



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Управление качеством»

Практикум
по дисциплине
«Средства и методы управления качеством»

**«Метод анализов видов и
последствий
потенциальных дефектов
(FMEA)»**

Авторы
Зубрилина Е.М., Димитров В.П.,
Суровцева О.А.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Практикум предназначен для бакалавров по направлению подготовки 27.03.02 «Управление качеством».

Автор

к.т.н., доцент Зубрилина Е.М.,
д.т.н., проф. Димитров В.П.,
к.т.н., доцент Суровцева О.А.



Оглавление

Цель занятия	4
Общие положения	4
Примеры доработки первоначальных конструкторских и технологических решений FMEA-командами	10
Список источников	15
Приложение	16

Цель занятия

Закрепить теоретические знания и развить у студентов компетенций по использованию метода FMEA.

Общие положения

Метод анализов видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA) — это эффективный инструмент повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленный на предотвращение дефектов и снижение негативных последствий от них.

Снижение рисков на всех этапах жизненного цикла продукции актуально для всех и всегда, особенно там, где есть особые требования по надежности, безопасности. В США в оборонной промышленности методика FMEA широко применяется с начала 40-х годов прошлого века, в авиакосмической — с 60-х годов, в автомобильной промышленности с 70-х годов. В СССР методика была доступна для гражданских предприятий с 60-х годов прошлого века. С 50-х годов прошлого века без применения этой простой методики не проектируют и не строят ни одной атомной подводной лодки и ни одной АЭС ни в одной стране мира. В РФ сейчас применение методики FMEA в обязательном порядке требуют отраслевые стандарты СМК автопрома, РЖД и Газпрома. Методика проста как апельсин, но редко правильно применяется.

Это совершенно универсальный метод, он может применяться к любой сфере деятельности, к любому объекту: к процессу (в частности, к техпроцессу), конструкции, системе, изделию. Особо эффективный результат получается при применении FMEA на ранних стадиях проектирования конструкции или процесса (рис. 1). Ведь известно, что любой дефект и его последствия легче предупредить, чем устранить. Методика FMEA как раз и есть метод по выявлению, оценке и снижению рисков. Планирование FMEA осуществляют по ГОСТ Р 51814.2-2001.

Управление качеством



* – возможно применение FMEA согласно ГОСТ Р 51814.2-2001

Рисунок 1 – Взаимосвязь различных форм деятельности по обеспечению качества и этапов жизненного цикла продукции

Применяя FMEA можно добиться:

- уменьшения себестоимости продукта (услуги) при одновременном улучшении качества;
- существенного сокращения количества доработок продукта на следующих за подготовкой производства стадиях;
- сокращение сроков подготовки производства;
- увеличение удовлетворенности заказчика.

Смысл FMEA в том, что, затратив вначале сравнительно незначительное количество усилий, средств и ресурсов, получить значительный эффект, снизив количество отказов и негативных последствий от них. Кстати о последствиях, затраты от них могут быть намного больше, чем от самих отказов. *Например, последствия разрушения узла или детали могут во много раз превосходить стоимость вагона, состава, автомобиля, морского или речного судна.*

Спецметоды системы менеджмента качества:

- FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) — метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов;
- DFMEA — анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции. FMEA-анализ конструкции может проводиться как для разрабатываемой конструкции, так и для существующей. В рабочую группу по проведению анализа обычно входят представители отделов разработки, планирования производства, сбыта, обеспечения качества, представители опытного производства;
- PFMEA — анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса. FMEA-анализ процесса обычно производится у изготовителя ответственными службами планирования производства, обеспечения качества или производства с участием соот-

ветствующих специализированных отделов изготовителя и, при необходимости, потребителя;

- APQP (Advanced Product Quality Planning) — планирование качества перспективной продукции и план управления;
- ANPQP (Alliance New Product Quality Program) — совместная процедура качества новой продукции.

Особенности применения FMEA – это практический опыт и знания специалистов, командный подход, мозговой штурм.

