ГОСТ Р 51814.2—2001

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы качества в автомобилестроении

МЕТОД АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ

Издание официальное

БЗ 11—2000/344

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД»);

Программным комитетом «Системы качества в автомобилестроении. QS/СКА—9000»;

При участии: ОАО «АВТОВАЗ»; ОАО «ГАЗ»; ООО сертификационный методический центр «Приоритет» (СМЦ «Приоритет»); Межрегиональной общественной организации «Российская Инженерная Академия. Поволжское отделение» (ПО РИА)

ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 125 «Статистические методы в управлении качеством продукции»;

Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД»)

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 2 октября 2001 г. № 401-ст

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© ИПК Издательство стандартов, 2001

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Определения 1
4 Основные положения 2
5 Состав FMEA-команд и требования к их членам 4
6 Методика работы FMEA-команд (основание этапы провсдения FMEA) 5
7 Критерии для оценки комплексного риска дефекта 8
Приложение А Форма протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов . . . 13
Приложение Б Примеры доработки первоначальных конструкторских и технологических решений FMEA-командами 14
Приложение В Библиография 17

Введение

Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA)[1)] (далее — метод FMEA) — это эффективный инструмент повышения качества разрабатываемых технических объектов, направленный на предотвращение дефектов или снижение негативных последствий от них. Это достигается благодаря предвидению дефектов и (или) отказов и их анализу, проводимому на этапах проектирования конструкции и производственных процессов. Метод может быть также использован для доработки и улучшения конструкций и процессов, запущенных в производство.

Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и необнаружения на предприятии и принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления. Это один из наиболее эффективных методов доработки конструкции технических объектов и процессов их изготовления на таких важнейших стадиях жизненного цикла продукции, как ее разработка и подготовка к производству.

На этапе доработки конструкции технического объекта перед утверждением конструкции или при улучшении имеющейся конструкции методом FMEA решают следующие задачи:

- определение «слабых» мест конструкции и принятие мер по их устранению;
- получение сведений о риске отказов предложенного и альтернативных вариантов конструкции;
- доработка конструкции до наиболее приемлемой с различных точек зрения: технологичности, удобства обслуживания, надежности и т. д.;
- сокращение дорогостоящих экспериментов.

На этапе доработки производственного процесса перед его запуском или при его улучшении методом FMEA решают следующие задачи:

- обнаружение «слабых» мест технологических процессов и принятие мер по их устранению при планировании производственных процессов;
- принятие решений о пригодности предложенных и альтернативных процессов и оборудования при разработке технологических процессов;
- доработка технологического процесса до наиболее приемлемого с различных точек зрения, а именно: надежности, безопасности для персонала, обнаружения потенциально дефектных технологических операций и т. д.;
- подготовка серийного производства.

Метод FMEA рекомендуется применять при изменении условий эксплуатации технического объекта, требований заказчика, при модернизации конструкций или технологических процессов и т. п.

Метод FMEA может применяться также при принятии решений в отношении несоответствующей продукции (материалов, деталей, комплектующих изделий) в экономически обоснованных случаях.

Стандарт предназначен для технических специалистов и менеджеров предприятий, производящих автотранспортные средства, и предприятий-поставщиков. Основой настоящего стандарта является руководство «Анализ видов и последствий потенциальных отказов», входящее в систему документов к стандарту «QS-9000. Требования к системам качества» [1], [2].

Применение настоящего стандарта не ограничено автомобильной отраслью. Методы, установленные в стандарте, применимы на предприятиях других отраслей, заинтересованных в улучшении качества разработок, развитии и непрерывном совершенствовании конструкций и технологических процессов.

Метод FMEA также может быть использован при разработке и анализе любых других процессов, например таких, как процессы продаж, обслуживания, маркетинга и другие.

[1)] FMEA (Potential Failure Mode and Effects Analysis) — анализ видов и последствий потенциальных отказов — это метод, изложенный в руководстве с аналогичным названием к стандарту QS—9000 «Требования к системам качества»; в настоящем стандарте метод охватывает как анализ последствий, так и анализ причин потенциальных дефектов технических объектов и процессов их изготовления, а также необходимую доработку технических объектов по данным проведенного анализа.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы качества в автомобилестроении

МЕТОД АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ

Quality systems for automotive industry.
Method for potential failure mode and effects analysis

Дата введения 2002—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на технические объекты автомобилестроения. Стандарт устанавливает методику и порядок проведения анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (отказов) технических объектов и процессов их производства, а также доработки этих объектов и процессов по результатам проведенного анализа.

Стандарт применяется на этапах разработки и постановки на производство технических объектов, а также для совершенствования и доработки имеющихся конструкций и процессов производства технических объектов. Стандарт может применяться также для принятия решений по компонентам продукции, имеющим несоответствия по некоторым показателям качества.

