

УДК 005.63 : 629.083

РОЛЬ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ FMEA В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ APQP

© 2025 А.С. Подгорний, В.Н. Козловский, Д.И. Панюков

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 01.04.2025

В статье проводится анализ системных связей, действующих на уровне реализации методологии анализа причин и последствий потенциальных отказов (FMEA) при реализации инструментов планирования качества продукции (APQP).

Ключевые слова: конкурентоспособность; качество; стандартизация; автомобиль.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-34-42

EDN: EUTEVM

Одним из важнейших аналитических методов управления качеством и рисками при создании нового продукта является метод FMEA, который фактически применяется на всех стадиях APQP. В автотроме метод FMEA изначально и разрабатывался как часть системного подхода, и его необходимо применять на соответствующих стадиях жизненного цикла продукции с целью всестороннего и полного анализа рисков проекта и недопущению этих рисков для потребителя в готовом продукте [1, 3].

Таким образом, метод FMEA следует применять на следующих этапах APQP:

- разработки концепции системы (SFMEA или FMEA системы) – 1 этап;
- разработки конструкции (DFMEA или FMEA конструкции) – 2 этап;
- разработки производственного процесса (PFMEA или FMEA процесса) – 3 этап;
- серийное производство и эксплуатация (RFMEA или обратный FMEA – 5 этап).

Если наложить место на временной график APQP-процесса, то можно увидеть тотальность применения этого метода на всем протяжении работ по осуществлению новых проектов (рисунок 1).

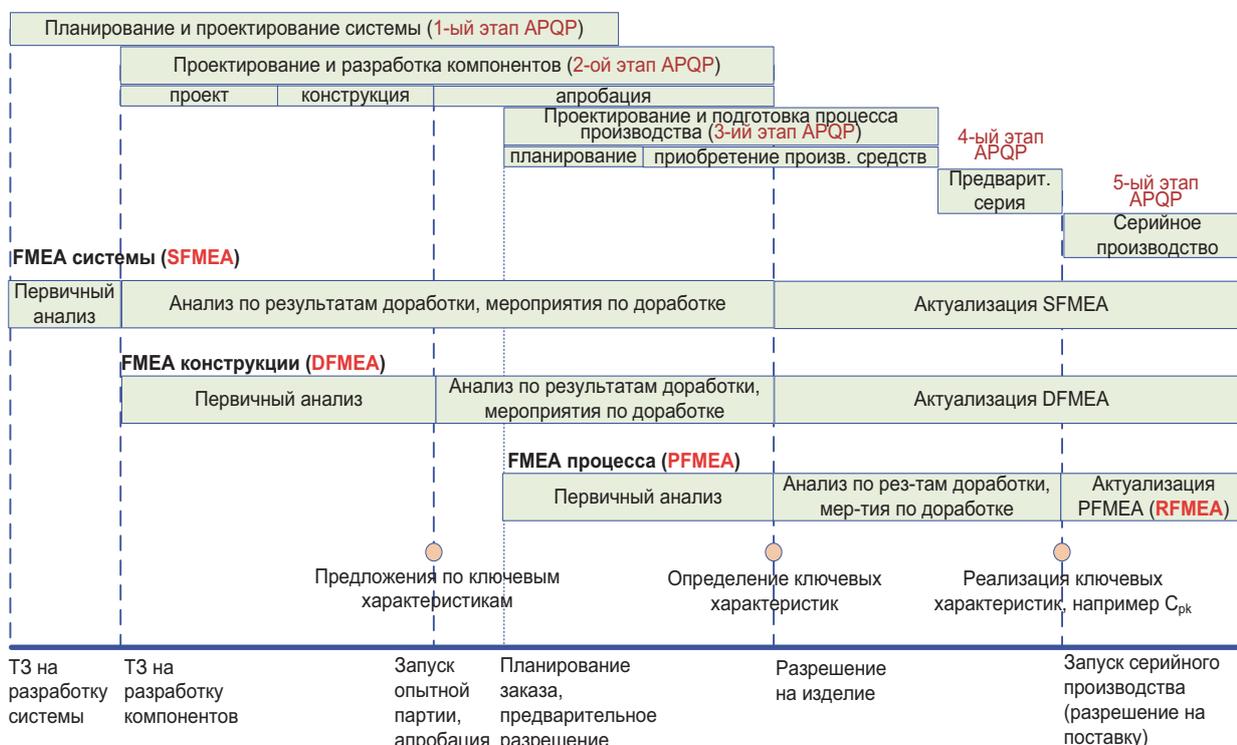


Рисунок 1 – Место методологического инструментария FMEA в APQP-процессе

Подгорний Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru

Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой.