Применение метода FMEA основано на следующих *принципах*:

- **Командная работа.**
- **Иерархичность.**
- **Итеративность.**
- **Регистрация результатов проведения FMEA.**

FMEA-команда (межфункциональная команда)(4-8 чел.) – это временный коллектив из различных специалистов, созданный специально для цели анализа и доработки и (или) процесса изготовления данного технического объекта. FMEA-команда применяет метод мозгового штурма, работая 3-6 ч. в день. Полный состав должен быть неизменным, в отдельные дни можно работать в неполном составе.в атмосферу. Для предотвращения саморазвинчивания клапана по резьбовому соединению Б корпус и штуцер соединяются проволокой 8. Резьбовое соединение Б обеспечивает также возможность разборки клапана для проверки состояния его компонентов после испытаний клапана.

Члены команды должны иметь практический опыт и высокий профессиональный уровень. В команде должен быть определен ведущий. В DFMEA-команде это конструктор, в PFMEA-команде это технолог.

Сама методология FMEA достаточно проста, и состоит из следующих **шагов**:

1. Планирование FMEA. Определяется модификация и этапы работы по методу FMEA: сначала DFMEA, потом PFMEA или общий FMEA.
2. Сформировать FMEA-команду.
Ознакомиться с предложенными проектами конструкции и (или) технологического процесса и построить дерево дефектов (Приложение, рис.1 и рис.2).
3. Определить потенциальные отклонения (несоответствия) конструкции или процесса. Определить виды потенциальных дефектов (Приложение, рис. 3), их последствий и причин (Приложение, рис. 4). Далее оцениваю риски (Приложение, рис. 5).
5. Для PFMEA составляется контрольный перечень по выбору по-

следовательности обработки процессов (Приложение, рис. 6) и контрольный перечень по определению последовательности обработки элементов процессов (Приложение, рис. 7).

4. Определить возможные последствия этих отклонений, с определением балла значимости **S** по соответствующей таблице (десятибалльная шкала) (Приложение, табл.1 или табл. 2). *Экспертно выставляется оценка соответствующая значимости данного дефекта по его возможным последствиям.*

5. Определить потенциальные причины/механизмы этих отклонений с установлением балла вероятности их возникновения - **O** (десятибалльная шкала) (Приложение, табл.3 или табл. 4) – *экспертно выставленная оценка, соответствующая вероятности возникновения данного дефекта.* Вероятность возникновения дефекта - количественная оценка доли продукции (от общего ее выпуска) с дефектом данного вида; эта доля зависит от предложенной конструкции технического объекта и процесса ее производства.

6. Определить имеющиеся меры управления процессом по обнаружению данных потенциальных несоответствий с установлением балла по вероятности их обнаружения **D** (десятибалльная шкала) - *экспертно выставленная оценка, соответствующая вероятности обнаружения данного дефекта* (Приложение, табл.5 или табл. 6). Вероятность обнаружения дефекта - количественная оценка доли продукции с потенциальным дефектом данного вида, для которой предусмотренный в технологическом цикле методы контроля и диагностики позволяет выявить данный дефект или его причину в случае их возникновения.

7. Перемножая баллы **S x O x D**, вычислить **приоритетное число риска (ПЧР)** - количественную оценку комплексного риска дефекта (от 1 до 1000) (Приложение, рис.8).

8. Сравнивая ПЧР и ПЧР граничное определить приоритетные дефекты/причины, по которым необходимо, прежде всего, вести работу (Приложение, рис.9).

9. Определить рекомендуемые действия для устранения потенциальных дефектов и их причин (Приложение, рис.10).

Определить ответственных за выполнение решений и конкретные сроки их реализации.

10. Отследить и зафиксировать результаты рекомендованных действий после их выполнения.

11. Определяя и перемножая экспертные баллы **S x O x D**, полученные после выполнения рекомендуемых действий, получить новое приоритетное число риска **ПЧР**.