Стандарт применяется в случаях, когда для технических объектов соответствующими документами (стандартом, техническим заданием, договором, программой обеспечения качества и надежности и др.) признано необходимым проведение метода FMEA. В инициативном порядке стандарт может применяться, если метод FMEA признан целесообразным для предотвращения или устранения ошибок и недоработок конструкции и (или) технологических процессов.

Стандарт рекомендуется применять при разработке стандартов предприятия, руководств, методик и иных документов в рамках действующей на предприятии системы качества.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 27.002—89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 27.310—95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения

ГОСТ Р ИСО 9000—2001 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

3 Определения

В настоящем стандарте используются термины с соотвстствующими определениями по ГОСТ Р ИСО 9000, ГОСТ 27.002 и ГОСТ 27.310, а также приведенные ниже:

3.1 **несоответствие:** Невыполнение требования (ГОСТ Р ИСО 9000)

3.2 **дефект:** Невыполнение требования, связанного с предполагаемым или установленным использованием (ГОСТ Р ИСО 9000).

3.3 **отказ:** Непредусмотренное для нормального функционирования технического объекта явление, приводящее к негативным последствиям при эксплуатации или изготовлении данного технического объекта.

Примечание — Далее в стандарте используется термин «дефект» в значении, обобщающем приведенные термины «несоответствие», «дефект» и «отказ».

3.4 **значимость потенциального дефекта:** Качественная или количественная оценка предполагаемого ущерба от данного дефекта.

Издание официальное

3.5 **балл [ранг] значимости (S):** Экспертно выставляемая оценка, соответствующая значимости данного дефекта по его возможным последствиям.

3.6 **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 его производства.

3.7 **балл [ранг] возникновения (О):** Экспертно выставляемая оценка, соответствующая вероятности возникновения данного дефекта.

3.8 **вероятность обнаружения** дефекта: Количественная оценка доли продукции с потенциальным дефектом данного вида, для которой предусмотренные в технологическом цикле методы контроля и диагностики позволят выявить данный потенциальный дефект или его причину в случае их возникновения.

3.9 **балл [ранг] обнаружения (D):** Экспертно выставляемая оценка, соответствующая вероятности обнаружения дефекта.

3.10 **комплексный риск дефекта:** Комплексная оценка дефекта с точки зрения его значимости по последствиям, вероятности возникновения и вероятности обнаружения.

3.11 **приоритетное число риска (ПЧР):** Количественная оценка комплексного риска дефекта, являющаяся произведением баллов значимости, возникновения и обнаружения для данного дефекта.

3.12 **анализ видов и последствий потенциальных дефектов (FMEA):** Формализованная процедура анализа и доработки проектируемого технического объекта, процесса изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта данного технического объекта, основанная на выделении возможных (наблюдаемых) дефектов разного вида с их последствиями и причинно-следственными связями, обуславливающими их возникновение, и оценках критичности этих дефектов.

3.13 **технический объект [объект]:** Любое изделие (элемент, устройство, подсистема, функциональная единица или система), которое можно рассматривать в отдельности.

Примечание — Объект может состоять из технических средств, программных средств или их сочетания и может в частных случаях включать персонал, его эксплуатирующий, обслуживающий и (или) ремонтирующий (ГОСТ 27.002).

4 Основные положения

4.1 Цели проведения FMEA

FMEA проводят с целью анализа и доработки конструкции технического объекта, производственного процесса, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта технического объекта для предупреждения возникновения и (или) ослабления тяжести возможных последствий его дефектов и для достижения требуемых характеристик безопасности, экологичности, эффективности и надежности.

4.2 Применение метода FMEA основано на следующих принципах:

4.2.1 **Командная работа.** Реализация метода FMEA осуществляется силами специально подобранной межфункциональной команды экспертов.

4.2.2 **Иерархичность.** Для сложных технических объектов или процессов их изготовления анализу подвергается как объект или процесс в целом, так и их составляющие; дефекты составляющих рассматриваются по их влиянию на объект (или процесс), в который они входят.

4.2.3 **Итеративность.** Анализ повторяют при любых изменениях объекта или требований к нему, которые могут привести к изменению комплексного риска дефекта.

4.2.4 **Регистрация результатов проведения FMEA.** В соответствующих отчетных документах должны быть зафиксированы результаты проведенного анализа и решения о необходимых изменениях и действиях.

Необходимые изменения и действия, указанные в отчетных документах, должны быть отражены в соответствующих документах в рамках действующей на предприятии системы качества.