E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

Панюков Дмитрий Иванович, доктор технических наук, профессор. E-mail: panyukov.di@samgtu.ru

Если рассмотреть стандартный набор фаз любого проекта и обозначить место в них FMEA различного вида, то можно увидеть (рисунок 2), что этот метод применяется как на этапе планирования концепции изделия и анализе проекта, потом на этапе проектирования и отработки конструкции, и далее на этапе проектирования и отработки процесса производства [2, 4 – 6]. Фактически, FMEA является одним из основных валидирующих методов для этих стадий проекта. Кроме того, метод FMEA применяется фактически как фильтр для потенциальных дефектов, применяемый при любых изменениях в действующей конструкции и процессах производства.

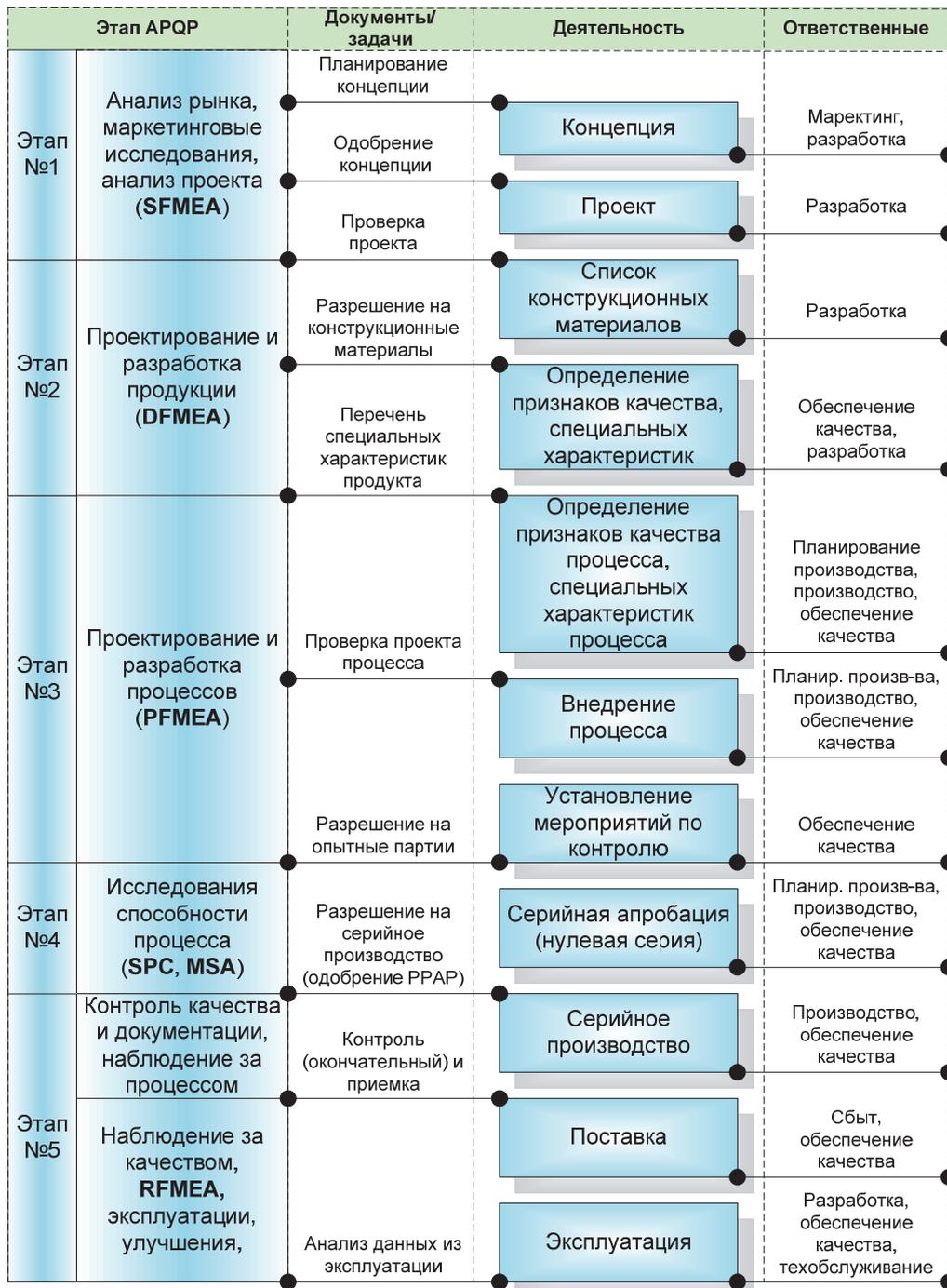


Рисунок 2 – Схема этапов жизненного цикла проекта с учетом FMEA

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ FMEA

Анализ видов и последствий отказов системы (SFMEA, FMEA системы) – это способ проверить, как разные части системы работают вместе и взаимодействуют между собой.

Такой анализ выполняют после того, как основная идея системы уже готова и понятна. Для конкретных проектов его проводят после того, как описаны все функции системы, и лучше сделать это до начала работы над отдельными новыми элементами и их детальным анализом.

