

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**

Учебно-методическое пособие  
к практическим занятиям  
по направлению подготовки 27.04.02  
«Управление качеством»

Пенза 2016

УДК 628.5(076)

ББК 20.18

Л69

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

**Логанина В.И.**

Л69        Статистическое управление качеством продукции: учебно-методическое пособие к практическим занятиям по направлению подготовки 27.04.02 «Управление качеством» / В.И. Логанина. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 80 с.

Изложены основные принципы статистического управления качеством. Приведены конкретные примеры применения инструментов управления качеством. Разработаны 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», при изучении дисциплины «Статистическое управление качеством продукции».

© 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.

Цель преподавания дисциплины – формирование у студентов комплекса знаний в области теоретических основ управления качеством и умений практического управления качеством на предприятии в соответствии с международными стандартами ИСО серий 9000, 10000, 14000.

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 управлении 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 (эталоны) 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.

# Практическое занятие № 1

## ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Цель работы – ознакомиться с методикой оценки стабильности и воспроизводимости процесса

### 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  $Z_i$ ;
- 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 обрабатываемого 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.

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.

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).

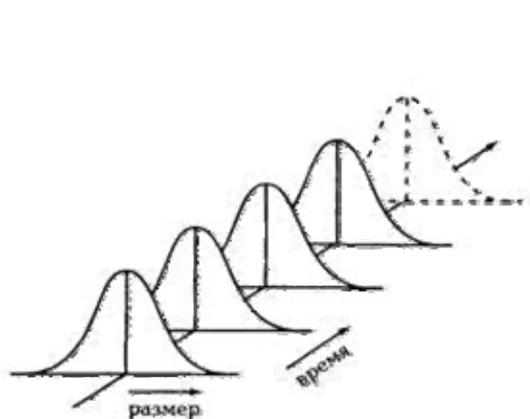


Рис. 1. Вид распределения стабильного процесса

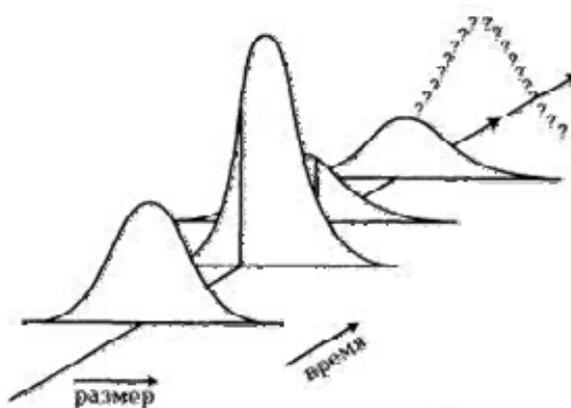


Рис. 2. Вид распределения нестабильного процесса

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

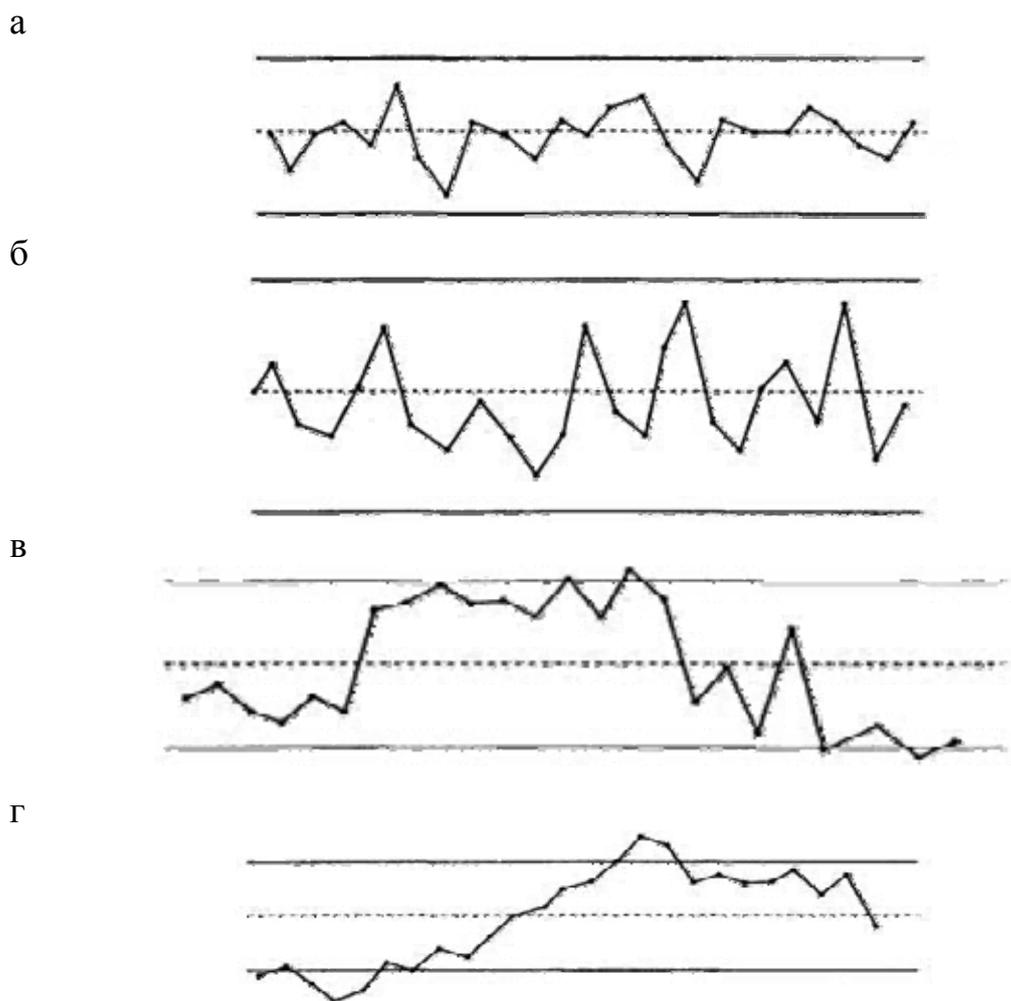


Рис.3. Контрольные карты стабильного (а, б) и нестабильного (в, г) процесса

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

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 статистически контролируем, то оба индекса  $C_{pk}$  и  $P_{pk}$  стремятся к одному значению (так как в 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 возмож-

ностей 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

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

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 продукции % 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
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
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

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.** Точность технологических процессов оценивается по формуле

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

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.

Стабильность процессов оценивают на основе выборок с использованием контрольных карт Шухарта по ГОСТ Р 50779.42. 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 среднего арифметического (состояние Б)

– 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  $\sigma_I$ , 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

**Пример применения статистических методов при анализе процесса.** Система контроля качества предусматривает использование индексов воспроизводимости и пригодности процесса. Используются данные производства бетона марки 200 на одном из предприятий стройиндустрии (значения прочности при сжатии бетона плит покрытий, кгс/см<sup>2</sup> (табл. 3)).

Значение средней прочности составляет  $\bar{x} = 155,56$  кгс/см<sup>2</sup>. Отпускная прочность бетона в летний период составляет 70 % от проектной: нижняя граница допуска 140 кгс/см<sup>2</sup>, верхняя граница допуска – 175 кгс/см<sup>2</sup>.

Т а б л и ц а 3

№ п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$R$	$\bar{x}$
1	150	155	155	160	140	20	152,0
2	153	156	162	157	146	16	154,8
3	158	149	151	159	161	12	155,6
4	162	152	154	161	147	15	155,2
5	164	158	168	168	163	10	164,2
6	144	152	161	147	154	17	151,6

Стабильность процессов оценивали на основе выборок с использованием контрольных карт Шухарта (на рис. 4 приводится контрольная  $\bar{x}$ - $R$ -карта). На  $\bar{x}$ -карте имеются точки вне границ регулирования: процесс стабилен по разбросу, но не стабилен по положению среднего. Это свидетельствует о возможности действия некоторых особых причин вариаций.