4.3 Задачи, решаемые при проведении FMEA

В процессе FMEA решают следующие задачи:

- составляют перечень всех потенциально возможных видов дефектов технического объекта или процесса его производства, при этом учитывают как опыт изготовления и испытаний аналогичных объектов, так и опыт реальных действий и возможных ошибок персонала в процессе производства, эксплуатации, при техническом обслуживании и ремонте аналогичных технических объектов;

- определяют возможные неблагоприятные последствия от каждого потенциального дефекта, проводят качественный анализ тяжести последствий и количественную оценку их значимости;

- определяют причины каждого потенциального дефекта и оценивают частоту возникновения каждой причины в соответствии с предлагаемыми конструкцией и процессом изготовления, а также в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации, обслуживания, ремонта;

- оценивают достаточность предусмотренных в технологическом цикле операций, направленных на предупреждение дефектов в эксплуатации, и достаточность методов предотвращения дефектов при техническом обслуживании и ремонте; количественно оценивают возможность предотвращения дефекта путем предусмотренных операций по обнаружению причин дефектов на стадии изготовления объекта и признаков дефектов на стадии эксплуатации объекта;

- количественно оценивают критичность каждого дефекта (с его причиной) приоритетным числом риска ПЧР и при высоком ПЧР ведут доработку конструкции и производственного процесса, а также требований и правил эксплуатации с целью снижения критичности данного дефекта.

4.4 При проведении FMEA наряду с предложенным вариантом конструкции или процесса производства рекомендуется анализировать также альтернативные варианты технических решений. Эти варианты рассматривают с целью снижения комплексного риска дефекта по ПЧР, снижения стоимости и повышения эффективности функционирования технического объекта или технологии его изготовления.

4.5 Методология анализа видов, причин и последствий дефектов предполагает организацию межфункциональной команды (FMEA-команды), состоящей из разных специалистов, знания которых необходимы при анализе и доработке конструкции объекта и (или) производственного процесса (см. 4.2.1).

Требования к составу FMEA-команд — в соответствии с разделом 5.

4.6 Различные виды FMEA

4.6.1 В случаях, когда при разработке технического объекта конструкцию и процесс производства разделять нецелесообразно, разработку конструкции и производственного процесса проводят совместно с применением общего FMEA. Отраслевыми примерами целесообразного применения общего FMEA являются: резинотехническое производство, шинная промышленность и др. В этом случае применяют обобщенную методологию анализа видов и последствий дефектов конструкции и технологии по настоящему стандарту, а также по ГОСТ 27.310.

4.6.2 В случаях, когда разрабатываемый технический объект предполагает сначала разработку конструкции этого объекта, а затем разработку процессов его производства, метод FMEA может быть разделен на два этапа: этап отработки конструкции (DFMEA или FMEA конструкции) и этап отработки производственного процесса (PFMEA или FMEA процесса)[1)].

4.6.3 Анализ видов и последствий дефектов конструкции (DFMEA, FMEA конструкции)

FMEA конструкции представляет собой процедуру анализа первоначально предложенной конструкции технического объекта и доработки этой конструкции в процессе работы соответствующей FMEA-команды.

FMEA конструкции проводят на этапе разработки конструкции технического объекта. Данный метод позволяет предотвратить запуск в производство недостаточно отработанной конструкции, помогает улучшить конструкцию технического объекта и заранее предусмотреть необходимые меры в технологии изготовления, предупреждая появление или (и) снижая комплексный риск дефекта за счет:

- коллективной работы разносторонних специалистов, входящих в DFMEA-команду;

- изначального и полного учета требований для изготовления компонентов, требований сборки, контроля при изготовлении, удобства обслуживания и т. д.;

- повышения вероятности того, что все виды потенциальных дефектов и их последствия будут рассмотрены в процессе работы DFMEA-команды;

- анализа полной и разносторонней информации при планировании эффективного испытания конструкции;

- анализа списка всех видов потенциальных дефектов, ранжированных по их влиянию на потребителя, при котором устанавливают систему приоритетов при проведении улучшений конструкции и программу испытаний;

[1)] DFMEA — Potential failure mode and effects analysis in design (Design FMEA).

PFMEA — Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (Process FMEA).

- создания открытой формы для рекомендаций и прослеживания действий, снижающих риск возникновения дефектов;
- разработки рекомендаций, помогающих в дальнейшей деятельности по анализу совокупности требований, оцениванию изменений конструкции, а также при разработке последующих перспективных конструкций.

4.6.4 Анализ видов и последствий дефектов процесса (PFMEA, FMEA процесса)

PFMEA представляет собой процедуру анализа первоначально разработанного и предложенного (процесса) производства и доработки этого процесса в ходе работы соответствующей PFMEA-команды.

PFMEA проводят на этапе разработки производственного процесса и это позволяет предотвратить внедрение в производство недостаточно отработанных процессов.

