероятности возникновения этой причины, согласно рис.24, имеем $K_0=2$.

3. Отказ при сборке. Устройство для разлива непосредственно перед наполнением стеклянной колбы крепится к ней ручным способом. Так как плохое крепление при этом легко распознаваемо, то вероятность возникновения этой причины оценивается значением $K_0=1$.

2.5. Оценка риска. Расчет коэффициента K_p производится отдельно по каждой причине отказа функции элементов «Бутыль».

Первая причина возникновения отказа оценивается коэффициентом риска $K_p=10 \times 10 \times 8=800$. Риск возникновения отказа по этой причине велик, поэтому необходимы мероприятия по улучшению качества и последующая оценка путем подсчета нового значения K_p . Следует назначить ответственного по разработке мероприятий для уменьшения риска предприятия.

Вторая причина возникновения отказа оценивается значением $K_p=10 \times 10 \times 2=200$. Как уже было сказано ранее, такую величину риска предприятие может рассматривать как недопустимо большой, и поэтому попытается соответствующими мероприятиями уменьшить ее. Предприятие может принять также решение, что в данном случае мероприятия по улучшению в обязательном порядке не требуются, имея при этом в виду, что в другой ситуации анализ может быть продолжен.

Третья причина возникновения отказа оценивается $K_p=10 \times 10 \times 1=100$. Мероприятия по улучшению сборки не требуются.

2.6. Вывод. Из второго этапа анализа следует необходимость проведения 3-го этапа анализа отказов функции подсистемы «Стеклянная колба», которая дает наибольший риск потери работоспособности системы.

Оценка риска конструкции «Стеклянная колба»

(3-й этап анализа, табл. 16)

3.1. Возможный отказ подсистемы «Стеклянная колба». Из 2-го этапа следует, что в качестве отказа подсистемы «Стеклянная колба» наиболее часто встречается ненадежное крепление устройства для разлива.

3.2. Оценка возможных последствий отказа. Последствия отказа через компоненты «Бутыли» переносятся на общую систему, делая ее

неработоспособной. Поэтому в соответствии с решением, принятым на первом этапе, сохраняем $K_n=10$.

3.3. Меры по обнаружению отказа и оценка вероятности невыявления (пропуска) его. Сама подсистема «Стеклянная колба» не подвергается проверке по выявлению этого отказа. Поэтому отказ не может быть распознан и возникновение причины отказа, обусловленное конструкцией, не обнаруживается своевременно. Вероятность несвоевременного выявления отказа или его причины должна быть оценена значением $K_n=10$.

3.4. Возможные причины отказа и меры по их предупреждению. Оценка вероятности отказа. На этом этапе рассматривается одна причина – отказ обусловлен отклонением геометрии отверстия стеклянной колбы от заданной. Как уже было установлено на втором этапе, вероятность возникновения отказов по этой причине составляет 0,2 %. Поэтому, согласно рис.24, значение $K_o=8$.

Т а б л и ц а 16

К примеру: FMEA – системы «Расфасованная в бутылки кислота»
Элемент системы «Стеклянная колба»

Фирма: УКС		FMEA системы "Расфасованная в бутылки кислота"								Регистрационный номер 1.3
Ответственный Иванов В.И.		Элемент системы "Стеклянная колба"								Страница 3 Всего страниц 3
Отдел Управление качеством		Функция "Крепление устройства для разлива"								Дата 14.04.96
Номер отказа	Возможный отказ	Возможное последствие отказа	K_n	Меры по обнаружению	K_n	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	K_o	K_p	Исполнитель / срок
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Устройство для разлива смещается при выливании кислоты	Опасность химического ожога	10	-	10	Дефект отверстия	Задана геометрия и предельные отклонения	8	800	Ковалев М.П. 31.12.1996

3.5. Оценка риска. Для рассматриваемого отказа функции подсистемы «Стеклянная колба» коэффициент $K_p=10 \times 10 \times 8=800$. При таком большом K_p должны быть приняты меры, прежде всего, по предупреждению появления причины отказов и последующей повторной оценке риска.

3.6. Вывод. Необходим поиск вариантов улучшения качества подсистемы «Стеклянная колба» как при помощи изменения конструкции крепления устройства для разлива кислоты, так и стеклянной колбы с последующим анализом улучшенных состояний и составлением планов по практической реализации рекомендованных в результате анализа FMEA мероприятий.

6. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Метод структурной схемы надежности (ГОСТ Р 51901.14-2005) является одним из методов, часто используемых при анализе рисков технических и технологических систем. Общие принципы оценки риска технологических систем регламентированы ГОСТ Р 51901-2002 «Управление надежностью. Анализ риска технологических систем». Метод позволяет строить модели технической и технологической систем и оценивать вероятности возможных благоприятных и неблагоприятных событий.

Метод структурной схемы надежности применяется также в различных аналитических методах исследования надежности. При этом цели каждого применяемого метода, их пригодность (индивидуальная или в сочетании с другими методами) для оценки надежности и работоспособности данной системы или компонента должны исследоваться аналитиком до начала применения метода структурной схемы надежности. Необходимо также учитывать результаты, полученные каждым методом, необходимые для анализа данные, сложность анализа и другие факторы.

Структурная схема надежности является наглядным представлением надежности системы. Она показывает логическую связь компонентов, необходимую для работы системы.

Описанные методы построения структурной схемы надежности предназначены для применения прежде всего к системам без восстановления и системам, в которых порядок появления отказов не имеет значения. Для систем, порядок отказов в которых должен приниматься во внимание, или систем с восстановлением применяют другие методы моделирования надежности системы, например Марковский анализ. Предполагается, что в любой момент времени элемент системы может находиться только в одном из двух возможных состояний: исправном или неисправном.

В символическом представлении не делают различий между открытой и замкнутой схемой или другими моделями отказов, но при определении количественной оценки эти различия необходимо указывать.

Предпосылкой для построения моделей надежности системы явилось изображение путей сигнала, обеспечивающих работоспособность системы. Часто требуется более одного определения отказа системы. Отказы системы должны быть определены и перечислены.

Кроме того, необходимы четкие инструкции относительно:

- функций, выполняемых системой;
- параметров эффективности и допустимых границ изменения этих параметров;
- режимов эксплуатации системы и условий окружающей среды.

При построении структурной схемы надежности могут использоваться различные методы количественного анализа. Поэтому необходимо дать

четкое определение отказа системы. Работоспособность системы зависит от одного или нескольких отказов системы. Для каждого определения отказа системы следующим шагом является деление системы на логические блоки в соответствии с целями анализа надежности. Отдельные логические блоки могут представлять собой подсистемы, каждая из которых, в свою очередь, может быть представлена своей структурной схемой надежности.

Количественный анализ структурной схемы надежности проводят различными методами. Схема алгоритма и оценки риска приведена на рис.25.



Рис. 25. Схема алгоритма и оценки риска

Наиболее типичные структурные схемы надежности сложных технических объектов приведены на рис. 26-32. Функция, описывающая связь вероятности отказа объекта в целом с вероятностями отказа элементов, представлена в табл.17.

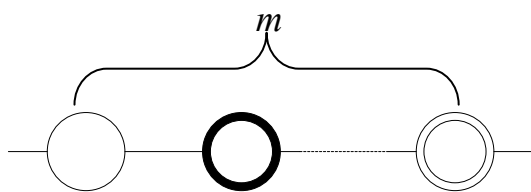


Рис. 26. Последовательная из разнотипных элементов.
 Объект состоит из m последовательно соединенных разнотипных элементов.
 Отказ объекта наступает при отказе любого элемента

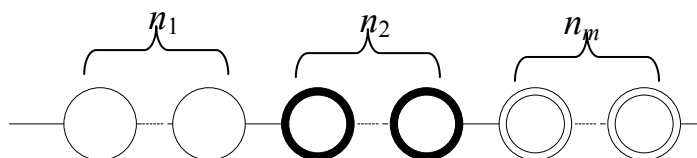


Рис. 27. Последовательная при наличии однотипных элементов.
 Объект состоит из m последовательно соединенных однотипных элементов.
 Отказ объекта наступает при отказе любого элемента

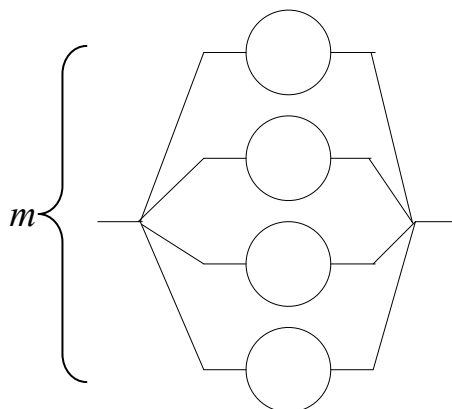


Рис. 28. Параллельная из однотипных элементов.
 Объект состоит из m параллельно соединенных однотипных элементов.
 Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

