

Открытое акционерное общество
«Российские железные дороги»



Стандарт
ОАО «РЖД»

СТО РЖД
1.05.509.12-2008

**Система управления эффективностью поставок
РУКОВОДСТВО ПО АНАЛИЗУ ВИДОВ И
ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ
ПРОДУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**

Москва
2008

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Центр «Приоритет» (ЗАО «Центр «Приоритет»)

2 ВНЕСЕН Департаментом технической политики ОАО «РЖД»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ распоряжением от
2008 года №

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Учетный регистрационный номер _____

знак охраны авторского права

Воспроизведение и/или распространение настоящего стандарта, а также его применение сторонними организациями осуществляется в порядке, установленном ОАО «РЖД»

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения.....	2
4 Общие положения	2
5 Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции.....	4
6 Анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса	12
Приложение А (обязательное) Стандартная форма отчета FMEA.....	23
Приложение Б Стандартная форма для матрицы характеристик.....	24
Приложение В Стандартная форма для матрицы связей.....	25
Приложение Г Стандартная форма для матрицы влияния	26
Приложение Д Примеры проведения анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции	27
Приложение Е Примеры проведения анализа видов и последствий потенциальных отказов процесса.....	28

Стандарт ОАО «Российские железные дороги»

Система управления эффективностью поставок

РУКОВОДСТВО ПО АНАЛИЗУ ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОТКАЗОВ ПРОДУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Дата введения – 2008-

1 Область применения

Настоящий стандарт описывает метод анализа видов и последствий потенциальных отказов (далее метод FMEA) и дает общие рекомендации по его применению.

Настоящий стандарт применяют в следующих случаях:

разработка новой продукции или нового технологического процесса;

модернизация продукции или процесса;

изменение условий эксплуатации продукции или изменение производственной среды.

Требования настоящего стандарта распространяются на внешних и внутренних поставщиков – изготовителей основных видов продукции (далее поставщики), ответственных за проектирование продукции и разработку процессов.

Требования стандарта являются руководством для ЦТА по мониторингу процесса планирования качества продукции (ПКП-процесса) поставщиков, а также для производственных департаментов ОАО «РЖД», принимающих при необходимости участие в данной деятельности.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

СТО РЖД 1.05.509.1-2008 Система управления эффективностью поставок.
Термины и определения

СТО РЖД 1.05.509.4-2008 Система управления эффективностью поставок.
Общие требования к поставщикам в области качества

СТО РЖД 1.05.509.12-2008

СТО РЖД 1.05.509.9-2008 Система управления эффективностью поставок. Руководство по методической поддержке и мониторингу этапов жизненного цикла потребляемой продукции

СТО РЖД 1.05.509.10-2008 Система управления эффективностью поставок. Руководство по планированию качества по этапам жизненного цикла продукции

СТО РЖД 1.05.509.11-2008 Система управления эффективностью поставок. Руководство по разработке и применению планов управления

СТО РЖД 1.05.509.13-2008 Система управления эффективностью поставок. Руководство по статистическому управлению технологическими процессами

СТО РЖД 1.05.509.14-2008 Система управления эффективностью поставок. Руководство по одобрению производства поставщика

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применяют термины с соответствующими определениями, данные в ГОСТ Р ИСО 9000, а также в СТО РЖД 1.05.509.1.

В настоящем стандарте применяют следующие сокращения:

DFMEA – анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции.

PFMEA – анализ видов и последствий потенциальных отказов процессов.

FMEA – анализ видов и последствий потенциальных отказов.

ПЧР – приоритетное число риска.

S – значимость последствий потенциального отказа.

O – вероятность или частота возникновения причины потенциального отказа.

D – возможность обнаружения причины потенциального отказа или отказа по данной причине.

4 Общие положения

4.1 Метод FMEA предназначен для:

установления потенциальных отказов продукции и процессов и оценки их последствий;

определения возможных причин отказов продукции и процессов;

разработки мер по устранению или управлению причинами потенциальных отказов.

4.2 Для реализации стратегии предупреждения настоящий стандарт использует следующую классификацию причин потенциальных отказов, установленную в СТО РЖД 1.05.509.10.

Классификация причин потенциальных отказов по источникам:

конструктивные причины – недостатки конструкции изделия, заложенные при проектировании продукции,

технологические причины – недостатки процесса производства продукции, заложенные при разработке технологии.

Классификация причин потенциальных отказов по возможности влияния на них:

устранимые причины – недостатки конструкции или технологического процесса, являющиеся источниками изменчивости функционирования продукции или процесса ее производства, которые можно устранить на этапах проектирования продукции и разработки процессов;

неустранимые причины – недостатки конструкции или технологического процесса, являющиеся источниками изменчивости функционирования продукции или процесса ее производства, которые нельзя устранить на этапах проектирования продукции и разработки процессов.

4.3 Метод FMEA позволяет оценить результативность процессов проектирования посредством экспертной оценки рисков возникновения отказов продукции при ее производстве и эксплуатации.

Метод FMEA использует комплексную модель риска потенциальных отказов, включающую три составляющих:

S – значимость последствий потенциального отказа.