Этот подход помогает избежать проблем при разработке системы и предотвратить возможные неполадки в будущем [1, 7]. Интересно, что в официальном руководстве по FMEA от AIAG/VDA такой вид анализа отдельно не рассматривается. По сути, он похож на анализ отдельных компонентов (DFMEA), но проводится на более глобальном уровне, охватывая всю систему целиком [8].

Анализ видов и последствий отказов конструкции (DFMEA, FMEA конструкции) является формализованной процедурой инжиниринга, направленной на оценку проектных решений и их оптимизацию в ходе взаимодействия межфункциональной FMEA-команды специалистов. Данный метод применяется на стадии конструкторской разработки изделия до начала изготовления опытных образцов и проведения испытаний [2, 9].

Методология DFMEA обеспечивает:

- предотвращение внедрения в производство недостаточно проработанных конструкторских решений;
- оптимизацию проектных характеристик технического объекта;
- внедрение превентивных мер в производственный процесс;
- минимизацию комплексного риска возникновения дефектов.

Процедура реализуется посредством:

- коллективной экспертизы разнопрофильных специалистов, т.е. DFMEA-команды;
- комплексного учета технологических требований к компонентам и сборке;
- детального анализа потенциальных дефектов и их последствий;
- разработки эффективных методов испытаний конструкции;
- формирования приоритетного списка корректирующих мероприятий по снижению риска;

Завершение всех DFMEA-процедур является обязательным условием для получения одобрения конструкции и запуска изделия в производство.

В процессе выполнения DFMEA производится декомпозиция и анализ функциональных элементов на различных иерархических уровнях – система, подсистема, компонент. Границы анализа определяются согласно функциональной блок-схеме объекта исследования. При этом осуществляется детальное изучение:

- внутренних взаимосвязей между базовыми элементами;
- интерфейсов с внешними компонентами;
- точек взаимодействия с окружающей средой.

Функциональная декомпозиция реализуется по принципу каскадирования:

- системный уровень обеспечивает реализацию заданных функций объекта;
- подсистемы реализуют промежуточные функциональные требования;
- компоненты выполняют базовые функции.

Важно отметить, что методология DFMEA допускает:

- проведение анализа на любом уровне иерархии;
- возможность выделения отдельного метода SFMEA (о чем говорилось выше);
- комплексную оценку интерфейсов взаимодействия – важнейший момент, связанный с темой исследования.

исследования.

При этом учитываются все заинтересованные стороны:

- производственный персонал (сборщики узлов и систем);
- конечный потребитель;
- сервисные службы;
- эксплуатационный персонал.

Такой многоуровневый подход обеспечивает всестороннюю оценку потенциальных рисков на всех этапах жизненного цикла изделия. При этом все действия, вытекающие из DFMEA, могут быть использованы для рекомендаций по внесению изменений в конструкцию, дополнительным испытаниям и другим действиям, которые снижают риск отказа или повышают способность контроля обнаруживать отказы до постановки конструкции на производство.

Анализ видов и последствий отказов процесса (PFMEA, FMEA процесса) представляет из себя метод оценки производственных процессов и их оптимизации в рамках работы специализированной PFMEA-команды. Анализ выполняется на стадии разработки производственных операций одновременно с составлением плана управления процессом и планированием производственной инфраструктуры, предшествуя запуску серийного производства.

Ключевые различия между DFMEA и PFMEA:

- DFMEA фокусируется на проектных рисках изделия;
- PFMEA направлен на выявление производственных рисков;
- DFMEA анализирует потенциальные отказы на этапе проектирования;
- PFMEA исследует риски производственных, сборочных и логистических процессов.

Методология PFMEA включает:

- идентификацию потенциальных отказов, возникающих вследствие вариаций процесса;
- определение приоритетности превентивных мероприятий;
- оптимизацию систем контроля и методов обнаружения дефектов.

Основная цель PFMEA – это:

- предотвращение внедрения недостаточно отлаженных производственных процессов;
- минимизация рисков, связанных с производством и сборкой;
- исключение возможных последствий производственных и сборочных дефектов;
- обеспечение соответствия выпускаемой продукции конструкторской документации.

Результатом успешного применения PFMEA является:

- оптимизированная производственная документация;
- внедрение эффективных методов контроля;
- снижение вероятности возникновения дефектов;
- повышение качества выпускаемой продукции.

Обратный FMEA (Reverse FMEA или R-FMEA) не является отдельным видом FMEA, как, например, PFMEA или DFMEA, он представляет собой методику поддержания и совершенствования существующих FMEA. Но такое выделение метода важно для понимания его роли, как инструмента по постоянному улучшению действующего производства.

Основные характеристики R-FMEA:

- реализация в условиях реального производства;
- проведение межфункциональной командой непосредственно на рабочем месте;
- периодическое обновление существующей FMEA-документации;

Этапы проведения R-FMEA:

- Анализ текущего состояния производственного процесса.
- Сопоставление фактического процесса с описанным в НТД.
- Выявление отклонений и изменений.
- Проверка реализации первоначальных рекомендаций.
- Оценка эффективности внедренных мер.
- Анализ достигнутых результатов.
- Обновление FMEA-документации.
- Актуализация карт потока процесса.
- Корректировка планов управления.
- Обновление рабочих инструкций.