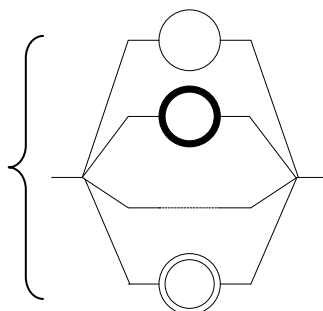


Рис. 29. Параллельная из разнотипных элементов.
 Объект состоит из m параллельно соединенных разнотипных элементов.
 Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

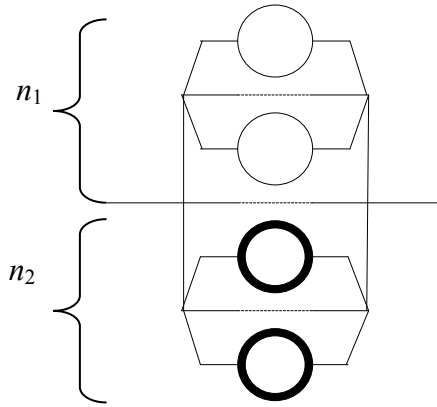


Рис. 30. Параллельная при наличии однотипных элементов.
 Объект состоит из m последовательно соединенных элементов m типов по $n_1, n_2 \dots n_m$ элементов каждого типа. Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

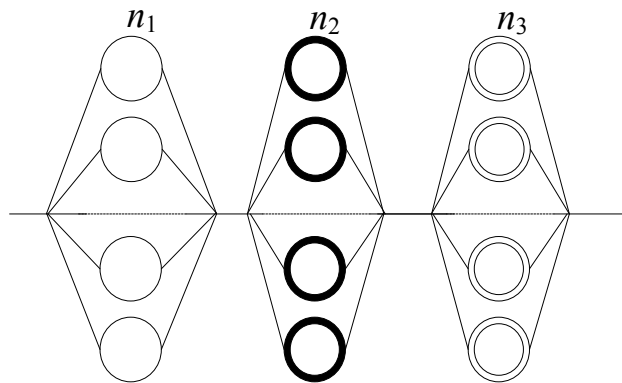


Рис. 31. Последовательно-параллельная (параллельное соединение однотипных элементов). Объект состоит из m последовательно соединенных подсистем, i -я подсистема состоит из n_i параллельно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы

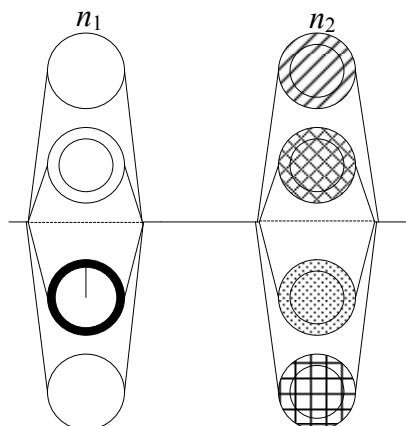


Рис. 32. Последовательно-параллельная (параллельное соединение при наличии разнотипных элементов, последовательное соединение при наличии однотипных подсистем). Объект состоит из m последовательно соединенных подсистем. Подсистема i -го типа состоит из n_i разнотипных параллельно соединенных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы

Функция, характеризующая связь вероятности отказа объекта
с вероятностью отказа элементов

№ схемы	Формула расчета вероятности отказа системы	Примечание
16	$Q(t) = 1 - \prod(1 - q_i(t))$	Индекс i соответствует i -му элементу
17	$Q(t) = 1 - \prod\{(1 - q_i(t))\}^{n_i}$	Индекс i соответствует элементам i -го типа
18	$Q(t) = q^m(t)$	-
19	$Q(t) = 1 - \prod q_i(t)$	Индекс i соответствует i -му элементу
20	$Q(t) = \prod q^{n_i}(t)$	Индекс i соответствует i -му элементу
21	$Q(t) = 1 - \prod[1 - q_i^{n_i}(t)]$	Индекс i соответствует элементам i -й подсистемы
22	$Q(t) = 1 - \prod[1 - q_{ij}(t)]$	Индексы i, j соответствуют j -му элементу внутри i -й подсистемы

Алгоритм оценки риска предусматривает сравнение риска объекта с величиной допустимого риска. Значение допустимого риска R_0 рассчитывается, сходя из заданной надежности объекта и структурной схемы системы.