12. Сравняя новое ПЧР и ПЧР граничное, принять решение о признании конструкции (процесса) удовлетворительным или, если требуется, о необходимости дальнейшего улучшения. Значение ПЧР граничного (в автопроме сегодня это 100-125) также может устанавливаться с учетом специфики предприятия. В некоторых случаях может быть гораздо менее чем 100. Главное помнить, что законодатель тут – потребитель.

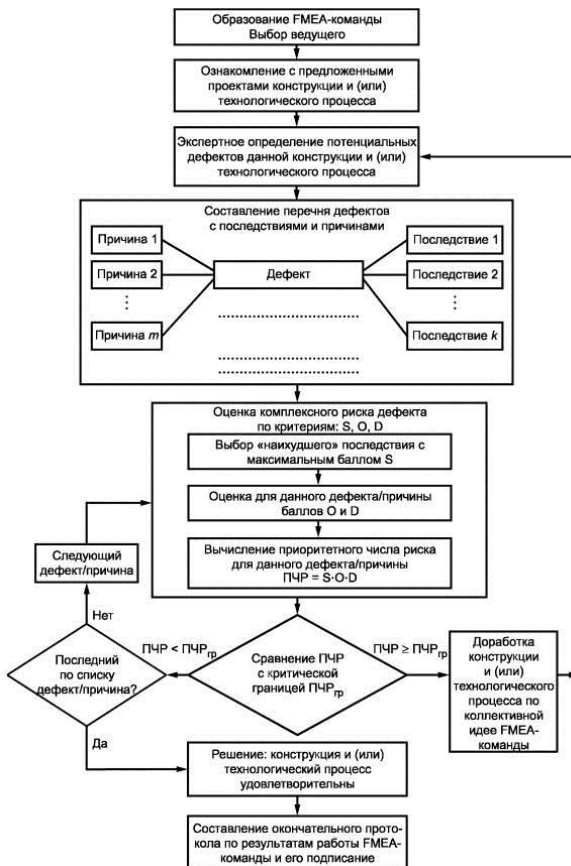


Рисунок 2 - Алгоритм работы FMEA-команды

Корректирующие действия. Рекомендовано рассматривать «направления воздействий» корректирующих действий в следующей последовательности:

- Исключить причину возникновения дефекта. При помощи изменения конструкции или процесса уменьшить возможность

возникновения дефекта (уменьшить балл O);

- Воспрепятствовать возникновению дефекта. При помощи статистического регулирования помешать возникновению дефекта (уменьшить балл O);

- Снизить влияние дефекта. Снизить влияния дефекта на заказчика или последующий процесс с учетом изменения сроков и затрат (уменьшить балл S);

- Облегчить и повысить достоверность выявления дефекта. Облегчить выявление дефекта и последующий ремонт (уменьшить балл D).

Чтобы методика эффективно работала, необходимо:

- обучить этой методике специалистов, которые будут ее проводить;
- обучить специалистов методам командной работы и методам мозгового штурма;
- предоставить помещение, компьютер, все необходимые данные для анализа;
- назначить ведущего, который будет настоящим лидером;
- команда не должна быть очень большой или очень маленькой, оптимальное количество 4-8 человек;
- до начала работы команды подготовить все необходимые данные и если есть - опыт ранее реализованных проектов;
- время работы команды не более 3-6 часов;
- - необходимо понимать особенности проведения каждого вида FMEA и специфики проведения процедуры применительно к подготовке производства и в действующем производстве.

«Смертельные» болезни метода FMEA: формальный подход; непонимание особенностей применения на разных этапах ЖЦП; непонимания взаимосвязи с другими методиками СМК; непонимание особенностей и специфики применения FMEA системы, конструкции, процесса и изделия; отсутствие поддержки высшим руководством.

Несмотря на простоту и эффективность методики FMEA, нельзя забывать, что она имеет один минус. Там, где причины потенциальных дефектов лежат особенно «глубоко», методика может не дать результата. В этом случае необходимо применение более сложных методик, например DOE («Планирование экспериментов»). Но в этом случае необходимо, чтобы на предприятии был один или несколько специалистов, обученных методикам DOE.