PFMEA позволяет:

идентифицировать виды потенциальных дефектов процесса изготовления данного технического объекта, приводящих к дефектам данного технического объекта;

оценить потенциальные реакции потребителя на соответствующие дефекты;

идентифицировать потенциальные факторы процессов изготовления и сборки и вариации процесса, требующие усиленных действий для снижения частоты (вероятности) дефектов или для обнаружения условий дефектов процесса;

составить ранжированный список потенциальных дефектов процесса, устанавливая этим систему приоритетов для рассмотрения корректирующих действий;

документировать результаты процесса изготовления или сборки.

4.6.5 Метод FMEA допускается применять для принятия решений в отношении партий компонентов, имеющих отклонения по некоторым показателям качества. При этом оценивают критичность потенциальных дефектов, которые могут возникать в техническом объекте, в который входят данные компоненты. В этом случае экспертно выставляемые баллы S, O, D (см. разделы 6 и 7) должны относиться к техническому объекту, в который входят эти компоненты.

4.7 Методология FMEA рекомендуется как при проектировании новых технических объектов, так и при разработке модифицированных вариантов конструкции и (или) процесса производства технических объектов (в соответствии с 4.2.3).

Методология FMEA полезна также при рассмотрении новых условий эксплуатации технического объекта или новых требований заказчика (потребителя) к этому объекту.

5 Состав FMEA-команд и требования к их членам

5.1 FMEA-команда (межфункциональная команда) представляет собой временный коллектив из разных специалистов, созданный специально для цели анализа и доработки конструкции и (или) процесса изготовления данного технического объекта. При необходимости в состав FMEA-команды могут приглашаться опытные специалисты из других организаций.

5.2 В своей работе FMEA-команды применяют метод мозгового штурма; рекомендуемое время работы — от 3 до 6 часов в день. Для эффективной работы все члены FMEA-команды должны иметь практический опыт и высокий профессиональный уровень. Этот опыт предполагает для каждого члена команды значительную работу в прошлом с аналогичными техническими объектами.

5.3 Рекомендуемое число участников FMEA-команды — от 4 до 8 человек. Полный состав участников FMEA-команды для работы с данным техническим объектом должен быть неизменным, однако в отдельные дни в работе FMEA-команды может принимать участие неполный ее состав, что определяется целесообразностью присутствия тех или иных специалистов при рассмотрении текущего вопроса.

5.4 Рекомендуется, чтобы члены DFMEA-команды в совокупности имели практический опыт в следующих областях деятельности:

- конструирование аналогичных технических объектов, различные конструкторские решения;
- процессы производства компонентов и сборки;
- технология контроля в ходе изготовления;
- техническое обслуживание и ремонт;
- испытания;
- анализ поведения аналогичных технических объектов в эксплуатации.

5.5 Рекомендуется, чтобы члены PFMEA-команды в совокупности имели практический опыт в следующих областях деятельности:

- конструирование аналогичных технических объектов;
- процессы производства компонентов и сборки;

- технология контроля в ходе изготовления;
- анализ работы соответствующих технологических процессов, возможные альтернативные технологические процессы;
- анализ частоты дефектов и контроля работы соответствующего оборудования и персонала.

Примечание — При необходимости в состав FMEA-команд привлекаются также специалисты с практическим опытом в других областях деятельности.

5.6 В случае, когда этапы проектирования конструкции и процессов производства данного технического объекта разделять нецелесообразно (см. 4.4.1), формируют общую FMEA-команду. Члены этой команды в совокупности должны иметь практический опыт во всех областях деятельности, перечисленных в 5.4 и 5.5.

5.7 В случае, когда для данного технического объекта отдельно формируют DFMEA-команду и PFMEA-команду, рекомендуется в их состав включать одни и те же физические лица следующих специальностей: конструктор, технолог, сборщик, испытатель, контролер.

5.8 В команде должен быть определен ведущий, которым может быть любой из членов команды, признаваемый остальными как лидер в рассматриваемых вопросах.

5.9 Профессионально ответственным в DFMEA-команде является конструктор, а в PFMEA-команде — технолог.

6 Методика работы FMEA-команд (основные этапы проведения FMEA)

6.1 Алгоритм работы FMEA-команды представлен на рисунке 1.

6.2 Планирование FMEA осуществляют по 5.3 ГОСТ 27.310. Необходимо решить вопрос о модификациях и этапах работы по методу FMEA: сначала DFMEA, затем PFMEA или общий FMEA.

6.3 Формирование составов межфункциональных FMEA-команд осуществляют в соответствии с требованиями раздела 5.

6.4 Ознакомление с предложенными проектами конструкции и (или) технологического процесса

Ведущий FMEA-команды представляет для ознакомления членам своей команды комплект документов по предложенному проекту конструкции или (и) проекту технологического процесса.