Количественную оценку риска определяют по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n r_i, \quad (39)$$

где r_i – риск, соответствующий i -му опасному событию

$$r_i = \frac{q_i h_i}{H \sum_{i=1}^n q_i} (i = 1, n), H = \max h_i; \quad (40)$$

здесь q_i – вероятность появления неблагоприятного события; h_i – последствие i -го неблагоприятного события.

В общем случае вероятность q_i и последствия h_i являются функциями времени, а, следовательно, и риск зависит от времени.

Приведенные расчеты применимы при выполнении следующих условий:

– опасные события X_1, \dots, X_n являются независимыми;

– совокупность опасных событий X_1, \dots, X_n достаточно полно описывает возможные ситуации;

– каждому опасному событию X_1, \dots, X_n соответствует последствие h_i , которое может описываться как ущерб.

При оценке последствий неблагоприятных событий исходят из стоимости ремонта

Применение методологии количественной оценки риска позволит Структурную схему надежности технической системы можно представить как комбинацию последовательно и параллельно соединенных элементов. Количественная оценка риска может быть определена по формулам, представленным в табл.15.

Пример. Структурную схему надежности защитно-декоративных покрытий можно представить как комбинацию последовательно соединенных трех элементов, в качестве которых выступает собственно покрытие, контактный слой и подложка (штукатурка). Таким образом, количественная оценка риска может быть определена как

$$R = r_{\text{пок}} + r_{\text{конт.сл}} + r_{\text{подл}} \cdot \quad (41)$$

Так как отказ технической системы «покрытие-подложка» наступает уже вследствие потери функциональных свойств лакокрасочных покрытий или контактного слоя, то при расчете риска технической системы не учитывалось разрушение подложки. Отказ покрытия наступает вследствие потери им декоративных и защитных свойств, а отказ контактного слоя – при отслаивании покрытия.

Для оценки риска нами был проделан следующий эксперимент. Окрашенные образцы цементно-песчаного раствора подвергали попеременному замораживанию-оттаиванию. Образцы были окрашены алкидной ПФ-115, масляной МА-15, вододисперсионной акриловой красками. В процессе испытаний при осмотре окрашенной поверхности были зафиксированы следующие виды дефектов: растрескивание, отслаивание, сморщивание, меление, потеря блеска покрытий.

При оценке последствий неблагоприятных событий исходили из стоимости ремонта ранее окрашенных поверхностей в соответствии с Тер 81-04-62-2001 для Пензенской области. В соответствии с данными, приведенными в ТЕР-62 “Малярные работы”, стоимость ремонтных малярных работ составляет:

– вододисперсионной краской с расчисткой старой краски до 10 % – 1536,41 руб. (на 100м²), до 35 % – 1753,53 руб., более 35 % – 1913,48 руб.;

– масляной краской с расчисткой старой краски до 10 % – 1083,71 руб. (на 100 м²), до 35 % – 1440,79 руб., более 35 % – 1706,47 руб.

Оценка риска разрушения покрытий и контактного слоя приведена в табл.16-18.

Таблица 16

Оценка риска, связанного с разрушением покрытия

Вид покрытия	Площадь разрушения	Вероятность разрушения		
		Циклы испытаний		
		5	10	15
На основе вододисперсионной акриловой	До10 %	0	0	0,6/0,48
	До35 %	-	-	-
	>35 %	-	-	-
На основе краски ПФ-115	До10 %	-	-	0,15/0,0952
	До35 %	0,11/0,09287	0,125/0,1055	0,14/0,11816
	>35 %	-	-	0,71/0,71
На основе масляной МА-15	До10 %	-	-	-
	До35 %	-	-	-
	>35 %	-	-	-

Примечание. Над чертой приведены значения вероятности появления разрушения, под чертой – значения риска, связанного с разрушением покрытий.