O – вероятность или частота возникновения причины потенциального отказа.

D – возможность обнаружения причины потенциального отказа или отказа по данной причине.

Составляющие риска определяют экспертным путем по таблицам соответствующих критериев.

Комплексный риск рассчитывают как произведение трех составляющих риска S, O и D. Результат произведения называется «приоритетное число риска» и обозначается ПЧР.

4.4 Анализ потенциальных отказов конструкции и процесса проводят по единому алгоритму, включающему в себя последовательное выполнение следующих шагов:

Описание функции изделия или процесса.

Определение потенциального отказа.

Определение последствий отказа.

Экспертная оценка составляющей риска S – значимости отказа.

Определение причины потенциального отказа.

Описание действующих или запланированных мер по предупреждению причины.

Описание действующих или запланированных мер по обнаружению причины или отказа по данной причине.

Экспертная оценка составляющей риска O – вероятности возникновения причины отказа.

Экспертная оценка составляющей риска D – возможности обнаружения причины или отказа по данной причине.

Расчет приоритетного числа риска ПЧР и принятие решения о необходимости снижения риска.

Разработка рекомендуемых мер по снижению риска.

Определение ответственного и сроков выполнения рекомендуемых мер.

Контроль выполнения рекомендуемых мер.

Перерасчет ПЧР и принятие решения о завершении или продолжении анализа.

4.5 Анализ видов и последствий потенциальных отказов проводит межфункциональная команда, сформированная из специалистов по проектированию, изготовлению, техническому дизайну, качеству, производству, контролю и других специалистов, имеющих отношение к обеспечению качества продукции. В процессе работы команды при необходимости могут быть привлечены необходимые специалисты.

5 Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции

5.1 Анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции (далее DFMEA) предназначен для установления потенциальных отказов продукции и оценки их последствий; определения возможных причин отказов продукции; разработки мер по устранению или управлению причинами потенциальных отказов; определения возможных конструктивных причин отказов изделия; разработки мер по устранению или управлению конструктивными причинами потенциальных отказов.

5.2 Входные данные

Необходимые исходные данные для проведения DFMEA включают: требования потребителя к функциональным характеристикам; требования потребителя по надежности, работоспособности, ремонтпригодности и безопасности; условия эксплуатации изделия; законодательные и другие обязательные требования; проектная документация на продукцию – результат процесса проектирования; данные по отказам аналогичных видов продукции в процессе производства, эксплуатации и гарантийного обслуживания.

5.3 Форма регистрации результатов проведения DFMEA

В приложении А приведена стандартная табличная форма отчета о результатах проведения DFMEA. Названия колонок таблицы соответствуют шагам алгоритма проведения DFMEA.

Дополнительную информацию такую как «Дата», «Изделие», «Номер отчета» и так далее оформляют в соответствии с правилами управления документацией, установленными в организации.

5.4 Исходные предположения и принципы проведения DFMEA

Отказ может возникнуть, но не обязательно.

Все компоненты соответствуют установленным требованиям.

DFMEA не предполагает преодоление недостатков конструкции за счет процессов изготовления продукции.

DFMEA учитывает особенности и ограничения процесса изготовления, например:

необходимые формы для отливки;
несовершенство отделки поверхностей;
рабочее пространство;
ограничения на свойства материалов;
воспроизводимость процессов.

5.5 Описание функции изделия

Функции изделия – это потребности и ожидания потребителя, которые установлены, предполагаются или являются обязательными.

В качестве потребителя при проведении DFMEA рассматривают: конечного потребителя, который будет использовать данное изделие; разработчиков более сложных систем, включающих данное изделие; общество в лице государства.

При определении функций учитывают среду эксплуатации изделия.

Также в качестве функций указываются ограничения – что изделие делать не должно.

Должны быть определены все функции изделия. В случае сложных изделий в первую очередь определяют функции, связанные с безопасностью, выполнением основных целей изделия, надежностью, работоспособностью и ремонтпригодностью.

5.6 Определение потенциального отказа

Потенциальный отказ определяют через функцию, как невыполнение или частичное выполнение функции. Могут быть использованы следующие определения отказов:

нет функции;
ухудшенная функция;
прерывающаяся функция;
непредусмотренная функция.

Например, для изделия «Лампочка» и функции «Освещает помещение» потенциальными отказами будут:

нет освещения;
слабое освещение;
мигает;
взрывается.

5.7 Определение последствий отказа

Последствия потенциальных отказов определяют через то, как воспринимает потребитель невыполнение или частичное выполнение функции.

Описывают последствия в терминах потребителя.

Примеры последствий отказов:

авария;
травма рабочего;
затрудненное управление локомотивом;
большое время на замену узла;

неудобно ремонтировать;
шум;
плохой запах;
плохой внешний вид.

У одного отказа может быть несколько последствий. Для каждого последствия экспертно определяют значимость.

5.8 Экспертная оценка составляющей риска S – значимости отказа

Значимость – это оценка наиболее серьезного последствия потенциального отказа для потребителя.

Для каждого последствия определяют ранг значимости по таблице 1.