Примеры доработки первоначальных конструкторских и технологических решений FMEA-командами

Пример 1. FMEA-команда работает над совершенствованием конструкции нагнетательного шланга, соединяющего насос с рулевым гидроусилителем для автомобиля. Первоначально предложенная конструкция шланга предполагала его соединение с насосом при помощи трубки с двойной конической развальцовкой и накидной гайкой (см. табл.Б1).

Таблица Б.1 - Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	СР
Течь в соединении	1 Загрязнение окружающей среды	10	1 Разрушение седла соединения	8	Визуально		20
	2 Снижение эффективности рулевого управления	8	2 Отклонение геометрии трубки шланга или седла	7	Специальные измерители		20
	3 Снижение удобства управления	7	3 Затруднен доступ к накидной гайке в автомобиле	9	Динамометрический ключ		30

В результате рассмотрения альтернативных конструкций было выбрано соединение шланга с насосом при помощи торцевого уплотнения с медными шайбами и изменено место этого соединения в насосе для облегчения доступа к соединению при заводской сборке и ремонте. Новые значения баллов приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.2 - Новые значения баллов

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ЧР
Течь в соединении	1 Загрязнение окружающей среды	0	1. Отклонение геометрии торцевого соединителя или плоскости соединения на насосе	3	Визуально плюс приспособления	2	0
	2 Снижение эффективности рулевого управления	8	2. Недостаточный момент затяжки	2	Динамометрический ключ	3	0
	3 Снижение удобства управления	7	3. Недостаточный отжиг медных шайб	2	Выборочно на приспособлении	2	0

Результат: соединение стало более надежным; облегчен доступ для монтажа и ремонта; стоимость нового соединения не выше стоимости первоначально предложенного соединения. Формально: максимальное значение ПЧР для этого дефекта стало равно 60.

Пример 2. FMEA-команда работает над совершенствованием конструкции механизма регулирования положения рулевой колонки легкового автомобиля. Первоначально предложенная конструкция предполагала фиксацию колонки при помощи поперечной стяжки двустороннего кронштейна эксцентрикром с рукояткой; для надежности фиксации на сопрягаемых плоскостях (кронштейна и обоймы рулевой колонки) предлагалась насечка (см. табл. Б.3).

Таблица Б.3 - Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	СР
Плохая фиксация колонки	1 Возможность фиксации не в любом положении	7	1 Заниженная твердость насечки	5	Выборочный контроль твердости	4	00
	2 Внезапное изменение положения колонки при резком повороте руля	0	2 Износ насечки при частых регулировках	7	Динамометрический ключ	0	00

Простой и эффективной альтернативной конструкцией является применение фрикционных шайб между сопрягаемыми плоскими поверхностями, однако это конструкторское решение запатентовано компанией Форд Мотор Компани. При рассмотрении других альтернативных решений была выбрана конструкция с фрикционными накладками, наклеиваемыми на пластины обоймы колонки. Новые значения баллов приведены в таблице Б.4.

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ЧР
Плохая фиксация колонки	1 Внезапное изменение положения колонки при резком повороте руля	0	1 Занижен коэффициент трения фрикционных накладок	4	Контроль при сборке автомобиля на усилие сдвига колонки при специально не полном зажиме	2	0
	2 Затрудненное регулирование положения колонки при отслоении фрикционной накладки	7	1 Отслоение накладок из-за нарушения технологии наклейки	5	Выборочный контроль на отрыв	5	75

Таблица Б.4 - Новые значения баллов

Появившееся новое последствие потенциального дефекта - затрудненное регулирование колонки при отслоении накладки (см. таблицу Б.4) решено было снизить по значимости путем введения двух полуутопленных штифтов и соответствующих отверстий на приклеиваемых накладках. Новое значение балла при этом последствии $S = 3$, а новое значение ПЧР = 75 (в таблице Б.4 это не показано).