Преимущества применения R-FMEA:

- Сохранение и систематизация производственного опыта
- Постоянное улучшение процессов
- Снижение рисков и затрат
- Формирование структурированной базы знаний

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛА PDCA В FMEA

Важно отметить, что R-FMEA является «живым» документом, требующим регулярного обновления на протяжении всего жизненного цикла продукции, начиная от серийного производства и до его завершения.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ АНАЛИЗА ОТКАЗОВ В РАМКАХ FMEA

Основой анализа отказа в FMEA является причинно-следственный подход, который применяется в отношении конкретного вида отказа из перечня видов отказов, который определяется для всех элементов анализируемой иерархической системы. В стандарте ГОСТ Р 51901.12-2007 приведена схема, достаточно наглядно демонстрирующая взаимосвязь иерархической структуры анализируемой системы и структуры отказа (рисунок 3). На этой схеме представлена структура системы и соотношение с ней вида отказа, его последствий и причин, что позволяет проследить взаимосвязь этих параметров отказа между собой, но не очень наглядно. Для удобства представления того, как осуществляется оценка риска отказа, оторвем структуру отказа от структуры системы и представим ее отдельно во временном аспекте (рисунок 4).

Структура отказа представляет из себя диаграмму по типу диаграммы «галстук-бабочка». В центре располагается вид отказа, от которого справа расходятся последствия вида отказа, которые с определенной значимостью влияют на разные группы потребителей (внутренних, сборщика, ко-

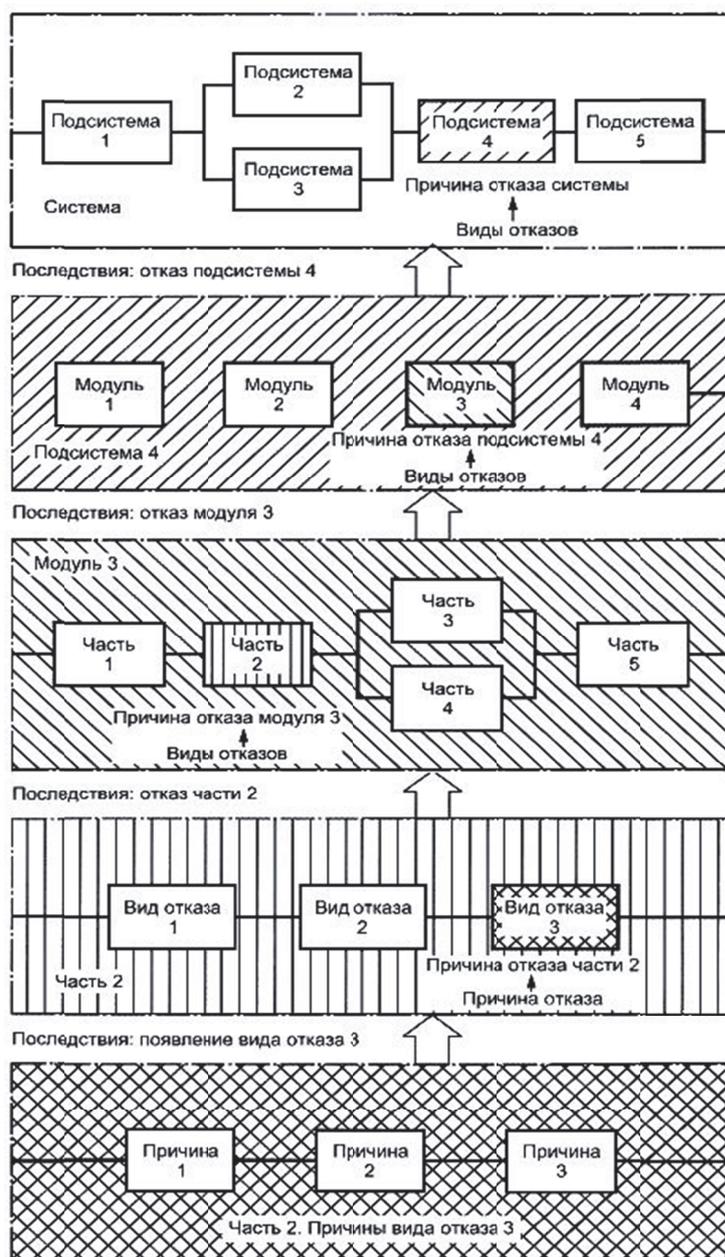


Рисунок 3 – Взаимосвязь видов и последствий отказов в иерархической структуре системы (рисунок из стандарта ГОСТ Р 51901.12-2007)

нечного потребителя), а слева расположена сеть причин отказа, приводящая к запуску механизма отказа и возникновению самого вида отказа. Эта структура распределена во времени, т.к. по своей сути представляет из себя причинно-следственные цепочки явлений, которые в какой-то момент времени (t_{ON}) сходятся в одной точке, в момент возникновения вида отказа.