Собственная изменчивость составляет:

$$\sigma_I = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{15}{2,32} = 6,44 \text{ кгс/см}^2.$$

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

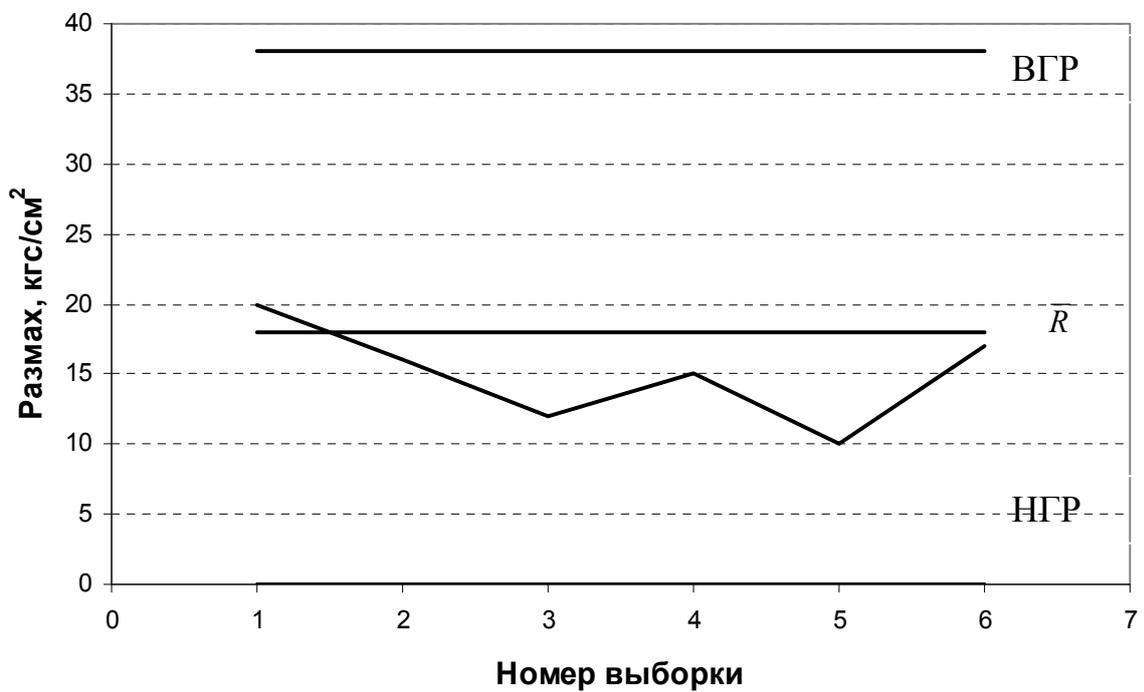
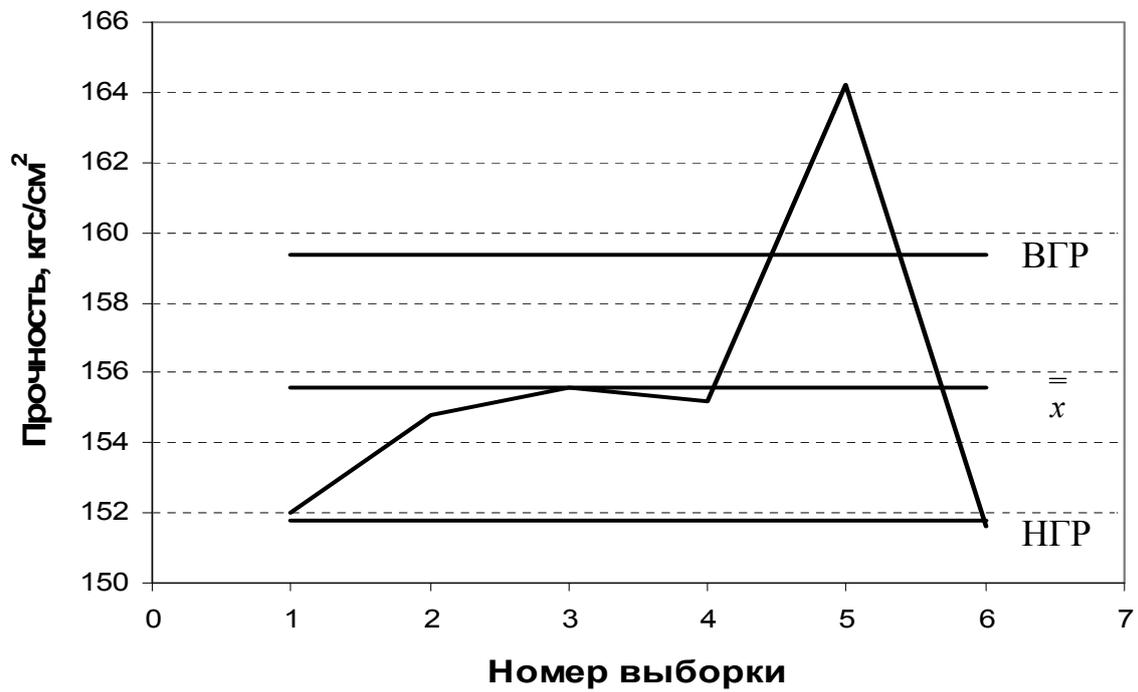


Рис. 4.  $\bar{x}$ -R-карта

Полная изменчивость процесса оценивалась по выборочным стандартным отклонениям:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = 6,946 \text{ кгс/см}^2,$$

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.

Показатели процесса равны:

$$C_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6\sigma_I} = \frac{\Delta}{6\sigma_I} = \frac{175 - 140}{6 \cdot 6,44} = 0,905,$$

$$P_p = \frac{\text{ВГД} - \text{НГД}}{6\sigma_T} = \frac{175 - 140}{6 \cdot 6,946} = 0,8398,$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\text{ВГД} - \bar{x}}{3\sigma_T}; \frac{\bar{x} - \text{НГД}}{3\sigma_T}\right) = \min\left(\frac{175 - 155,56}{3 \cdot 6,946}; \frac{155,56 - 140}{3 \cdot 6,946}\right) = 0,7467.$$

Как видно, процесс стабилен по разбросу и  $C_p = 0,905$ . Однако процесс не стабилен по настройке и среднее значение показателя качества смещено относительно центра поля допуска. Значения  $P_p$  и  $P_{pk}$  малы: процесс следует считать процесс неприемлемым. Требуется корректирующие меры для настройки процесса на середину поля допуска, устраняя влияние особых причин вариации. Если процесс оставить без улучшений, то уровень несоответствий такого процесса прогнозируется ориентировочно не более 2,63 %, но не менее 0,64 %. При стабильной настройке процесса на середину поля допуска уровень несоответствии составит 0,64 %.

Применение индексов воспроизводимости и пригодности процесса в системе контроля качества продукции позволяет наглядно оценить возможность снижения процента несоответствующей продукции за счет снижения и устранения влияния неслучайных (особых) причин изменчивости (обеспечение стабильности процессов), а также снижения влияния случайных (обычных) причин изменчивости (повышение возможностей процессов удовлетворять установленные требования).

## Задание

По данным, приведенным в табл.4, оценить стабильность процесса производства кирпича керамического марки 100.

Таблица 4

№ п/п	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
1	125	103	115	122	114
2	113	106	122	117	126
3	108	129	111	119	101
4	112	112	124	111	117
5	104	118	128	108	103

### Вопросы для контроля знаний

1. Какой процесс считается стабильным?
2. Как оценить воспроизводимость процесса?
3. Назовите причины вариаций.
4. От чего зависит полная изменчивость процесса?
5. Как можно регулировать процесс производства, чтобы он стал стабильным и воспроизводимым?

### Список литературы

1. ГОСТ Р 50779.70-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 0. Введение в систему выборочного контроля по альтернативному признаку на основе приемлемого уровня качества AQL (IDT).
2. ГОСТ Р 50779.71-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества AQL (IDT).
3. ГОСТ Р 50779.72-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 2. Планы выборочного контроля отдельных партий на основе предельного уровня качества LQ (IDT).
4. ГОСТ Р 50779.73-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 3. Планы выборочного контроля с пропуском партий (IDT).
5. ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980). Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего.
6. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
7. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2:1993). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения (IDT).

## Практическое занятие № 2

# МЕТОДОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы – ознакомиться с методологией статистического мышления.

Статистическое управление – это методология, основанная на понимании variability, присущей любым процессам, диагностика их стабильности и воспроизводимости и использующая простые и эффективные методы для анализа и решения проблем.

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.

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 variability 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.

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. 5, принципиальное отличие которой – блок статистического мышления в цепи обратной связи.