Таблица 17

Оценка риска, связанного с разрушением контактного слоя

Вид покрытия	Площадь разрушения	Вероятность разрушения/риск разрушения		
		Циклы испытаний		
		5	10	15
На основе вододисперсионной акриловой	До10 %	0	0,1/0,080189	0,3/0,240567
	До35 %	0	0	0
	>35 %	0	0	0
На основе краски ПФ-115	До10 %	0	0	0
	До35 %	0	0	0
	>35 %	0	0	0
На основе масляной МА-15	До10 %	0	0	0
	До35 %	0	0	0
	>35 %	0	0	0

Примечание. Над чертой приведены значения вероятности появления разрушения, под чертой – значения риска, связанного с разрушением контактного слоя.

Т а б л и ц а 18

Оценка риска, связанного с разрушением системы «покрытие-подложка»

Вид покрытия	Циклы испытаний	Риск R
На основе вододисперсионной краски	5	0
	10	0,080
	15	0,72
На основе краски ПФ-115	5	0,09287
	10	0,1055
	15	0,71
На основе масляной краски МА-15	5	0
	10	0
	15	0

Как видно, после 15 циклов замораживания-оттаивания наибольший риск, связанный с разрушением поверхности до 10 %, характерен для покрытий на основе вододисперсионной краски, значение риска составляет $r_i=0,48$, а с разрушением поверхности более 35 % – для покрытий на основе краски ПФ-115. Анализ значений вероятностей разрушения и рисков свидетельствует, что разрушение начинается с поверхности покрытий. Вероятность разрушения контактного слоя для покрытий на основе масляной МА-15 и алкидной ПФ-115 красок составляет 0 %, для покрытий на основе вододисперсионной краски с разрушением до 10 % поверхности 0,1 (после 10 циклов) и 0,3 (после 15 циклов).

Риск, связанный с разрушением системы «покрытие на основе краски ПФ-115-подложка» и «покрытие на основе вододисперсионной краски – подложка» практически одинаков и составляет после 15 циклов испытаний $R=0,71-0,72$. Уменьшить риск, связанный с разрушением системы «покрытие на основе вододисперсионной краски – подложка», можно за счет повышения прочности сцепления покрытия с подложкой, что снизит риск, связанный с разрушением контактного слоя.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Написать формулу расчета вероятности отказа системы при последовательно соединенных разнотипных элементов.
2. Написать формулу расчета вероятности отказа системы при последовательно соединенных однотипных элементов.
3. Написать формулу расчета вероятности отказа системы при параллельно соединенных однотипных элементов.
4. Написать формулу расчета вероятности отказа системы при последовательно-параллельно соединении элементов (параллельное соединение однотипных элементов).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение инструментов управления качеством продукции на предприятиях промышленности должно сочетаться с внедрением и совершенствованием технологических процессов и считаться экономически нецелесообразным, если затраты на управление и убытки от брака после внедрения инструментов управления меньше, чем до их внедрения. Конечной целью внедрения методов управления качеством продукции является оптимизация производственных процессов и производства в целом для значительного повышения эффективности производства, качества продукции, культуры производства, квалификации специалистов и т.д. Внедрение инструментов управления качеством продукции должно начинаться с разработки общей программы по внедрению статистических методов на предприятии или раздела к целевой научно-технической программе по качеству, а также назначения служб и производственных подразделений, ответственных за их внедрение. Программа внедрения методов управления качеством должна включать:

- разработку перечня технологических операций и показателей качества, подлежащих переводу на статистические методы;
- выбор объектов и их очередность перевода;
- разработку планов статистического анализа, регулирования и контроля технологического процесса и качества продукции;
- проведение работ по оценке точности и стабильности технологических процессов и оборудования;
- оценку экономической эффективности и целесообразности внедрения статистических методов;
- разработку плана мероприятий по материально-техническому и организационному обеспечению внедрения статистических методов;
- организация подготовки специалистов по статистическим методам управления качеством продукции непосредственно на предприятии;
- разработку сетевого графика внедрения службами и производственными подразделениями статистических методов;
- разработку формы отчетности и стимулирования за внедрение статистических методов.

Внедрение методов управления качеством продукции на предприятии является сложной проблемой и зависит от многих как внутренних, так и внешних факторов. Поэтому процесс осуществляется по этапам. В зависимости от уровня подготовки специалистов предприятия рекомендуется следующие формы обучения:

- лекции;
- семинары;

- обмен опытом передовых предприятий в области внедрения статистических методов управления качеством продукции;

- занятия по специальной программе со сдачей зачетов или экзаменов.