Опираясь на рисунок 4, опишем основные действия в рамках FMEA. За основу возьмём стандарт ГОСТ Р 27.303-2021 «Надежность в технике. Анализ видов и последствий отказов», руководство по FMEA от AIAG/VDA [1] и работы [2, 10].

Полный цикл применения FMEA включает в себя следующие основные этапы:

- Планирование применения FMEA в рамках общей процедуры APQP.
- Планирование и подготовка процедуры.
- Структурный и функциональный анализ объекта исследования.
- Оценка рисков объекта исследования.
- Разработка и внедрение мер по снижению рисков.
- Отчет по результатам FMEA (завершение текущей процедуры).
- Пересмотр FMEA.

Нас в наибольшей степени сейчас интересуют этапы 3-5, в рамках которых и осуществляется основной набор действий по анализу и доработке объекта до приемлемого уровня риска (таблица 1).

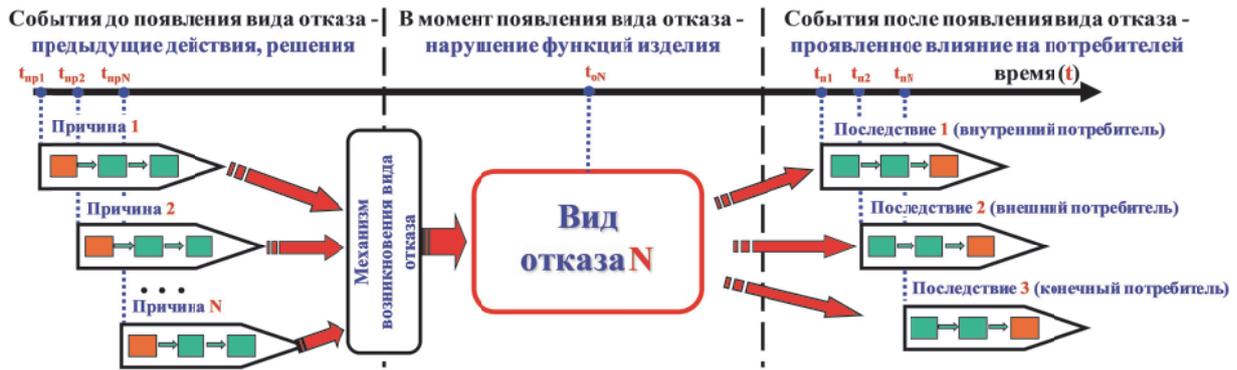


Рисунок 4 – Структура вида отказа в FMEA на основе причинно-следственного подхода

Таблица 1 – Задачи основных аналитических этапов метода FMEA [2]

№	Этап	Задачи (подэтапы)
3.	Структурирование и функциональный анализ	<ul style="list-style-type: none"> Ознакомление с предложенными проектами конструкции или технологического процесса. Определение границ системы и уровней анализа. Структурирование объекта анализа – блок-схемы, параметрические схемы, карты потока и т.п. Нумерация и обозначение компонентов или технологических операций. Определение функций, параметров, показателей качества объекта анализа. Анализ функциональных и иных требований. Сопоставление функций и требований. Формирование структуры функций и требований к системе (в т.ч. визуализация).
4.	Оценка рисков	<ul style="list-style-type: none"> Составление перечня потенциальных отказов на основе функционального анализа. Анализ вида отказа. Определение последствий и причин отказов. Определение мер по предупреждению и обнаружению отказов, запланированных к применению для данного проекта. Определение и оценка для каждого отказа: значимости последствий отказов (S); вероятности возникновения отказов/причин (O); вероятности обнаружения отказов/причин (D). Определение приоритета действий (AP) или расчет приоритетного числа риска отказов/причин (ПЧР) и определение приемлемости риска. Оценивание риска. Решение на основе матрицы приоритетов действий или ранжирование отказов/причин по степени приемлемости риска (в соответствии с согласованной с заказчиком шкалой/матрицей). Решение о доработке/корректировке объекта анализа по результатам приоритизации риска отказов/причин. Формирование протокола FMEA по всему перечню видов отказов.
5.	Разработка и внедрение мер по снижению рисков	<ul style="list-style-type: none"> Разработка мер по снижению риска. Оценка возможностей снижения баллов S, O, D и выработка рекомендаций по корректировке/доработке объекта анализа по выбранным отказам/причинам для снижения риска до приемлемого уровня. Планирование мер по снижению риска. Определение ответственных и сроков реализации улучшений. Внедрение мер по снижению риска. Передача разработчику объекта анализа результатов FMEA. Разработка конкретных мероприятий по улучшению на основе рекомендаций FMEA-команды (меры, ответственность и сроки). Реализация мероприятий по улучшению. Подготовка отчетов по результатам изменений объекта анализа и передача FMEA-команде. Анализ эффективности внедренных мер. Анализ улучшенного варианта объекта анализа. Повторная оценка риска (определение AP или ПЧР) для отказов/причин, в отношении которых вводились мероприятия по улучшению – анализ эффективности мероприятий. Заполнение FMEA-протокола, если по всем отказам/причинам риск приемлем, иначе возврат на этап 3.

РОЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Важную роль в рамках применения метода FMEA играет функциональный анализ, которые позволяет на основе структурного анализа объекта сформировать исчерпывающий и взаимосвязанный набор его функций и описать требования к выполнению этих функций.

Именно в рамках функционального анализа можно последовательно рассмотреть все компоненты объекта, изучить их связи между собой и внешними средами, в том числе другими узлами и подсистемами, если речь идет о сложном объекте, таком как автомобиль. Команда по проекту должна четко понимать, как конкретно должен функционировать конкретный компонент, узел, подсистема и система автомобиля, все функции должны быть четко сформулированы, эффективность их выполнения должна быть явно определена, причем количественно. Все эти действия позволяют составить полный перечень функциональных требований, в который должны войти все нормативные требования и ожидания потребителей. Это в полной мере касается и требований в отношении электромагнитной совместимости, так как конечный результат производства в виде такого сложного объекта, как автомобиль, должен каждым своим компонентом, который входит в соответствующий узел и далее в соответствующую систему, функционировать так, чтобы не выходить из строя самому или не влиять негативно на соседние компоненты и узлы, при наличии внешних электромагнитных воздействий.

Таким образом, на данной стадии также очень важно учесть все аспекты, связанные с ЭМС, при формулировании функций и требований к ним, чтобы в дальнейшем иметь возможность системно управлять данным свойством автомобиля, как при его проектировании, так и при производстве и сборке.

ПОРЯДОК АНАЛИЗА РИСКОВ В РАМКАХ FMEA

Алгоритм анализа и оценки рисков в рамках FMEA достаточно прост – последовательно элемент за элементом объекта анализа идентифицируются отказы на основе результатов функционального анализа, т.е. соответствующего перечня функций и требований к каждому элементу. После выявления всех возможных отказов осуществляется последовательный анализ рисков каждого отказа с выявлением цепочки последствий от возникновения отказа и цепочки причин, приводящих к нему.

Все выявленные последствия отказа записываются (рассматриваются все возможные уровни проявления последствий) и оценивается их значимость (ранг/балл значимости S) по максимальной из оценок среди всех выявленных последствий. Для этого применяются специальные критериальные таблицы с десятибалльной шкалой оценки ($S=1$, когда нет последствий и $S=10$, когда последствия связаны с риском для жизни участников движения). Эти таблицы с критериями оценки значимости в общем виде являются универсальными, но в разрезе управления ЭМС команда экспертов должна обязательно иметь в виду в том числе и последствия, связанные с влиянием э/м излучения как на другие системы автомобиля и далее на водителя и пассажиров, так и на внешнюю среду и других участников движения. Если э/м воздействия приводит к отказу какой-либо электронной системы, которая связана с обеспечением безопасности, например тормозная или рулевая системы, то последствие в таком случае может быть связано с жизнью и здоровьем участников движения, а значит, в этом случае необходимо балл значимости S выбирать равным 10.

Важнейшим этапом анализа далее является анализ причин отказа, с последующей оценкой вероятности возникновения отказа по каждой отдельной вызывающей его причине. Данные оценки базируются на данных по отказам из эксплуатации и результатах испытаний аналогичных компонентов и систем. Данные по отказам используются для определения балла возникновения O , для чего также используются специальные таблицы с критериями на основе диапазонов частот возникновения отказов. На величину балла возникновения также влияют меры по предупреждению отказов, которые в плановом порядке используются производителем для предотвращения возможных отказов при проектировании продукта и в процессе его производства. Данные меры позволяют достаточно сильно снизить вероятность возникновения конкретного отказа, если они изначально для этого предназначены, т.е. фактически снизить значение балла возникновения O .

Третьим элементом, который используется для комплексной оценки риска в FMEA, является оценка возможности выявления исследуемого отказа или его причин запланированными мерами по обнаружению, например, в случае DFMEA это могут быть испытания различного вида, в том числе испытания материалов, отдельных узлов и прототипа автомобиля. В рамках PFMEA мерами по обнаружению являются различные виды контроля и инспекционных испытаний. В FMEA для оценки вероятности обнаружения используется балл обнаружения D , которые также как другие баллы оцениваются в диапазоне от 1 (обнаружит наверняка) до 10 (невозможно обнаружить или нет мер по обнаружению). Именно совершенство действующих мер по обнаружению определяет на величину балла обнаружения. Это касается как вида метода контроля или испытаний (визуальный контроль, инструментальный ручной контроль, автоматизированная система контроля), так и его уровня со-

вершенства как такого (измерение обычным микрометром или электронным, обычная автоматизированная система или усовершенствованная новейшими разработками). Именно в этой области также возможно снижения риска отказов в области ЭМС автомобиля, как раз за счет совершенствования методов испытаний на ЭМС как с инструментальной точки зрения, так и с методической.