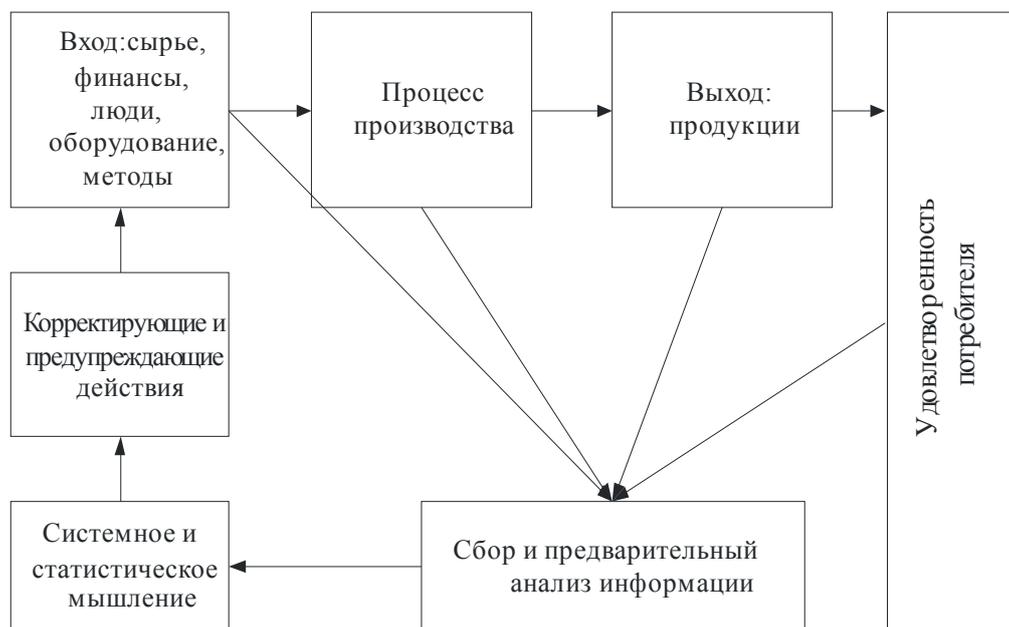


Рис. 5. Модель анализа процесса

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 вмешательство 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

## Задания для студентов

Дать заключение о необходимости вмешательства в процесс (табл.5).

При выборке получены следующие данные:

Т а б л и ц а 5

№	Серия									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	309	335	314	339	354	243	323	309	295	267
2	305	301	357	343	335	259	331	320	290	251
3	309	311	330	335	284	299	299	241	318	252
4	315	311	230	326	352	339	312	273	277	302
5	285	278	308	366	315	352	246	310	259	261
6	323	332	350	339	329	277	308	282	263	299

## Вопросы для контроля знаний

1. В каких случаях следует вмешиваться в процесс производства продукции?
2. Кому следует вмешиваться в процесс производства продукции, если процесс является статистически неуправляемым?
3. Кому следует вмешиваться в процесс производства продукции, если процесс не воспроизводим?

## Список литературы

1. ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980). Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего.
2. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
3. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2:1993). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения (IDT).

## Практическое занятие № 3 МЕТОДЫ ТАГУТИ

Цель работы – ознакомиться с методологией Тагути.

### Общие сведения

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. 6).

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. 6. Допусковое мышление

Практическое применение функции потерь заключается в том, что она позволяет определить эффективность любого мероприятия, направленного на увеличение качества (рис.7).

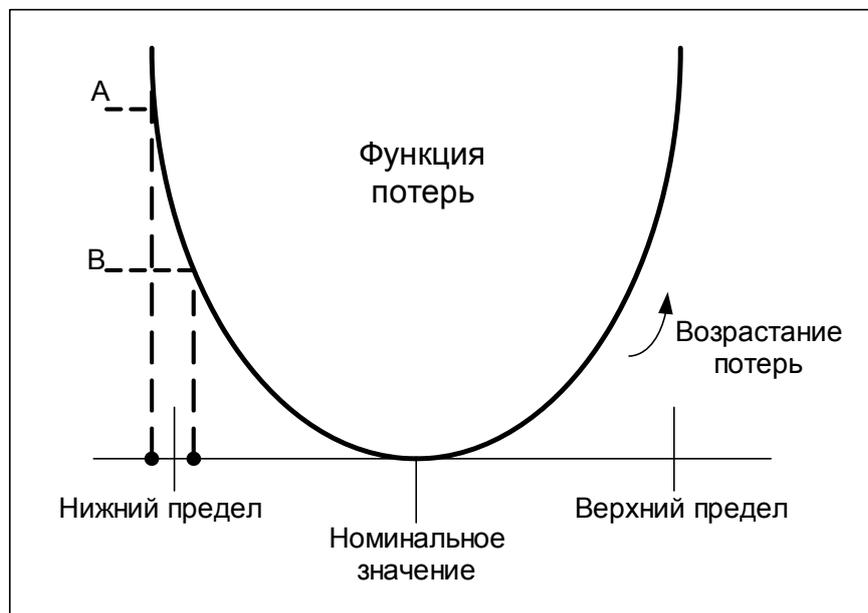


Рис. 7. Мышление через функцию потерь

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. 8). 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 тугой или свободной посадки, а также не вызовут неудобств для

потребителя; потери при этом будут минимальными. Кроме того, не потребуются дополнительные затраты на приемочные испытания.

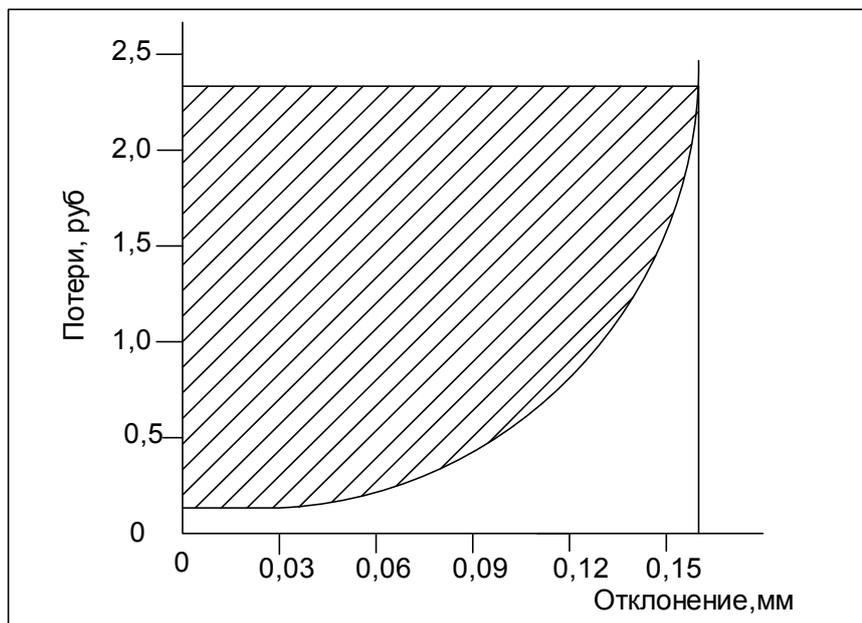


Рис. 8. Зависимость потерь вследствие отклонения размера вала от номинального значения

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.

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.

**Задачей любого производства является производство продукции с номинальными (целевыми) значениями.** 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 общепотребительные 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.)

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

- 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 измененным 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 (14) 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  $\mu$  – 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  $\delta^2$ , 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  $\sigma^2$  и  $(\mu - y_o)^2$  в величину  $\delta^2$ , а значит дополнительные затраты потребителя или изготовителя.

В соответствии с (14) потери определяются положением среднего  $\mu$  относительно целевого значения  $y_o$  и разбросом значений характеристики вокруг своего среднего. При наладке технологических процессов требуется настроить процесс таким образом, чтобы среднее  $\mu$  совпадало или было близко к целевому значению  $y_o$ , либо уменьшить разброс значений харак-

теристики  $y_i$  вокруг своего среднего  $\mu$ . 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.

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

### Задания для студентов

1. Пользуясь статистическими данными, приведенными ниже, вычислить затраты, которые несет предприятия. Исходные данные: бетон марки 300. Отпускная прочность панелей должна составлять 85 % от проектной марки бетона. Значения прочности бетона на сжатие составляют (кг/см<sup>2</sup>): 252, 276, 295, 253, 285, 258, 260, 258, 276, 250, 282, 276, 268, 264, 293, 266, 253, 252, 258, 282, 285, 255, 252, 262, 257, 282, 275, 268, 267, 272, 264, 270, 274, 271, 266, 285, 285.