6.5 Определение видов потенциальных дефектов, их последствий и причин

6.5.1 Для конкретного технического объекта и (или) производственного процесса с его конкретной функцией определяют (пользуясь имеющейся информацией и предшествующим опытом) все возможные виды дефектов. Описание каждого вида дефекта заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов, составленный, например, в виде таблицы. Форма протокола должна быть предварительно выбрана и утверждена. Рекомендуемая форма протокола приведена в приложении А.

Примеры видов дефектов технического объекта: растрескивание, деформация, люфт, течь, прокол, короткое замыкание, окисление, перелом.

Примеры видов дефектов технологического процесса: недостаточная толщина покрытия, пропуск операции установления шплинта, применение другого материала.

Примечание — Виды потенциальных дефектов следует описывать в физических или технических терминах, а не в виде внешних признаков (симптомов), заметных потребителю.

6.5.2 Для всех описанных видов потенциальных дефектов определяют их последствия на основе опыта и знаний FMEA-команды.

Примеры последствий дефектов: шум, неправильная работа, плохой внешний вид, неустойчивость, прерывистая работа, шероховатость, неработоспособность, плохой запах, повреждение управления.

Примечания

1 Для каждого вида дефектов может быть несколько потенциальных последствий, все они должны быть описаны.

2 Последствия дефектов следует описывать признаками, которые может заметить и ощутить потребитель, причем имеется в виду, что потребитель может быть как внутренним (на последующих операциях создания объекта), так и внешним.

3 Последствия дефектов следует излагать в конкретных терминах системы, подсистемы или компонента, подвергаемых анализу.