Результат: зажим стал более надежным; ориентировочная стоимость новой конструкции зажима на 4 % выше стоимости первоначальной конструкции. Формально: максимальное значение ПЧР для этого дефекта стало равным 75.

Пример 3. FMEA-команда работает над совершенствованием технологического процесса изготовления рабочих тормозных цилиндров автомобиля. Первоначально предложенная технология предполагала зажим литой чугунной заготовки за поверхность отливки (см. табл. Б.5).

Таблица Б.5 Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ЧР
Образование тонкой стенки цилиндра	1 Разрушение цилиндра при резке и сильном торможении	0	1 Зажим заготовки со смещением	3	Визуальный контроль	8	40
			2 Заготовки с заниженными механическими свойствами	3	Контроль партии отливок по образцу-эталоу механических свойств	5	50

Таблица Б.6 - Новые значения баллов

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ЧР
Образование тонкой стенки цилиндра	1 Разрушение цилиндра при резке и сильном торможении	0	1 Зажим заготовки со смещением	2	Статистический контроль при гидравлических испытаниях	2	0
			2 Заготовки с заниженными механическими свойствами	3	То же	2	0

Результат: технологический процесс в целом стал более надежным при незначительном возрастании себестоимости изготовления цилиндра. Формально: максимальное значение ПЧР для этого дефекта снижено до 60.

Список источников

ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов

Приложение



Рисунок 1 – Дерево дефектов в начале проведения FMEA-конструкции



Рисунок 2 – Дерево дефектов в начале проведения FMEA-процесса

Управление качеством

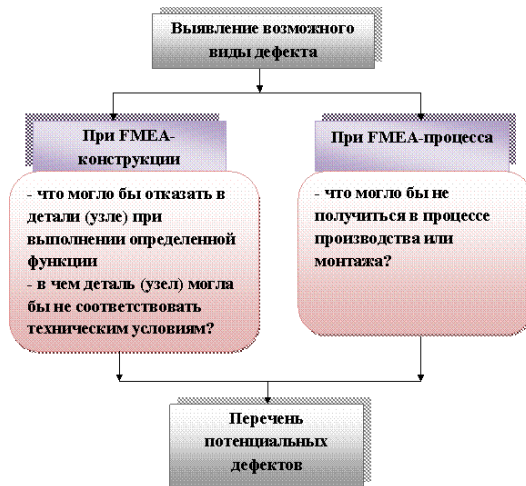


Рисунок 3 – Выявление потенциального дефекта (вида дефекта)



Рисунок 4 – Потенциальные последствия дефекта

Управление качеством

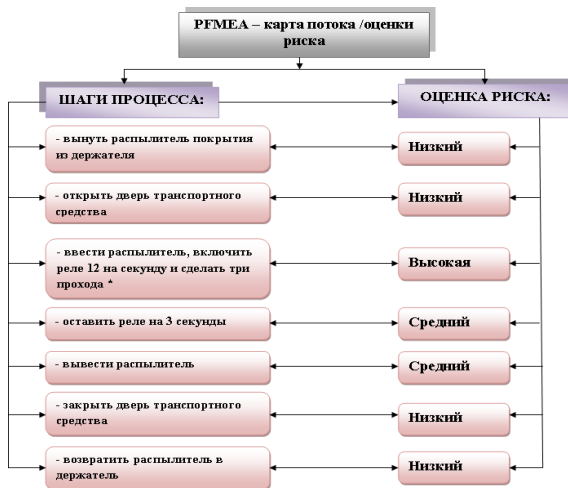


Рисунок 5 – PFMEA – карта потока /оценки риска (на примере процесса «Наложение покрытия внутри двери»)

Критерии FMEA:	Процесс (группы процессов)				
	1	2	3	4	5
Требования FMEA-конструкции					
Требования заказчиков					
Критические процессы					
Значительное изменение процесса					
Внедрение SPC					
Новое оборудование/инструмент					
Окружающая среда/риски труда					
Значительные изменения организации					
Сумма пунктов:					
Последовательность обработки для проведения FMEA процесса					

2 – Полная новизна;
 Оценка: 1 – Частично есть элементы новизны;
 0 – новизны нет.