### Вопросы для контроля знаний

1. Что такое целевое значение функциональной характеристики качества?
2. Как определяется полная вариация характеристики в выборке?
3. Как оценить вклад каждой компоненты вариации в уровень качества?
4. Как определить потери покупателя (изготовителя) при отклонении показателей качества от целевого значения?
5. Какой вид имеет функция потерь?
6. В чем заключается практическое применение функции потерь?
7. Как изменяется стоимость продукции, вызванная отклонением от целевого значения (номинала)?
8. Как связана функция Тагути с разбросом показателей качества
9. Как вычисляется отношения «сигнал/шум» в методах Тагути?

### Список литературы

1.ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980). Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего.

2. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
3. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2:1993). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения (IDT).
4. Брагин Ю.В. Инженерные методы повышения квалификации и снижения затрат по Генити Тагути. Выпуск 1.Функция потерь. – Ярославль: Центр качества, 2005. – 68 с.
5. Илей Л. Методы Тагути – мысль, облаченная в систему // Автомобильная промышленность США. – 1988. – №2. – С.20-22.
6. Контроль качества продукции / под ред. канд. техн. наук А.Э. Артеза. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 446 с.
7. Ноулер Л., Хауэлл Дж., Толд Д., Коулмэт Э., Моун О., Ноулер В. Статистические методы контроля качества продукции. – М.: Изд-во стандартов. 1989. – 95 с.
8. Саката Сиро. Практическое руководство по управлению качеством / пер япон. С.И. Мышкиной; под ред. В.И. Гостяева. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
9. Статистические методы повышения качества: пер. с англ./ под ред. Х.Кумэ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
10. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством. – М.: Мир, 1976.

# Практическое занятие №4 ФУНКЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ КАЧЕСТВА (QFD-МЕТОДОЛОГИЯ)

Цель работы – ознакомиться методологией QFD.

## Общие сведения

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.9). 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.



Рис. 9. Базовая структура QFD-диаграммы (дома качества) и цели ее проектирования

Представленную на рис.9 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 после-

дующих «домов качества», представленных на рис. 10, 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.10) 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.

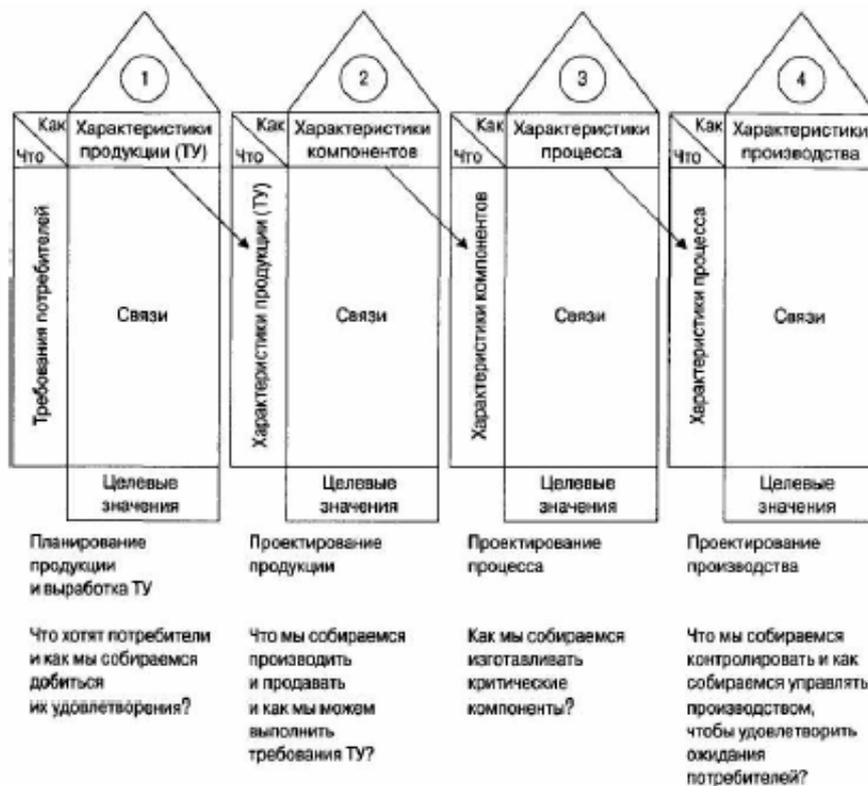


Рис. 10. Основные шаги последовательного применения QFD-методологии

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**

1. Создать 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?

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».



Поскольку все эти ожидания имеют одинаковую важность для потребителей, то на рис. 11 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 (рис.11), ожидание «блеск» получило оценку в виде весового коэффициента 4, так как оно является ценным, а ожидание «малый расход» – оценку 5, так как оно имеет большую ценность.

**Этап определения сравнительной ценности продукции.** На этом этапе выпускаемая фирмой продукция (эмаль ПФ-115 белого цвета) сравнивается с одним или несколькими лучшими видами конкурирующей продукции. 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.11. Видно, что наша эмаль ПФ-115 белого цвета может рассматриваться как обладающая удовлетворительным «чистым белым цветом» и по этому ожиданию потребителей опережает эмаль конкурирующего завода. С другой стороны, эмаль ПФ-115 белого цвета конкурента имеет меньший расход, покрытие лучше блестит, на нем меньше трещин, пузырей, а цвет более стабилен во времени. Изложенное выше сразу указывает на потенциальные возможности усовершенствования нашей продукции.

**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.11) 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: «чистый белый цвет», «долговечность покрытия», «хорошее высыхание».

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

Ожидания потребителей «блеск», «малый расход», «отсутствие трещин, пузырей и т. п.» и «неизменность цвета во времени», которые до начала работы имели оценочные значения соответственно 4, 3, 4, 4 (ниже, чем у конкурирующей продукции), должны быть улучшены до целевых значений 5, 4, 5 и 5.

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 «блеск», «малый расход», «отсутствие трещин, пузырей и т. п.», «неизменность цвета во времени» до «степени улучшения», соответственно равной 1,25; 1,3; 1,25 и 1,25. После этого в рамках определения целей проекта должна быть установлена весомость каждого ожидания потребителя или характеристики продукции.

При этом весомость вычисляют по формуле

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

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 (36) получены значения:

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

весомость ожидания «чистый белый цвет» =  $5 \times 1 = 5$ ;

весомость ожидания «малый расход» =  $5 \times 1,3 = 6,5$  и т. д.

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 35,5 всех значений весомостей. Приняв сумму 35,5 за 100 %, в четвертый

столбец субтаблицы 3 поместим (выраженные в процентах) значения весомостей каждого ожидания потребителей. Например, выраженная в процентах весомость ожидания «блеск» была посчитана на основании пропорции:

35,5 соответствует 100 %; 5 соответствует  $x$  %.

В результате получили значение  $5 \times 100 / 35,5 = 14,08 = 14$ .

Для весомости ожидания «долговечность покрытия» получаем значение  $4 \times 100 / 35,5 = 11$  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 14 технических характеристик эмали ПФ-115 белого цвета, связанные с пожеланиями и ожиданиями потребителей, а именно:

- массовая доля нелетучих веществ;
- условная вязкость;
- укрывистость высушенной пленки;
- степень перетира;
- блеск пленки;
- время высыхания до степени 3;
- твердость пленки;
- прочность покрытия при ударе;
- эластичность пленки при изгибе;
- адгезия;
- стойкость покрытия к статическому воздействию воды;
- цвет;
- морозостойкость;
- термостойкость.

Успех проектирования качественной эмали ПФ-115 белого цвета 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,

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. 11 использованы символы, приведенные в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Символы и коэффициенты, используемые для описания силы взаимосвязи

Символ	Сила взаимосвязи	Весовой коэффициент
┌	Сильная	9
○	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. 11 видно, что ожидание потребителей «долговечность покрытия» очень сильно взаимосвязано с технической характеристикой «адгезия». Однако это же ожидание потребителей слабее взаимосвязано с характеристикой «время высыхания до степени 3» и совсем слабо связано с характеристикой «морозостойкость».