Таким образом, оценив три компонента риска – значимость отказа по последствиям S , вероятность возникновения отказа по каждой из причин O и вероятность обнаружения отказа или его причин D , мы сможем дать оценку общей величине риска конкретного отказа. В зависимости от выбранного метода мы или вычисляем приоритетное число риска ПЧР = $S \cdot O \cdot D$ и потом сравниваем его с приемлемым (граничным) значением ПЧР_{гр.}, либо используем подход из руководства по FMEA от AIAG/VDA и на основе специальной таблицы критериев определяем приоритет действий (AP – action priority), который состоит из трех уровней – высокий, средний и низкий (таблица 2).

Таблица 2 – Меры реагирования команды экспертов, в зависимости от ранга приоритета действий

Ранг приоритета действий (AP)	Меры реагирования
Высокий приоритет (H)	Команде требуется либо определить соответствующие действия по улучшению мер или средств по предупреждению и/или обнаружению, либо обосновать и задокументировать, почему существующие меры управления можно считать адекватными.
Средний приоритет (M)	Команде рекомендуется либо определить соответствующие действия по улучшению мер или средств по предупреждению и/или обнаружению либо, по усмотрению компании, обосновать и задокументировать, почему меры управления являются адекватными.
Низкий приоритет (L)	Команда могла бы определить действия по улучшению мер профилактики или контроля обнаружения.

При комплексной оценке параметров значимости, вероятности возникновения и вероятности обнаружения, соответствующей уровню приоритета «H» (высокий), требуется незамедлительное внедрение корректирующих мероприятий для анализируемого объекта с целью минимизации рисков. Это включает разработку и реализацию мер по устранению причин отказа.

В случае определения приоритета «M» (средний), реализация корректирующих мероприятий в отношении причин отказа рекомендуется, но не является обязательной.

При присвоении приоритета «L» (низкий) решение о проведении корректирующих действий принимается на усмотрение эксплуатирующей организации.

Таким образом, чтобы снизить риск до уровня L или ПЧР_{гр.} Необходимо снизить одну или несколько определяющих его значение баллов S , O и D , а это в свою очередь означает либо изменение предложенных на момент анализа конструкции или процесса, либо совершенствование методов обнаружения, т.е. методов испытаний и контроля. Важно отметить, что наиболее правильно будет в первую очередь постараться устранить или снизить риск отказа за счет изменения объекта анализа (причем снижение значимости отказа по его последствиям наиболее предпочтительно, хотя и влечет за собой обычно внедрение каких либо защитных элементов в конструкции или в процессе, что приводит к удорожанию проекта), а уже потом искать возможности улучшения мер по обнаружению, что тоже может помочь, но при этом вероятность возникновения отказа не снижает, а только позволяет с большей вероятностью обнаруживать отказ, что также обычно ведет к общему удорожанию проекта. Всё это в полной мере касается отказов, связанных с воздействием э/м излучения на электронные системы автомобиля и его ЭМС, где также есть два основных пути снижения риска – совершенствование конструкции (использование новых материалов, внесение в конструкцию новых элементов защиты, использование более современной элементной базы и т.п.) и совершенствование методов испытаний и контроля.

СХЕМА УЧЕТА И УТОЧНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В DFMEA И PFMEA

Контроль и испытания на стадии проектирования и в серийном производстве планируются на основе разработанного на этапе №1 APQP предварительного перечня специальных характеристик продукта и процесса, который уточняется на всех последующих стадиях APQP вплоть до этапа №5 «Серийное производство». В основном это уточнение осуществляется на этапах, связанных разработкой и проектированием (этапы №2 и №3 APQP), как раз в рамках проведения DFMEA и PFMEA. В рамках проведения анализа рисков специальные характеристики специальным образом прослеживаются (отмечаются в протоколах анализа специальным знаком) и на них обращают особое вни-