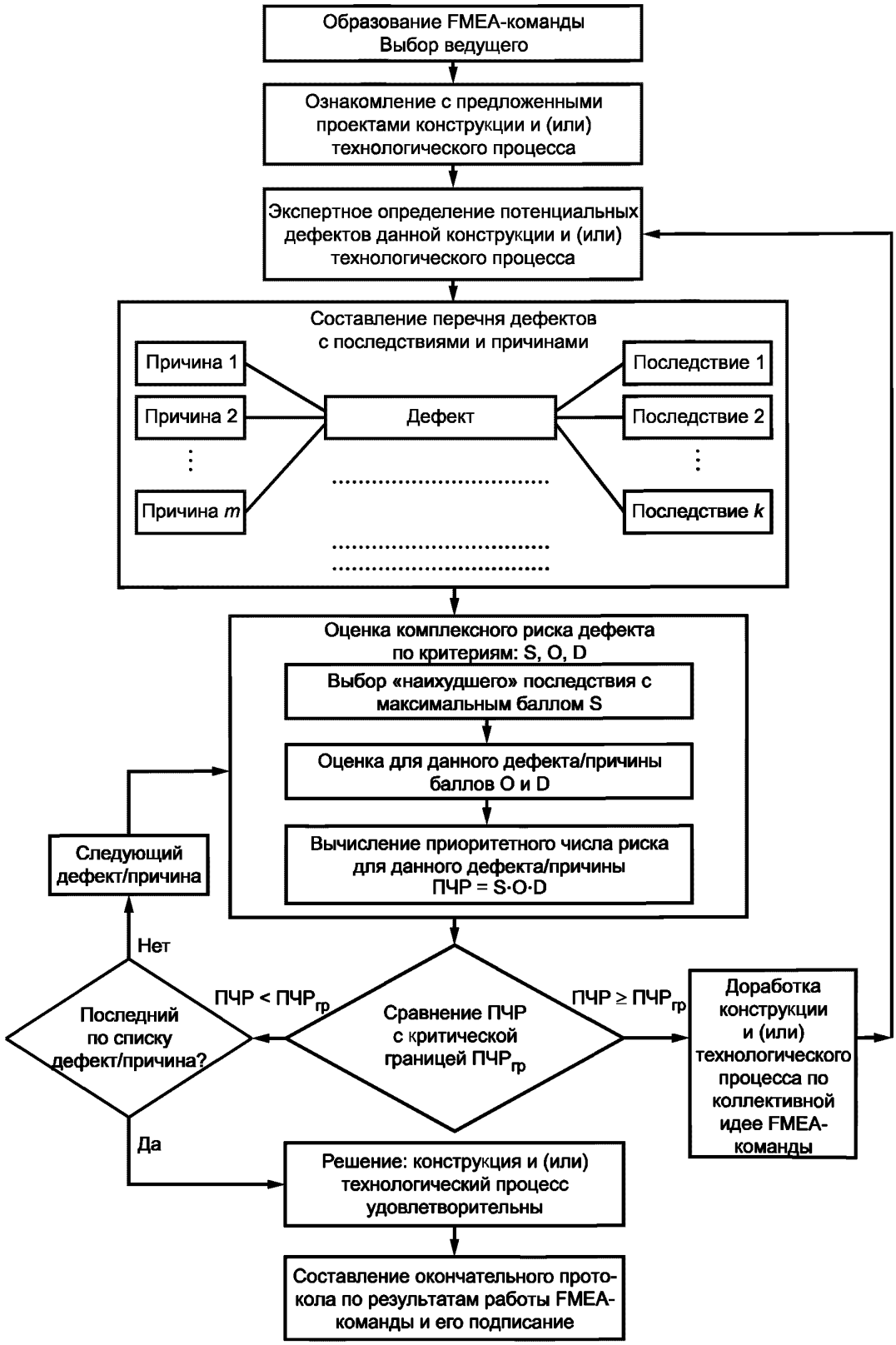

Рисунок 1 — Алгоритм работы FMEA-команды

6.5.3 Для каждого последствия дефекта экспертно определяют балл значимости S при помощи таблицы баллов значимости. Балл значимости изменяется от 1 для наименее значимых по ущербу дефектов до 10 — для наиболее значимых по ущербу дефектов. Для конкретного предприятия эта таблица должна быть пересмотрена в соответствии со спецификой предприятия и конкретными последствиями дефектов.

Типовые значения баллов значимости приведены в таблицах 1 и 2 раздела 7.

В дальнейшем при работе FMEA-команды и выставлении ПЧР (по 6.5.7) используют один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта (примеры использования максимального балла S при вычислении ПЧР приведены в приложении Б).

6.5.4 Для каждого дефекта определяют потенциальные причины. Для одного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин, все они должны быть по возможности полно описаны и рассмотрены отдельно.

Примеры причин дефектов: использован другой материал, неадекватное предположение о жизнеспособности конструкции, перегрузка, недостаточные возможности смазки, неполные инструкции по обслуживанию, слабая защита от неблагоприятных условий среды.

Причинами (механизмами) дефектов могут быть, например: текучесть, ползучесть, нестабильность материала, усталость, износ, коррозия.

6.5.5 Для каждой потенциальной причины дефекта экспертно определяют балл возникновения O. При этом рассматривается предполагаемый процесс изготовления и экспертно оценивается частота данной причины, приводящей к рассматриваемому дефекту.

Балл возникновения изменяется от 1 для самых редко возникающих дефектов до 10 — для дефектов, возникающих почти всегда.

Типовые значения балла возникновения приведены в таблицах 3 и 4 раздела 7.

6.5.6 Для данного дефекта и каждой отдельной причины определяют балл обнаружения D для данного дефекта или его причины в ходе предполагаемого процесса изготовления.

Балл обнаружения изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых дефектов (причин) до 1 — для практически достоверно обнаруживаемых дефектов (причин).

Типовые значения балла обнаружения приведены в таблицах 5 и 6 раздела 7.

6.5.7 После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число риска ПЧР по формуле

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D. \qquad (1)$$

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000.

6.5.8 Для приоритетного числа риска должна быть заранее установлена критическая граница ($\text{ПЧР}_{\text{гр}}$) в пределах от 100 до 125. По усмотрению службы маркетинга и других служб предприятия для некоторых возможных дефектов значение $\text{ПЧР}_{\text{гр}}$ может быть установлено менее 100. Снижение $\text{ПЧР}_{\text{гр}}$ соответствует созданию более высококачественных и надежных объектов и процессов.

6.5.9 Составляют перечень дефектов/причин, для которых значение ПЧР превышает $\text{ПЧР}_{\text{гр}}$. Именно для них и следует далее вести доработку конструкции и (или) производственного процесса.

Для каждого дефекта/причины с ПЧР > $\text{ПЧР}_{\text{гр}}$ команда должна предпринимать усилия к снижению этого расчетного показателя посредством доработки конструкции и (или) производственного процесса.

6.5.10 После того, как действия по доработке определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости S, возникновения O и обнаружения D для нового предложенного варианта конструкции и (или) производственного процесса. Следует проанализировать новый предложенный вариант и подсчитать и записать значение нового ПЧР по схеме в соответствии с рисунком 1.

Все новые значения ПЧР следует рассмотреть и если необходимо дальнейшее их снижение, повторить предыдущие действия.

6.5.11 Ответственный за разработку конструкции и (или) производственного процесса инженер должен подтвердить, что все предложения членов команды по доработке были рассмотрены.

6.5.12 В конце работы FMEA-команды должен быть составлен и подписан протокол, в котором отражают основные результаты работы команды, включающие, как минимум:

- состав FMEA-команды;
- описание технического объекта и его функций;

- перечень дефектов и (или) причин для первоначально предложенного варианта конструкции и (или) производственного процесса:
- экспертные баллы S, O, D и ПЧР для каждого дефекта и причины первоначально предложенного варианта конструкции и (или) технологического процесса;
- предложенные в ходе работы FMEA-команды корректирующие действия по доработке первоначально предложенного варианта конструкции и (или) производственного процесса;
- экспертные баллы S, O, D и ПЧР для каждого дефекта и причины доработанного варианта конструкции и (или) производственного процесса.