Цифровые оценки значимости взаимосвязи каждой технической характеристики проектируемой эмали ПФ-115 белого цвета должны быть представлены в ячейках (клеточках) матрицы связей на рис. 11. Эти цифровые оценки значимости легко подсчитываются по формуле

$$\text{Значимость взаимосвязи} = \text{Сила взаимосвязи} \times \text{Весомость, \%}.$$

При вычислениях по формуле (3) используются числовые значения весовых коэффициентов «сила взаимосвязи» (см. табл.1), а значения показателей «весомость, %» берутся по данным четвертого столбца субтаблицы 3 (см. рис. 11).

**Примечание.** Значения показателей «сила взаимосвязи», внесенные в виде символов «>», «<», «>» 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.11, субтаблицу 5) занесены числовые значения показателей «значимость взаимосвязи», например, для элемента (ячейки) на пересечении строки «долговечность покрытия» со столбцом «адгезия» получим:

$$\text{Значимость взаимосвязи} = 9(-) \times 11 = 99.$$

Аналогично на пересечении ожидания потребителя «блеск» с технической характеристикой «стойкость пленки к статическому воздействию воды» получаем:

$$\text{Значимость взаимосвязи} = 3(0) \times 14 = 42 \text{ и т. д.}$$

Суммы числовых значений показателей «значимость взаимосвязи» по каждому столбцу (колонке), представленные в верхней строке «суммарная оценка» субтаблицы 7, показывают приоритетность каждой технической характеристики проектируемой эмали ПФ-115 белого цвета. Из рис. 3 видно, что техническая характеристика «время высыхания до степени 3» имеет суммарную оценку 159, «адгезия» – 141, а «стойкость пленки к статическому воздействию воды» – 267.

Все значения, стоящие в верхней строке субтаблицы 7, были просуммированы. В результате получили итоговую величину 1491, отображенную в дополнительной ячейке субтаблицы 7. В нижней строке субтаблицы 7 помещены числовые значения приоритетности (выраженные в процентах от итоговой величины 1491) каждой технической характеристики проектируемой эмали ПФ-115 белого цвета. В частности, технические характеристики «стойкость пленки к статическому воздействию воды», «термостойкость», «укрывистость высушенной пленки» имеют наиболее высокие приоритеты: 18, 12 и 11 соответственно. На стадии проектирования эмали ПФ-115 белого цвета 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 6), образующей «крышу» матрицы «дома качества», с использованием символов, приведенных в табл.6. Видно, что характеристика «твердость пленки» имеет слабую взаимосвязь с характеристикой «эла-

стичность пленки при изгибе» и среднюю взаимосвязь с характеристикой «морозостойкость». Характеристика «условная вязкость» имеет сильную взаимосвязь с характеристикой «укривистость высушенной пленки». Обозначенные символами «>», «<», «>>» взаимосвязи имеют очень важное значение при детализации (подробном описании) путей усовершенствования этой продукции.

**Этап технического анализа.** На этом этапе в очередной «комнате» «дома качества» в верхней строке субтаблицы 8 были проставлены единицы измерения для каждой технической характеристики продукции. Например, за единицу измерения характеристики «массовая доля нелетучих веществ» принят процент (%), характеристики «твердость пленки» – условная единица (усл. ед.), а характеристики «стойкость пленки к статическому воздействию воды» – час (ч).

С использованием этих единиц измерения во второй и третьей строках субтаблицы 8 приведены значения технических характеристик «нашей» и конкурирующей продукции. В частности, после испытаний на морозостойкость на покрытии из «нашей» эмали ПФ-115 белого цвета появились мелкие трещины, а

у конкурирующей эмали лишь уменьшился глянец. При статическом воздействии воды на покрытии из «нашей» эмали ПФ-115 белого цвета дефекты появляются через два часа, а в случае эмали конкурента – через четыре.

### **Этап определения целевых значений технических характеристик продукции**

Целевые значения технических характеристик продукции определяют на основе имеющихся данных с учетом их приоритетности. Целевые значения имеют непосредственное отношение к улучшению технических характеристик продукции, к которому стремятся менеджеры, поэтому команды проектировщиков в дальнейшем должны осуществлять эти улучшения. В рассматриваемом нами примере главный упор сделан в основном на улучшение следующих характеристик:

- стойкость покрытия к статическому воздействию воды (18 %);
- термостойкость (12 %);
- укривистость высушенной пленки (11 %).

**Рекомендации по улучшению эмали ПФ-115 белого цвета.** QFD-команда, занимавшаяся выполнением проекта усовершенствования процесса производства эмали ПФ-115 белого цвета, помимо первого «дома качества», представленного на рис. 11, построила второй, третий и четвертый «дома качества» и с их помощью выработала рекомендации, приведенные ниже.

В связи с тем что эмаль ПФ-115 белого цвета используется для окраски металлических и деревянных изделий, эксплуатирующихся в атмосферных

условиях, в первую очередь необходимо улучшить стойкость покрытия к статическому воздействию воды и его термостойкость. При построении последующих «домов качества» QFD-команда пришла к решению, что эти улучшения могут быть достигнуты путем замены мела, ранее применявшегося в качестве наполнителя, на микромрамор.

Для того чтобы улучшить укрывистость высушенной пленки, было рекомендовано использовать пигмент с более высокой белизной и со специальной формой частиц (игольчатой или чешуйчатой).

Для улучшения ожидания потребителя «блеск пленки» и технической характеристики «степень перетира» необходимо изменить режим введения пленкообразователей в пасту в ходе процесса замеса. Первоначально следует вводить не свыше 60 % пленкообразователя, что обеспечивает более эффективное смачивание пигмента и наполнителя. Кроме того, необходимо ввести в технологию стадию «вызревание пигментной пасты» (после предварительного смешивания в течение 5–6 часов при температуре 20–35 °С), что ускоряет процесс диспергирования и позволяет снизить энергозатраты. Для вызревания пасты рекомендуется контролировать температуру водотеплоносителя, которая должна быть близка к 40 °С.

Для снижения вероятности возникновения несоответствий было рекомендовано производить пересчет рецептуры на компьютере, что повысит точность и надежность расчетов, позволит уменьшить вероятность брака.

### Задания для студентов

1. Разработать рекомендации по повышению качества кирпича марки 75 на основе QFD-методологии
2. Разработать рекомендации по повышению качества цемента марки 400 на основе QFD-методологии
3. Разработать рекомендации по повышению качества песка с модулем крупности 1,4 на основе QFD-методологии

### Вопросы для контроля знаний

1. Как определить ожидания потребителей?
2. Как исследуют взаимосвязь между ожиданиями потребителей и параметрами (характеристиками) технических условий на продукцию?
3. В чем заключается методология QFD?
4. Как учитывается значимость взаимосвязи при построении домика качества?

## Список литературы

1. ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980.) Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего.
2. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
3. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2:1993). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения (IDT).

## Практическое занятие №5 АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ (FMEA)

Цель работы – ознакомиться с методологией анализа видов и последствий отказов (FMEA).

### Общие сведения

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. 12).