мание при проведении оценки значимости последствий S, а также баллов возникновения O и обнаружения D. Приоритетной задачей является максимальное снижение риска в отношении отказов, связанных со специальными характеристиками, что как раз и достигается способами, указанными выше. Важно отметить, что выбор специальных характеристик на этапе №1 APQP тесно связан с теми входными данными, которые мы изучаем при формировании целей разработки по надежности и качеству продукта, в том числе берем эти данные на основе предыдущего опыта, например, из опыта эксплуатации аналогичных продуктов, а также из различных нормативных требований в отношении различных характеристик продукта, в т.ч. по безопасности и электромагнитной совместимости (Правила R10, Правила 116, ISO 11451-1, ISO 11451-2 и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Failure Mode and Effects Analysis. FMEA Handbook. – First Edition. – Michigan: AIAG, 2019. – 236 с.
2. Панюков, Д.И. Фундаментальные основы FMEA для автомобилестроения : монография / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский. – Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2014. – 150 с.
3. Козловский, В.Н. Цифровизация и проблемы трудовых коллективов: роли и ответственность / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, Д.И. Панюков, Р.Р. Гафаров // Стандарты и качество. – 2022. – № 1. – С. 94-98.
4. Козловский, В.Н. Мониторинг удовлетворенности потребителей качеством автомобилей / В.Н. Козловский, Д.В. Антипов, Д.И. Панюков // Стандарты и качество. – 2016. – № 6. – С. 100-105.
5. Николаев, П.А. Оценка соответствия автомобилей требованиям помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, А.С. Подгорный // Грузовик. – 2017. – № 10. – С. 44-48.
6. Николаев, П.А. Многофакторная оценка влияния дорожной обстановки на помехоустойчивость бортового электротехнического комплекса автомобилей / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, А.С. Подгорный, А.С. Саксонов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2022. – № 1. – С. 36-41.
7. Панюков, Д.И. Моделирование процедуры FMEA: анализ рисков / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 9. – С. 34-43.
8. Панюков, Д.И. Программное обеспечение для поддержки метода FMEA / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров // Методы менеджмента качества. – 2019. – № 6. – С. 42-49.
9. Панюков Д.И. Формирование эффективной FMEA-команды / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, С.А. Шанин // Стандарты и качество. – 2017. – № 7. – С. 68-72.
10. Панюков, Д.И. Эффективное применение метода анализа видов, последствий и причин потенциальных дефектов (FMEA) в автомобилестроении: монография / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский. – Самара, 2016.

THE ROLE OF THE FMEA METHODOLOGICAL TOOL WITHIN THE FRAMEWORK OF APQP

© 2025 A.S. Podgorny, V.N. Kozlovsky, D.I. Panyukov

Samara State Technical University Samara, Russia

The article analyzes the systemic relationships operating at the level of implementation of the methodology for analyzing the causes and consequences of potential failures (FMEA) in the implementation of product quality planning tools (APQP).

Keywords: competitiveness; quality; standardization; automobile.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-34-42

EDN: EUTEVM

REFERENCES

1. Failure Mode and Effects Analysis. FMEA Handbook. – First Edition. – Michigan: AIAG, 2019. – 236 с.
2. Panyukov, D.I. Fundamental'nye osnovy FMEA dlya avtomobilestroeniya : monografiya / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij. – Samara: Izdatel'stvo SamNC RAN, 2014. – 150 s.
3. Kozlovskij, V.N. Cifrovizaciya i problemy trudovyh kollektivov: roli i otvetstvennost' / V.N. Kozlovskij, D.I. Blagoveshchenskij, D.I. Panyukov, R.R. Gafarov // Standarty i kachestvo. – 2022. – № 1. – S. 94-98.
4. Kozlovskij, V.N. Monitoring udovletvorennosti potrebitel'ej kachestvom avtomobilej / V.N. Kozlovskij, D.V. Antipov, D.I. Panyukov // Standarty i kachestvo. – 2016. – № 6. – S. 100-105.
5. Nikolaev, P.A. Ocenka sootvetstviya avtomobilej trebovaniyam pomexoustojchivosti k vneshnim elektromagnitnym vozdejstviyam / P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskij, A.S. Podgornij // Gruzovik. – 2017. – № 10. – S. 44-48.
6. Nikolaev, P.A. Mnogofaktornaya ocenka vliyaniya dorozhnoj obstanovki na pomexoustojchivost' bortovogo elektrotekhnicheskogo kompleksa avtomobilej / P.A. Nikolaev, V.N. Kozlovskij, A.S. Podgornij, A.S. Saksonov // Elektronika i elektrooborudovanie transporta. – 2022. – № 1. – S. 36-41.
7. Panyukov, D.I. Modelirovanie procedury FMEA: analiz riskov / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij, D.V. Ajdarov // Metody menedzhmenta kachestva. – 2019. – № 9. – S. 34-43.
8. Panyukov, D.I. Programmnoe obespechenie dlya podderzhki metoda FMEA / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij, D.V. Ajdarov // Metody menedzhmenta kachestva. – 2019. – № 6. – S. 42-49.
9. Panyukov D.I. Formirovanie effektivnoj FMEA-komandy / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij, S.A. Shanin // Standarty i kachestvo. – 2017. – № 7. – S. 68-72.
10. Panyukov, D.I. Effektivnoe primenenie metoda analiza vidov, posledstvij i prichin potencial'nyh defektov (FMEA) v avtomobilestroenii: monografiya / D.I. Panyukov, V.N. Kozlovskij. – Samara, 2016.

Alexander Podgorny, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru
Vladimir Kozlovsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru
Dmitry Panyukov, Doctor of Engineering Sciences, Professor. E-mail: panyukov.di@samgtu.ru