При выборе объекта для внедрения инструментов управления исходят из того, что статистические методы должны использоваться для:

- технологических процессов, операций, которые в большей степени определяют качество конечной продукции;

- технологических процессов и операций, дающих наибольшие затраты от производства дефектной продукции, снижающих ее эксплуатационные характеристики или конкурентоспособность на мировом рынке;

- технологические процессы и операции с повышенной интенсивностью производства;

- операции с трудоемким контролем или испытаниями продукции, а также для контроля или испытаний, связанных с разрушением продукции в ходе ее контроля;

- операций контроля или испытаний, которыми невозможно охватить весь объем продукции, а также технологических процессов, связанных с механизацией и автоматизацией контроля.

Выбор контролируемых показателей качества и места проведения контроля осуществляется службами и производственными подразделениями, отвечающими за разработку нормативно-технической документации на технологические процессы совместно с ОТК, при этом выбор следует осуществлять на основании статистического анализа, поскольку показателем качества может быть один или совокупность показателей, например:

- показатели, связанные с точностными характеристиками результатов анализа продукции;

- показатели, связанные с использованием результатов анализа или испытаний продукции;

- показатели, связанные с ресурсными характеристиками продукции;

- обобщенные показатели;

- показатели, связанные с сертификацией продукции.

При выборе контролируемого показателя качества рекомендуется выбирать его так, чтобы он мог оказывать решающее влияние на качество продукции и обеспечивать нормальный ход технологического процесса изготовления продукции. Разработку технологии контроля целесообразно начинать с установления перечня контролируемых параметров, возможных дефектов и причин их возникновения. Последовательность распределения контроля в технологических процессах должна планироваться таким образом, чтобы неисправимые дефекты, по возможности, обнаруживались на более ранних этапах. При выборе контролируемых показателей дополнительно учитывается:

- место проведения контроля;

- порядок проведения контроля;
- необходимое оборудование, средства измерений или испытаний;
- объем контроля;
- правила принятия решений;
- требования безопасности;
- порядок предъявления продукции на контроль.

Если статистическим анализом будет установлено, что технологический процесс разлажен и уровень настройки не соответствует заданным допускам, технологи цеха совместно со службами, ответственными за разработку научно-технической документации, должны установить причины разладки, а соответствующие технические службы отрегулировать объект и привести в стабильное состояние.

Выбор методов статистического управления качеством продукции осуществляется технической службой, ответственной за внедрение статистических методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 60300-3-1:2003.
2. ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003). Менеджмент риска. Программа повышения надежности [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61014:2003.
3. ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001). Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61882:2001.
4. ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995). Менеджмент риска. Применение марковских методов [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61165:1995.
5. ГОСТ Р 51901.16-2005 (МЭК 61164:1995). Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61164:1995.
6. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Текст].
7. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения [Текст].
8. ГОСТ Р 51901.14-2005. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности [Текст].
9. DIN 25448. Ausfalleffektanalyse (Failure mode and effects analyses (FMEA)).
10. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988 – 480 с.
11. ГОСТ Р 50-601-19-91 Рекомендации. Применение статистических методов регулирования технологических процессов [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
12. Ноулер, Л., Статистические методы контроля качества продукции [Текст] / Л. Ноулер [и др.]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 95 с.
13. Саката, Сиро. Практическое руководство по управлению качеством [Текст] / Саката Сиро; пер. с япон. С.И. Мышкиной; под ред. В.И. Гостяева. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
14. Статистические методы повышения качества [Текст]: пер. с англ./ под ред. Х.Кумэ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
15. Шиндовский, Э. Статистические методы управления качеством [Текст] / Э. Шиндовский, О. Шюрц. – М.: Мир, 1976.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	6
3. МЕТОДЫ ТАГУТИ	24
4. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА.....	33
5. МЕТОД FMEA. ОСОБЕННОСТИ, НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	47
6. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	83
ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	95

Учебное издание

Логанина Валентина Ивановна

СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ

Учебное пособие

по направлению подготовки 27.04.02 «Управление качеством»

В авторской редакции

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 10.02.16. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл.печ.л. 5,58. Уч.-изд.л. 6,0. Тираж 80 экз.

Заказ № 136.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.