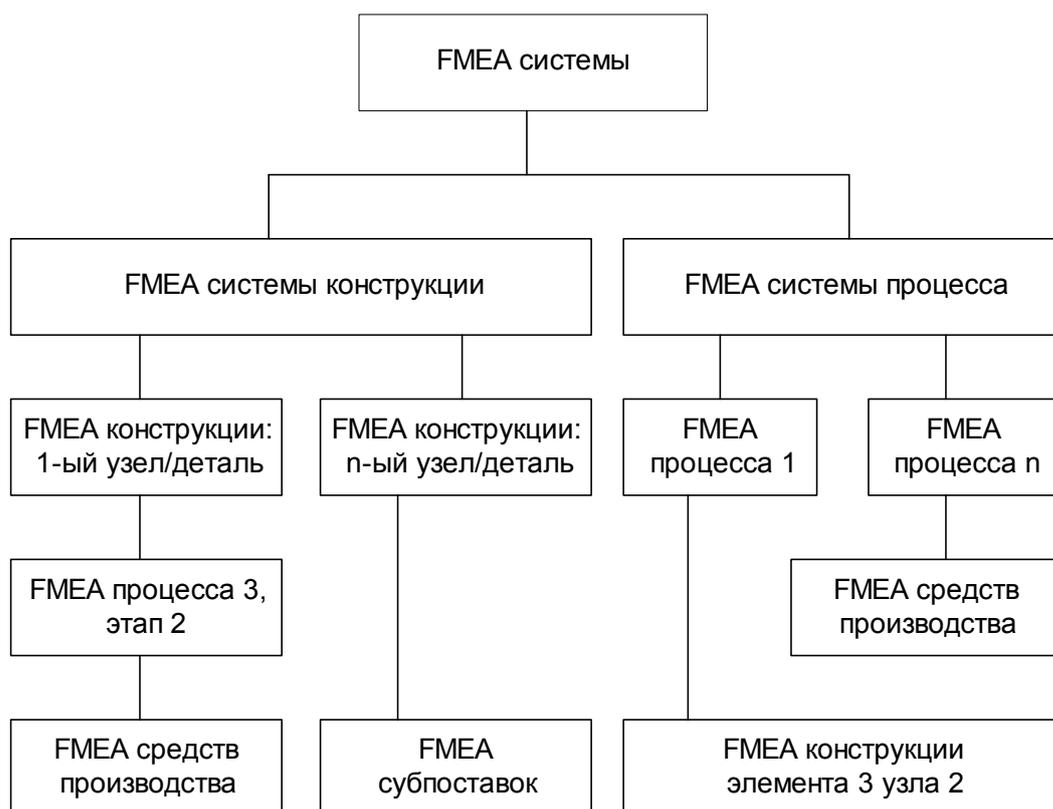


Рис. 12. Взаимосвязь некоторых видов

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 произ-

водства, 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. 7 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.

Анализ характера и последствий отказов производится с использованием приоритетного коэффициента риска

$$K_p = K_n K_h K_o, \quad (37)$$

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



1	2
<b>Умеренное влияние.</b> Вызывает недовольство потребителя. Функции системы или дальнейшему выполнению операций процесса нанесен ущерб (значительное несоответствие).	4-6
<b>Существенное влияние.</b> 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
<b>Очень существенное влияние.</b> Тяжелые последствия отказа, ведущие к остановке производства.	9
<b>Критическое.</b> 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.9). Нужно отметить, что вероятность пропуска (необнаружения) причины численно равна среднему выходному уровню дефектности

$K_o$  – коэффициент, учитывающий вероятность  $P_o$  отказа. Обычно  $P_o=1- P_6$ , где  $P_6$  – вероятность отсутствия отказа (см. табл.10 или рис.13, 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.

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 предприятии 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 9

Коэффициент  $K_n$ , учитывающий вероятность  $P_n$  невыявления отказа или его причины

Характеристика вероятности пропуска отказа или причины отказа	Вероятность невыявления $P_n$ , %	Коэффициент $K_n$
<b>Близкая к нулю</b> Возникающие отказы или причины отказов явно распознаются (например, отсутствие отверстия для сборки)	не более 0,01	1
<b>Очень маленькая</b> 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
<b>Небольшая</b> Выявление возникающих отказов или причин отказов вероятно; проводимые испытания/ технологические проверки относительно достоверны	не более 0,3	4-5
<b>Умеренная</b> 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
<b>Высокая</b> 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
<b>Очень высокая</b> 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 10

Коэффициент  $K_o$ , учитывающий вероятность возникновения причины отказа

Характеристика появления отказа	Доля отказов/дефектов $P_o$ , %	Показатель $K_o$
1	2	3
<b>Вероятность близка к нулю</b>	менее 0,00001	1
<b>Очень незначительная вероятность</b> 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
<b>Незначительная вероятность</b> 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	$0,0005 < P_o < 0,5$  $0,0005 < P_o < 0,5$	4-6
<b>Средняя вероятность</b> Конструкция в общем соответствует проектам, применение которых в прошлом всегда вызывало трудности. Процесс сопоставим с прежним, который часто приводил к дефектам	$0,5 < P_o < 5$	7-8

1	2	3
<p><b>Высокая вероятность</b>                      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

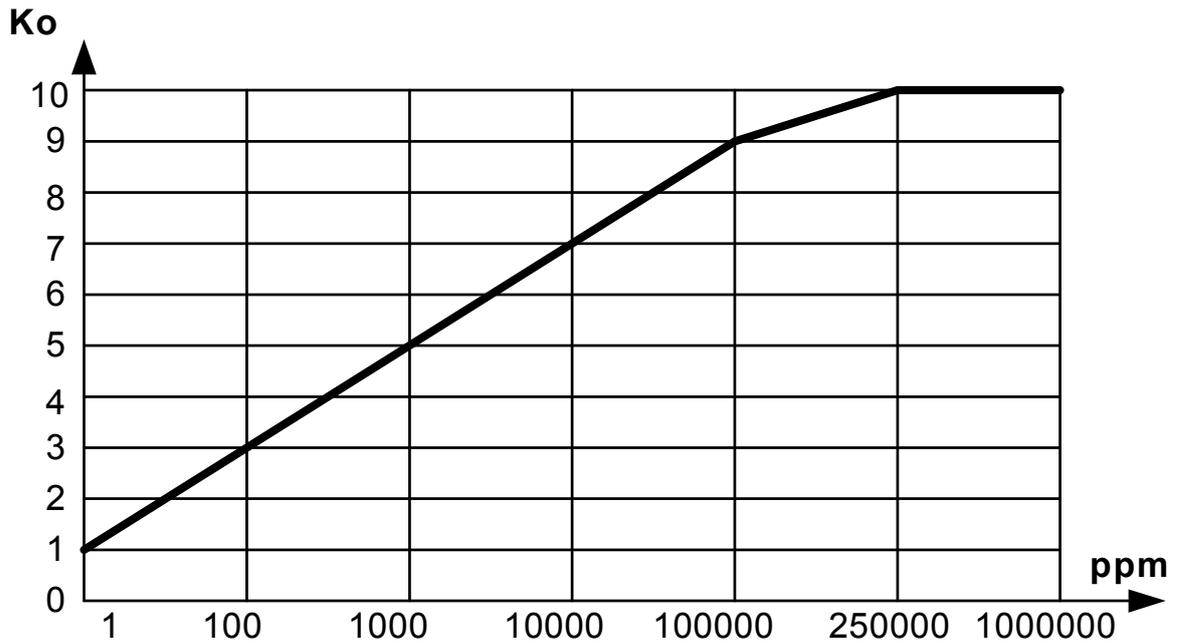


Рис.13. Зависимость Ко от вероятности отказа, выраженной числом ppm (числом отказов на один миллион изделий)

Анализ производится при заполнении формуляра в виде табл. 11. 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 <sub>п</sub>	Меры по обнаружению	K <sub>н</sub>	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	K <sub>о</sub>	K <sub>р</sub>	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  $K_{п}$ , учитывающего значение последствий отказов (тяжесть последствий проявления причин отказов) для потребителя, находится по табл.8. 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  $K_{п}$  записывается в столбце 4. Иногда, при определении  $K_{п}$  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  $K_{н}$ , 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  $K_{о}$ , учитывающего вероятность появления причины отказа с учетом записей в столбце 8.

10. Величина коэффициента (приоритетное число) риска  $K_{р}$  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  $K_{р}$  не более  $K_{рп}$  – в столбце 11 делается прочерк. Если же достигнутое значение  $K_{р}$  превышает  $K_{рп}$ , 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 таблице 11 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.

**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 использовать 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.

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.

Следует также иметь в виду, что начиная анализ с элементов высшего уровня, бывает не всегда возможно оценить вероятность отказа и вероятность необнаружения отказа или его причины объекта до анализа элементов более низкого уровня. Поэтому соответствующие графы табл.5 могут быть в начале анализа незаполненными. Вероятность отказа объекта определяется по аналогии, например, с анализом графа с учетом показателей  $P_0$  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.

После заполнения табл. 11 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  $K_{pp}$ , 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.

**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.11). 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.

#### **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. Бутылка.
  - 2.1. Стеклянная 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.14.

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	P.1 ( $K_o=8$ )	O.2 ( $K_n=10$ )	T.3 ( $K_n=10$ )
Стеклянная колба		P.2.1 ( $K_o=8$ )	O.3 ( $K_n=10$ )
Устройство для разлива		P.2.2 ( $K_o=2$ )	
Характеристика конструкции			P.3 ( $K_o=8$ )
Процесс изготовления/ сборки		P.2.3 ( $K_o=1$ )	

Рис.14. 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), P.( $K_o$ ) – причина отказа (коэффициент, характеризующий вероятность появления причины отказа).

### Определение отказов и их последствий для общей системы

(1 этап анализа – таблица 12)

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. 12 записано  $K_o=8$ .