Рисунок 6 – Контрольный перечень по выбору последовательности обработки процессов при PFMEA

В результате рассмотрения альтернативных технологических решений было предложено:

- ввести в форму отливок специальные приливы, служащие базой для зажима при механической обработке;
- ввести статистический контроль прочности обработанных цилиндров при гидравлических испытаниях для каждой партии отливок.

Новые значения баллов приведены в таблице Б.6.

Управление качеством

Признаки качества / требования Риски процесса	Элементы процесса				
	A	B	C	D	E
Соблюдение высокой точности размеров					
Комплектно / перепутано					
С повреждением / с коррозией					
Особо сложный монтаж					
Неполадки инструмента / оборудования					
Ручное изготовление / сборка					
Возможность изготовления в технологическом процессе не обеспечена					
Ограниченные возможности проверки					
Брак в случае возникновения дефекта					
Проблемы безопасности					
Сумма пунктов:					
Последовательность обработки для проведения FMEA конструкции					

Оценка: 2 – Полная новизна;
 1 – Частично есть элементы новизны;
 0 – новизны нет.

Рисунок 7 - Контрольный перечень по определению последовательности обработки элементов процессов при PFMEA

Управление качеством

Таблица 1 – Рекомендуемая шкала баллов значимости S для FMEA конструкции при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Опасное без предупреждения	Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциально-го дефекта ухудшает безопасность работы транспортного средства и/или вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10
Опасное с предупреждением	Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциально-го дефекта ухудшает безопасность работы транспортного средства или вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением	9
Очень важное	Транспортное средство/узел неработоспособно с потерей основной функции	8
Важное	Транспортное средство/узел работоспособно, но снижен уровень эффективности. Потребитель неудовлетворен	7
Умеренное	Транспортное средство/узел работоспособно, но системы комфорта/удобства неработоспособны. Потребитель испытывает дискомфорт	6
Слабое	Транспортное средство/узел работоспособно, но система(ы) комфорта/удобства работают малоэффективно. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
Очень слабое	Отделка и шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает большинство потребителей	4
Незначительное	Отделка/шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает средний потребитель	3
Очень незначительное	Отделка/шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечают придирчивые потребители	2
Отсутствует	Нет последствия	1
Примечание - «Опасное с предупреждением» - такое последствие, о возможности наступления которого потребитель (пользователь, оператор) предупреждается заранее световым, звуковым или другим индикатором. В ряде случаев предотвратить наступление дефекта с его последствием невозможно или технически нецелесообразно, но легко осуществить предупреждение о наступлении в ближайшее время такого дефекта (например, износ колодок тормозов, падение уровня тормозной жидкости т.п.).		

Таблица 2 – Рекомендуемая шкала баллов значимости S для FMEA процесса при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Опасное без предупреждения	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке. Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта ухудшает безопасность работы транспортного средства и (или) вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10
Опасное с предупреждением	Может подвергнуть опасности персонал у станка или на сборке. Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта ухудшает безопасность работы транспортного средства и (или) вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением	9
Очень важное	Большое нарушение производственной линии. Может браковаться до 100 % продукции. Транспортное средство/узел неработоспособны с потерей главной функции. Потребитель очень недоволен	8
Важное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка продукции, когда часть ее бракуется. Транспортное средство работоспособно, но с пониженной эффективностью. Потребитель неудовлетворен	7
Умеренное	Небольшое нарушение производственной линии. Часть продукции необходимо забраковать (без сортировки). Транспортное средство/узел работоспособны, но некоторые системы комфорта и удобства не работают. Потребитель испытывает дискомфорт	6
Слабое	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка до 100 % продукции. Транспортное средство/узел работоспособны, но некоторые системы комфорта и удобства работают с пониженной эффективностью. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
Очень слабое	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться сортировка и частичная переделка продукции. Отделка и шумность изделия не соответствуют ожиданиям потребителя. Этот дефект замечает большинство потребителей	4
Незначительное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться переделка части продукции на специальном участке. Отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает средний потребитель	3
Очень незначительное	Небольшое нарушение производственной линии. Может потребоваться доработка части продукции на основной технологической линии. Отделка и шумность не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечает разборчивый потребитель	2
Отсутствует	Нет последствия	1