Рекомендуемая форма протокола приведена в приложении А.

6.5.13 При необходимости к протоколу работы FMEA-команды прилагают соответствующие чертежи, таблицы, результаты расчета и т. д.

7 Критерии для оценки комплексного риска ДЕФЕКТА

7.1 В соответствии с методикой, изложенной в разделе 6, каждый дефект и причину дефекта оценивают экспертно по трем критериям:
- значимость;
- вероятность возникновения;
- вероятность обнаружения.

Примечание — Члены FMEA-команды должны иметь единое мнение по системе и критериям экспертных оценок. Эти критерии и шкалы оценок должны оставаться постоянными при модификации конструкции и производственного процесса.

7.2 При выставлении членами FMEA-команды балла значимости дефекта S за основу могут быть взяты приведенные ниже таблицы 1 и 2 для DFMEA и PFMEA соответственно.

До начала работы FMEA-команд эти таблицы должны быть пересмотрены и изложены с учетом специфики данного предприятия. Возможна разработка нескольких таблиц для различных видов конструкций и производственных процессов.

При составлении таких таблиц следует иметь в виду, что по мере снижения значимости дефектов при описании последствий следует переходить от терминов безопасности и экологии к терминам утраты основных функций объекта, далее к терминам потерь (на устранение дефекта и др.), далее к терминам неудовольствия/неудобства потребителя, включая в число потребителей и персонал, участвующий в процессе изготовления, а также персонал, обслуживающий технический объект в эксплуатации.

Примечание — Экономические потери рекомендуется соизмерять со стоимостью самого технического объекта.

Таблица 1 — Рекомендуемая шкала баллов значимости S для FMEA конструкции

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
Опасное без предупреждения	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	Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального 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

Окончание таблицы 1

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
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 дефекта S для FMEA производственного процесса

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

Окончание таблицы 2

Последствие	Критерий значимости последствия	Балл S
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

7.3 При экспертном выставлении балла возникновения О за основу могут быть взяты приведенные ниже таблицы 3 и 4 для DFMEA и PFMEA соответственно.

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 О является индекс C_{pk}, приведенный в таблице 4.

Примечание — 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

$$C_{pk} = \frac{\min\left\{(U - \bar{\bar{X}}); (\bar{\bar{X}} - L)\right\}}{3\,\hat{\sigma}_I}, \qquad (2)$$

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

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

$\hat{\sigma}_I$ — оценка стандартного отклонения процесса.

В любом случае при выставлении баллов возникновения О члены FMEA-команды должны рассмотреть следующие вопросы:

Каков опыт эксплуатации и обслуживания подобного технического объекта/производственного процесса?

Заимствован ли (подобен ли) технический объект/производственный процесс из применяемых ранее?

Насколько значительны изменения конструкции и (или) производственного процесса по сравнению с предыдущими?

Отличаются ли компоненты радикально от предыдущих?

Таблица 3 — Рекомендуемая шкала для выставления балла возникновения О (FMEA конструкции)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	Балл О
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2 » 1 из 3	10 9
Высокая: повторяющиеся дефекты	Более 1 из 8 » 1 из 20	8 7
Умеренная: случайные дефекты	Более 1 из 80 » 1 из 400 » 1 из 2000	6 5 4
Низкая: относительно мало дефектов	Более 1 из 15000 » 1 из 150000	3 2
Малая: дефект маловероятен	Менее 1 из 1 500 000	1

Таблица 4 — Рекомендуемая шкала для выставления балла возникновения О (FMEA процесса)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	Индекс C_{pk}	Балл О
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2 » 1 из 3	Менее 0,33 » 0,33	10 9
Высокая: ассоциируется с аналогичными процессами, которые часто отказывают	Более 1 из 8 » 1 из 20	Менее 0,51 » 0,67	8 7
Умеренная: в общем ассоциируется с предыдущими процессами, у которых наблюдались случайные дефекты, но не в большой пропорции	Более 1 из 80 » 1 из 400 » 1 из 2000	Менее 0,83 » 1,00 » 1,17	6 5 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

7.4 При выставлении балла обнаружения D за основу могут быть взяты приведенные ниже таблицы 5 и 6 для DFMEA и PFMEA соответственно.

При проведении PFMEA и использовании таблицы 6 учитывают дефекты производственного процесса и возможность их обнаружения предполагаемыми методами и средствами контроля.

В основе выставления оценок обнаружения D лежит предыдущий опыт членов FMEA-команды по возможностям обнаружения аналогичных причин дефектов при соответствующих методах обнаружения, заложенных в производственный процесс.