**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.

Т а б л и ц а 12

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	$K_p$	Меры по обнаружению	$K_n$	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	$K_o$	$K_r$	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	-

**1.6. 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.13)**

Т а б л и ц а 13

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: Управление качеством		Функция: Частичное или полное опорожнение бутылки								Дата 19.04.96
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
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 «Бутылки» 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  $K_{п}$  берется непосредственно по результатам анализа 1-го этапа,  $K_{п}=10$ .

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 оценивается значением  $K_o=8$ .

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.13, имеем  $K_o=2$ .

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  $K_o=1$ .

**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. 14).

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  $K_{п}=10$ .

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  $K_{н}=10$ .

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, значение  $K_{о}=8$ .

Т а б л и ц а 14

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	$K_{п}$	Меры по обнаружению	$K_{н}$	Возможная причина отказа	Меры по предупреждению	$K_{о}$	$K_{р}$	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.

### Задания для студентов

1. Выполнить структурирование системы «Железобетонная плита перекрытия».
2. Провести анализ видов и последствий отказов технической системы по данным преподавателя.

### Вопросы для контроля знаний

1. В чем заключается методология FMEA
2. Как проводят анализ видов и последствий отказов?
3. Как определить значение коэффициента риска, характеризующего вероятность обнаружения брака?
4. От чего зависит значение риска?
5. В чем заключается структурирование системы?
6. Как определить коэффициент риска технического объекта?

### Список литературы

1. Логанина В.И. Инструменты управления качеством продукции: учеб. пособие. – Пенза: ПГУАС, 2008.
2. Логанина В.И. Применение метода FMEA при оценке потенциальных отказов строительных изделий и конструкций: метод. указания к практическим работам. Пенза: ПГУАС, 2007.
3. Логанина В.И., Федосеев А.А. Инструменты качества: учеб. пособие. – Пенза: ПГУАС, 2006.

## Практическое занятие № 6

# ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы – ознакомиться с методикой оценки риска и надежности технических систем

### Общие сведения

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.15.



Рис.15. Схема алгоритма и оценки риска

Наиболее типичные структурные схемы надежности сложных технических объектов приведены на рис. 16-22. Функция, описывающая связь вероятности отказа объекта в целом с вероятностями отказа элементов, представлена в табл.17.

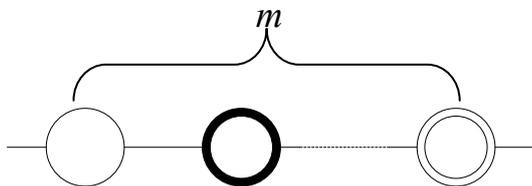


Рис.16. Последовательная из разнотипных элементов.  
 Объект состоит из  $m$  последовательно соединенных разнотипных элементов.  
 Отказ объекта наступает при отказе любого элемента

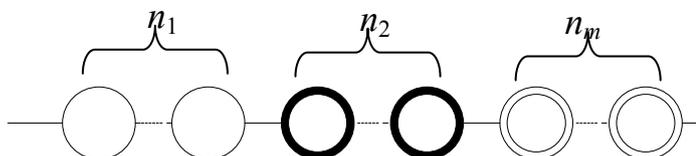


Рис.17. Последовательная при наличии однотипных элементов.  
 Объект состоит из  $m$  последовательно соединенных однотипных элементов.  
 Отказ объекта наступает при отказе любого элемента

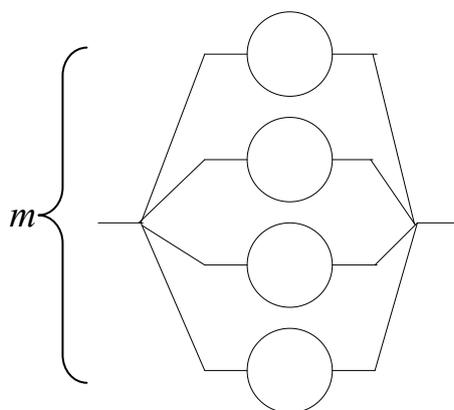


Рис.18. Параллельная из однотипных элементов.  
 Объект состоит из  $m$  параллельно соединенных однотипных элементов.  
 Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

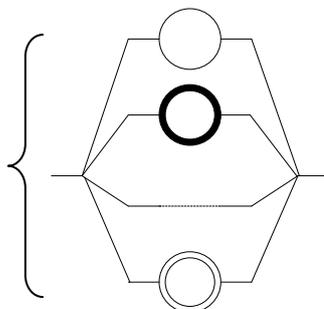


Рис.19. Параллельная из разнотипных элементов.  
 Объект состоит из  $m$  параллельно соединенных разнотипных элементов.  
 Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

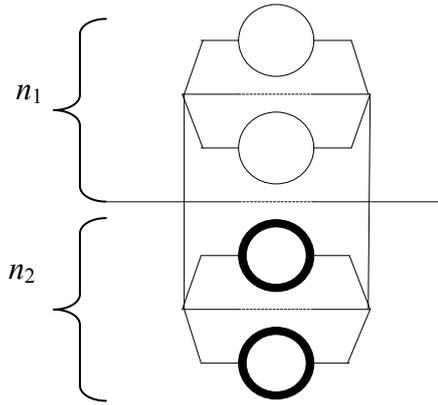


Рис. 20. Параллельная при наличии однотипных элементов.  
 Объект состоит из  $m$  последовательно соединенных элементов  $m$  типов по  $n_1, n_2 \dots n_m$  элементов каждого типа. Отказ объекта наступает при отказе всех элементов

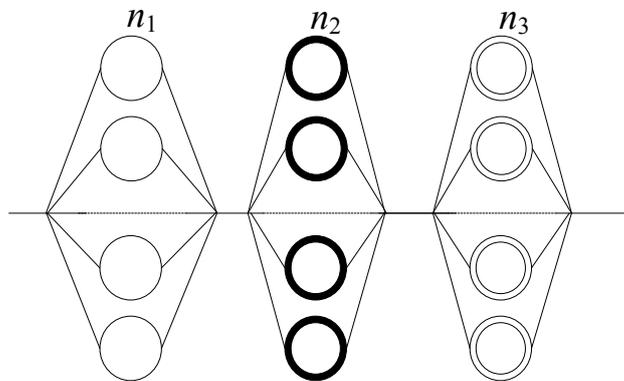


Рис.21. Последовательно-параллельная (параллельное соединение однотипных элементов). Объект состоит из  $m$  последовательно соединенных подсистем,  $i$ -я подсистема состоит из  $n_i$  параллельно соединенных однотипных элементов. Отказ объекта наступает при отказе любой подсистемы

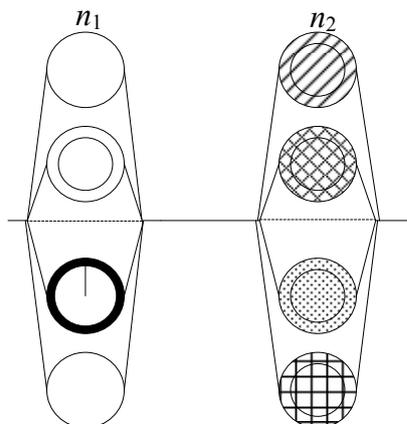


Рис.22. Последовательно-параллельная (параллельное соединение при наличии разнотипных элементов, последовательное соединение при наличии однотипных подсистем). Объект состоит из  $m$  последовательно соединенных подсистем. Подсистема  $i$ -го типа состоит из  $n_i$  разнотипных параллельно соединенных 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, исходя из заданной надежности объекта и структурной схемы системы.

Количественную оценку риска определяют по формуле

$$R = \sum_{i=1}^n r_i, \quad (38)$$

где  $r_i$  – риск, соответствующий  $i$ -му опасному событию

$$r_i = \frac{q_i h_i}{H \sum_{i=1}^n q_i} (i = 1, n), H = \max h_i; \quad (39)$$

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

$$R = r_{\text{пок}} + r_{\text{конт.сл}} + r_{\text{подл}} \cdot \quad (40)$$

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 100м<sup>2</sup>), до 35 % – 1753,53 руб., более 35 % – 1913,48 руб.;

– масляной краской с расчисткой старой краски до 10 % – 1083,71 руб. (на 100 м<sup>2</sup>), 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  $R=0,71-0,72$  (табл.4.20). 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.