Таблица 3 – Рекомендуемая шкала баллов возникновения O для FMEA конструкции при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	алл O
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2	10
	» 1 из 3	9
Высокая: повторяющиеся дефекты	Более 1 из 8	8
	» 1 из 20	7
Умеренная: случайные дефекты	Более 1 из 80	6
	» 1 из 400	5
	» 1 из 2000	4
Низкая: относительно мало дефектов	Более 1 из 15000	3
	» 1 из 150000	2
Малая: дефект маловероятен	Менее 1 из 1500000	1

В случае PFMEA, если причиной появления дефекта является нарушение установленного допуска на данный показатель качества и если имеется статистический анализ для аналогичного процесса, то рекомендуемым ориентиром для выставления балла O является индекс C_{pk} , приведенный в таблице 4.

П р и м е ч а н и е - Статистический индекс C_{pk} определяет практические возможности технологического процесса по обеспечению выполнения требований установленного допуска на данный показатель качества X . Индекс C_{pk} вычисляют по формуле:

$$C_{pk} = \frac{\min[(U - \bar{X}) - (\bar{X} - L)]}{\hat{\sigma}_i}, \quad (1)$$

где U, L - верхнее и нижнее предельные значения поля допуска показателя качества X ;

\bar{X} - выборочное среднее или оценка положения центра настройки технологического процесса;

$\hat{\sigma}_i$ - оценка стандартного отклонения процесса.

Таблица 4 – Рекомендуемая шкала баллов возникновения О для FMEA процесса при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	Индекс S_{pk}	Балл О
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2	Менее 0,33	10
	» 1 из 3	» 0,33	9
Высокая: ассоциируется с аналогичными процессами, которые часто отказывают	Более 1 из 8	Менее 0,51	8
	» 1 из 20	» 0,67	7
Умеренная: в общем ассоциируется с предыдущими процессами, у которых наблюдались случайные дефекты, но не в большой пропорции	Более 1 из 80	Менее 0,83	6
	» 1 из 400	» 1,00	5
	» 1 из 2000	» 1,17	4
Низкая: отдельные дефекты, связанные с подобными процессами	Более 1 из 15000	Менее 1,33	3
Очень низкая: отдельные дефекты, связанные с почти идентичными процессами	Более 1 из 150000	Менее 1,50	2
Малая: дефект маловероятен. Дефекты никогда не связаны с такими же идентичными процессами	Менее 1 из 1500000	Более 1,67	1

Таблица 5 – Рекомендуемая шкала баллов возникновения D для FMEA конструкции при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Обнаружение	Критерии: правдоподобность обнаружения при проектируемом контроле	Балл D
Абсолютная неопределенность	Проектируемый контроль не обнаружит и (или) не может обнаружить потенциальные причину/механизм и последующий вид дефекта, или контроль не предусмотрен	10
Очень плохое	Очень плохие шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при предполагаемом контроле	9
Плохое	Плохие шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при предполагаемом контроле	8
Очень слабое	Очень ограниченные шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при предполагаемом контроле	7
Слабое	Ограниченные шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при предполагаемом контроле	6
Умеренное	Умеренные шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при предполагаемом контроле	5
Умеренно хорошее	Умеренно высокие шансы обнаружения потенциальных причины/механизма и последующего вида дефекта при проектируемом контроле	4
Хорошее	Высокие шансы	3
Очень хорошее	Очень высокие шансы	2

Почти наверняка	Проектируемые действия (контроль) почти наверняка обнаруживают потенциальную причину и последующий вид дефекта	1
-----------------	--	---

Таблица 6 – Рекомендуемая шкала баллов возникновения D для FMEA процесса при экспертной оценке (ГОСТ Р 51814.2-2001)