Таблица 5 — Рекомендуемая шкала для выставления балла обнаружения D (FMEA конструкции)

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 для выставления балла обнаружения D (FMEA процесса)

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

7.5 В приведенных таблицах 1—6 использованы дискретные балльные оценки S, O, D. Для конкретных технических объектов и процессов возможно использование непрерывных шкал, например в виде графиков или формул. Значения балльных оценок при этом не должны заметно отличаться от приведенных в соответствующих таблицах.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Форма протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов

Объект анализа _____

Вид изделия, год выпуска _____

Изготовитель конечной продукции _____

Область применения:

проектирование ☐ конструкции ☐

совершенствование ☐ технологического процесса ☐

управление несоответствующей продукцией ☐

Служба, ответственная за проведение FMEA _____

Планируемые сроки проведения FMEA:

начало _____ окончание _____

Действительные сроки проведения FMEA:

начало _____ окончание _____

Код/номер протокола FMEA

Стр. _____ из _____

Руководитель группы _____

Члены команды _____

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 намеченная дата	Результаты работы				
											Предпринятые действия (изменения)	Новые значения баллов			
												S	O	D	ПЧР

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

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.

Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (см. приложение А) приведен в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Течь в соединении	1 Загрязнение окружающей среды	10	1 Разрушение седла соединения	8	Визуально	9	720
	2 Снижение эффективности рулевого управления	8	2 Отклонение геометрии трубки шланга или седла	7	Специальные измерители	6	420
	3 Снижение удобства управления	7	3 Затруднен доступ к накидной гайке в автомобиле	9	Динамометрический ключ	7	630

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

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Течь в соединении	1 Загрязнение окружающей среды	10	1 Отклонение геометрии торцевого соединителя или плоскости соединения на насосе	3	Визуально плюс приспособления	2	60
	2 Снижение эффективности рулевого управления	8	2 Недостаточный момент затяжки	2	Динамометрический ключ	3	60
	3 Снижение удобства управления	7	3 Недостаточный отжиг медных шайб	2	Выборочно на приспособлении	2	40

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 эксцентриком с рукояткой; для надежности фиксации на сопрягаемых плоскостях (кронштейна и обоймы рулевой колонки) предлагалась насечка.

Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (см. приложение А) приведен в таблице Б.3.

Таблица Б.3

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Плохая фиксация колонки	1 Возможность фиксации не в любом положении	7	1 Заниженная твердость насечки	5	Выборочный контроль твердости	4	200
	2 Внезапное изменение положения колонки при резком повороте руля	10	2 Износ насечки при частых регулировках	7	Динамометрический ключ	10	700

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.

Таблица Б.4

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Плохая фиксация колонки	1 Внезапное изменение положения колонки при резком повороте руля	10	1 Занижен коэффициент трения фрикционных накладок	4	Контроль при сборке автомобиля на усилие сдвига колонки при специально не полном зажиме	2	80
	2 Затрудненное регулирование положения колонки при отслоении фрикционной накладки	7	1 Отслоение накладок из-за нарушения технологии наклейки	5	Выборочный контроль на отрыв	5	175

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.

Фрагмент протокола анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов (см. приложение А) приведен в таблице Б.5.

Таблица Б.5

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Первоначально предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Образование тонкой стенки цилиндра	1 Разрушение цилиндра при резком и сильном торможении	10	1 Зажим заготовки со смещением	3	Визуальный контроль	8	240
			2 Заготовки с заниженными механическими свойствами	3	Контроль партии отливок по образцу-эталону механических свойств	5	150

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.

Таблица Б.6

Вид потенциального дефекта	Последствие потенциального дефекта	Балл S	Потенциальная причина дефекта	Балл O	Предложенные меры по обнаружению дефекта	Балл D	ПЧР
Образование тонкой стенки цилиндра	1 Разрушение цилиндра при резком и сильном торможении	10	1 Зажим заготовки со смещением	2	Статистический контроль при гидравлических испытаниях	2	40
			2 Заготовки с заниженными механическими свойствами	3	То же	2	60

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

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(справочное)

Библиография

1 QS-9000 Требования к системам качества/Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. 3-е издание, март 1998 г.

2 FMEA «Анализ видов и последствий потенциальных отказов»/Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. 2-е издание, февраль 1995 г.

УДК 658.51:658.662.4:621:005:006.354 ОКС 03.120.30 Т59 ОКСТУ 0011

Ключевые слова: технический объект; производственный процесс; дефект; отказ; метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов; межфункциональная команда; системы качества в автомобилестроении

Редактор *Т.С. Шеко*
Технический редактор *Л.А. Гусева*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *С.В. Рябовой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 18.10.2001. Подписано в печать 15.11.2001. Усл.печ.л. 2,79. Уч.-изд.л. 2,05.
Тираж 499 экз. С 2821. Зак. 1061.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
gost.e-ecolog.ru e-mail: gost.e-ecolog.ru
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102

gost.e-ecolog.ru