### Задания для студентов

1. Рассчитать количественную оценку риска системы «кирпичная кладка» по данным, представленным преподавателем

### 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).

## Список литературы

1. Брагин В.В., Решетов Д.Н. Проектирование цилиндрических зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.

2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

3. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1974. – 655 с.

4. Deckers, J.; Schabe, H.; «FMEA und Fehlerbaumanalyse im Verbund nutzen»; QZ 39 (1994) 1, Seiten 47-50; Carl Hanser Verlag, Munchen

5. DIN 25448. Ausfalleffektanalyse (Failure mode and effects analyses (FMEA)).

6. Gunter Kersten, Vaihingen/ENZ.Fehlermöglichkeits – und – einflussanalyse (FMEA) / Handbuch Qualitäts-Management 3. Auflage/h.469-490

7. Iizuka E. The Tokyo University, Japan. The effective use of prognosis method of tests and failures (FMEA). The materials of the 33-d conference EOQ, vol.2, Austria, Vienna, 1989.

8. MIL 1629A (Military Standard); Procedures for Performing a PMEcaб 1980г.

9. Scheuchert, F.; «Fehlermöglichkeits – und Einfluss-Analyse (FMEA)» in Lest, R.; Scharnagel, A. (Herausgeber); Qualitätsmanagement – Methoden und Werkzeugel zur Planung und Sicheruhg der Qualität (nach DIN ISO 9000 ff); 5/4.1; WEKA Verlag, Augsburg (1993-1996)

10. Schubert, M.; FMEA -Fehlermöglichkeits – und Einflussanalyse – Leitfaden DGQ-Schrift 13-11; Beuth-Verlag,Berlin (1993)

11. Stockinger K. (BRD) Die Einfahrung der Anwendung der FMEA in der Konstruktion und Produktion. The materials of 33-d conference EOQ, vol.2, Austria, Vienna, 1989.

12.ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности», модифицированный по отношению к МЭК 60300-3-1:2003.

13. ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003). «Менеджмент риска. Программа повышения надежности», модифицированный по отношению к МЭК 61014:2003.

14.ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001) «Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство», модифицированный по отношению к МЭК 61882:2001.

15.ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995) «Менеджмент риска. Применение марковских методов», модифицированный по отношению к МЭК 61165:1995.

16.ГОСТ Р 51901.16-2005 (МЭК 61164:1995) «Менеджмент риска. Повышение надежности. Статистические критерии и методы оценки», модифицированный по отношению к МЭК 61164:1995.

17.ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем».

18. ГОСТ Р 51897-2002 «Менеджмент риска. Термины и определения».

19. ГОСТ Р 51901.14-2005 «Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности».

## 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 конкурентноспособность 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. Брагин, В.В. Проектирование цилиндрических зубчатых передач [Текст] / В.В. Брагин, Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1992. – 224 с.
2. Брагин, Ю.В. Инженерные методы повышения квалификации и снижения затрат по Генити Тагути. Выпуск 1. Функция потерь [Текст] / Ю.В. Брагин. – Ярославль: Центр качества, 2005. – 68 с.
3. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534-2:1993). Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения (IDT) [Текст].
4. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение [Текст].
5. ГОСТ Р 50779.22-2005 (ИСО 2602:1980). Статистические методы. Статистическое представление данных. Точечная оценка и доверительный интервал для среднего [Текст].
6. ГОСТ Р 50779.70-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 0. Введение в систему выборочного контроля по альтернативному признаку на основе приемлемого уровня качества AQL (IDT) [Текст].
7. ГОСТ Р 50779.71-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 1. Планы выборочного контроля последовательных партий на основе приемлемого уровня качества AQL (IDT) [Текст].
8. ГОСТ Р 50779.72-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 2. Планы выборочного контроля отдельных партий на основе предельного уровня качества LQ (IDT) [Текст].
9. ГОСТ Р 50779.73-1999. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по альтернативному признаку. Часть 3. Планы выборочного контроля с пропуском партий (IDT) [Текст].
10. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения [Текст].
11. ГОСТ Р 51901.11-2005 (МЭК 61882:2001). Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61882:2001.
12. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Текст].
13. ГОСТ Р 51901.14-2005. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности [Текст].
14. ГОСТ Р 51901.15-2005 (МЭК 61165:1995). Менеджмент риска. Применение марковских методов [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61165:1995.

15. 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.
16. 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.
17. ГОСТ Р 51901.6-2005 (МЭК 61014:2003). Менеджмент риска. Программа повышения надежности [Текст]: модифицированный по отношению к МЭК 61014:2003.
18. Илей, Л. Методы Тагути – мысль, облаченная в систему [Текст] / Л. Илей // Автомобильная промышленность США. – 1988. – №2. – С.20-22.
19. Контроль качества продукции [Текст] / под ред. канд. техн. наук А.Э. Артеса. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 446 с.
20. Логанина, В.И. Инструменты управления качеством продукции [Текст]: учеб. пособие / В.И. Логанина. – Пенза: ПГУАС, 2008.
21. Логанина, В.И. Применение метода FMEA при оценке потенциальных отказов строительных изделий и конструкций [Текст]: метод. указания к практическим работам / В.И. Логанина. – Пенза: ПГУАС, 2007.
22. Логанина, В.И. Инструменты качества [Текст]: учеб. пособие / В.И. Логанина, А.А. Федосеев. – Пенза: ПГУАС, 2006.
23. Ноулер, Л. Статистические методы контроля качества продукции [Текст] / Л. Ноулер [и др.]. – М.: Изд-во стандартов. 1989. – 95 с.
24. Решетов, Д.Н. Детали машин [Текст] / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 655 с.
25. Решетов, Д.Н. Надежность машин [Текст] / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
26. Саката, Сиро. Практическое руководство по управлению качеством [Текст] / Саката Сиро; пер япон. С.И. Мышкиной; под ред. В.И. Гостяева. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.
27. Статистические методы повышения качества [Текст]: пер. с англ./ под ред. Х.Кумэ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 304 с.
28. Шиндовский, Э. Статистические методы управления качеством [Текст] / Э. Шиндовский, О. Шюрц. – М.: Мир, 1976.
29. Deckers, J.; Schabe, H.; «FMEA und Fehlerbaumanalyse im Verbund nutzen»; QZ 39 (1994) 1, Seiten 47-50; Carl Hanser Verlag, Munchen
30. DIN 25448. Ausfalleffektanalyse (Failure mode and effects analyses (FMEA)).
31. Gunter Kersten, Vaihingen/ENZ.Fehlermöglichkeiten – und – enflnbanalyse (FMEA) / Handhuch Qualitats-Managment 3. Auflage/h.469-490
32. Iizuka E. The Tokyo University, Japan. The effective use of prognosis method of tests and failures (FMEA). The materials of the 33-d conference EOQ, vol.2, Austria, Vienne, 1989.

33. MIL 1629A (Military Standard); Procedures for Performing a PMEcaб 1980г.

34. Scheuchert, F.; «Fehlermöglichkeiten – und Einfluß-Analyse (FMEA)» in Lest, R.; Scharnagel, A. (Herausgeber); Qualitätsmanagement – Methoden und Werkzeugel zur Planung und Sicheruhg der Qualität (nach DIN ISO 9000 ff); 5/4.1; WEKA Verlag, Augsburg (1993-1996)

35. Schubert, M.; FMEA -Fehlemöglichkeiten – und Einflußanalyse – Leitfaden DGQ-Schrift 13-11; Beuth-Verlag,Berlin (1993)

36. Stockinger K. (BRD) Die Einfahrung der Anwendung der FMEA in der Konstruktion und Produktion. The materials of 33-d conference EOQ, vol.2, Austria, Vienna, 1989.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Практическое занятие № 1. ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ И ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	6
Практическое занятие № 2. МЕТОДОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	19
Практическое занятие № 3. МЕТОДЫ ТАГУТИ .....	22
Практическое занятие № 4. ФУНКЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ КАЧЕСТВА (QFD-МЕТОДОЛОГИЯ) .....	31
Практическое занятие № 5. АНАЛИЗ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ (FMEA).....	44
Практическое занятие № 6. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	73
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	76

Учебное издание

Логанина Валентина Ивановна

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ**

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям  
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. 4,65. Уч.-изд.л. 5,0. Тираж 80 экз.  
Заказ № 137.

---

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