Обнаружение	Критерии: вероятность обнаружения дефекта при контроле процесса до следующего или последующего процесса или до того, как часть или компонент покинет место изготовления или сборки	Балл D
Почти невозможно	Нет известного контроля для обнаружения вида дефекта в производственном процессе	10
Очень плохое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	9
Плохое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	8
Очень слабое	Очень низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	7
Слабое	Низкая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	6
Умеренное	Умеренная вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	5
Умеренно хорошее	Умеренно высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	4
Хорошее	Высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	3
Очень хорошее	Очень высокая вероятность обнаружения вида дефекта действующими методами контроля	2
Почти наверняка	Действующий контроль почти наверняка обнаружит вид дефекта. Для подобных процессов известны надежные методы контроля	1

**Форма протокола
анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов**

Объект анализа _____ Служба, ответственная за проведение FMEA _____ Код/номер протокола FMEA _____
 Вид изделия, год выпуска _____ Планируемые сроки проведения FMEA: Стр. _____ из _____
 Изготовитель конечной продукции _____ начало _____ окончание _____ Руководитель группы _____
 Область применения: Действительные сроки проведения FMEA: Члены команды _____
 проектирование конструкции _____
 совершенствование технологического процесса _____
 управление несоответствующей продукцией _____

Изделие/ функция	Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина(ы) или механизм(ы) дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта (причины)	Балл D	ПЧР	Рекомендуемое изменение	Ответственность и назначенная дата	Результаты работы			
											Предпринятые действия (изменения)	Новые значения баллов		
												S	O	D

Примечание — Рекомендуемые изменения необходимы в случае, когда ПЧР > ПЧР_{гр}. В этом случае конструкция и (или) производственный процесс должны быть изменены по отношению к первоначально предложенным в целью снижения значений баллов O и D, а иногда и S. При FMEA конструкции рекомендуемые изменения могут касаться первоначальной конструкции или (и) первоначально предлагаемого к рассмотрению производственного процесса.

Рисунок 8 – Форма протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (ГОСТ Р 51814.2-2001)

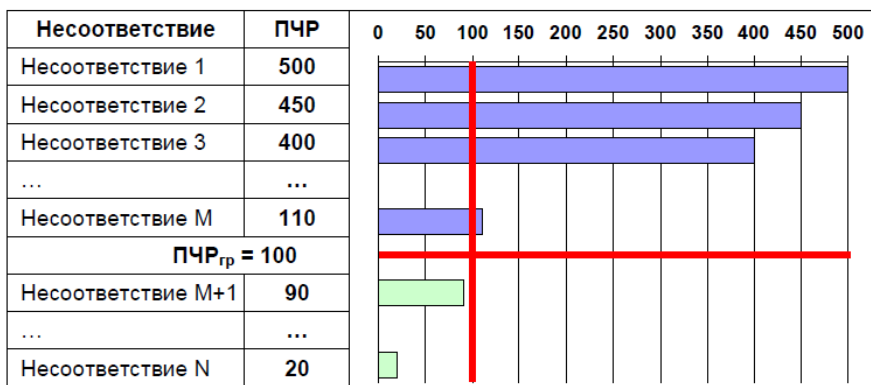


Рисунок 9 – Граничные значения ПЧР

Оценка			Значимость дефекта	Необходимость в дополнит. мероприятиях
S	O	D		
1	1	1	Идеальный случай	Нет
1	1	10	Надежное овладение, контроль, как правило, не требуется	Нет
10	1	1	Дефект не попадает к заказчику	Нет
10	1	10	Дефект может попасть к заказчику	Да
1	10	1	Часто повторяющийся дефект, наверняка может быть выявлен	Да
1	10	10	Часто повторяющийся дефект, может попасть к заказчику	Да
10	10	1	Часто повторяющийся весомый дефект	Да
10	10	10	Здесь принципиально что-то не в порядке	Да

Рисунок 10 – Ориентировочная потребность в принятии мер