Таблица 1 – Критерии значимости

Критерий значимости последствия	Ранг
Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию государственным нормам без предупреждения	10
Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию правительственным нормам с предупреждением	9
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Ремонту и восстановлению не подлежит	8
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются большие затраты или время на ремонт	7
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются средние затраты или время на ремонт	6
Изделие работоспособно, но снижена долговечность	5
Изделие работоспособно, но снижен уровень эффективности.	4
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются небольшие затраты или время на ремонт	3
Неудобство при эксплуатации	2
Нет последствия	1

Максимальное значение выбирают в качестве значимости отказа S.

Снизить ранг значимости можно только за счет изменений конструкции изделия, направленных на компенсацию последствия.

Команда может пересмотреть критерии значимости последствия. Нельзя изменять критерии для рангов 9 и 10.

5.9 Определение причины потенциального отказа

Для определения возможных конструктивных причин отказа применяют матрицу характеристик. Матрица характеристик устанавливает взаимосвязь между функциями (пункт 5.4) и характеристиками изделия – результатом проектирования. В приложении Б приведена стандартная форма для матрицы характеристик.

В левом столбце матрицы указывают функции изделия. В верхней строке матрицы указывают характеристики изделия.

После того как в матрице описаны функции и характеристики изделия, между ними устанавливают взаимосвязь. Если характеристика изделия обеспечивает выполнение потребительской функции, в соответствующей клетке матрицы ставится признак связи, например знак «+».

Таблица 2 – Пример матрицы характеристик для изделия «Рельс»

Функция	Характеристики изделия		
	Толщина и форма	Микроструктура	Качество поверхности
Прочность на разрыв	+	+	
Прочность на статическую нагрузку	+	+	
Не должен скручиваться	+	+	
Внешний вид			+

Разработка матрицы характеристик позволяет перевести «голос потребителя» на «язык технических требований». У поставщика должна быть уверенность в том, что продукция, изготовленная в соответствии с техническими требованиями, будет удовлетворять потребностям и ожиданиям потребителя. Для этого анализируют полноту матрицы:

отсутствие функций, необеспеченных проектированием соответствующих технических характеристик – пустая строка;

отсутствие технических характеристик, несвязанных с функциями – пустой столбец.

Матрица позволяет установить взаимосвязь между потенциальными отказами и их возможными конструктивными причинами. Конструктивную причину определяют как неправильно спроектированные требования к характеристике продукции для обеспечения выполнения соответствующей потребительской функции.

Матрица характеристик определяет область проведения DFMEA. Для каждой клетки, где стоит знак «+», необходимо провести анализ потенциальных отказов конструкции. При этом функция указана в левом столбце в соответствующей строке, а потенциальная причина указана в верхней строке в соответствующем столбце. Причину формулируют как недостаток конструкции, например:

неправильно задан допуск на толщину;

неправильно выбран материал;

неполная инструкция по эксплуатации изделия.

Если в изделии присутствуют неустраняемые конструктивные причины, их также указывают в верхней строке и устанавливают связь с функциями, на

которые они могут повлиять. Примерами неустранимых конструктивных причин являются:

износ;
коррозия;
текучесть;
ползучесть;
изменчивость свойств смазочных материалов.

Неустранимыми конструктивными причинами надо управлять в процессе эксплуатации изделия.

В случае сложных изделий разрабатывают матрицы характеристик для самого изделия и его узлов, компонентов, деталей. Для сложных изделий невозможно провести анализ всех потенциальных причин. Поэтому в первую очередь рассматривают функции, связанные с безопасностью и работоспособностью. Если значимость отказа больше 6, все характеристики, обеспечивающие выполнение этих функций, классифицируют как ключевые. В этом случае в колонке «Класс» указывается символ «К».

5.10 Описание действующих или запланированных мер по предупреждению причины

Действующие меры по предупреждению зависят от вида конструктивной причины.

Если конструктивная причина устранимая, например, «неправильно задан допуск на толщину», то описывают меры по предупреждению, которые применяли или будут применять в процессе проектирования, например «расчет толщины по справочнику сопротивления материалов». Примерами таких мер могут быть:

математическое моделирование;
использование справочников;
методика расчетов;
аналоги;
опыт;
подбор.

Если конструктивная причина неустраняемая, то описывают меры по предупреждению, которые будут применять в процессе эксплуатации изделия, например,

периодическая замена;
чистка;
смазывание.

5.11 Описание действующих или запланированных мер по обнаружению причины или отказа по данной причине

Действующие меры по обнаружению зависят от вида конструктивной причины.

Если конструктивная причина устранимая, то описывают меры по предупреждению, которые применяли или будут применять в процессе проектирования, например «испытания опытных образцов». Как правило, меры

по обнаружению причины или отказа по данной причине связаны с испытаниями опытных образцов. Все испытания опытных образцов на этапе проектирования включают в план управления для опытного образца в соответствии с СТО РЖД 1.05.509.11.

Если конструктивная причина неустранимая, то описывают меры по обнаружению, которые будут применять в процессе эксплуатации изделия. Такие меры включаются в план технического обслуживания в соответствии с СТО РЖД 1.05.509.11.

5.12 Экспертная оценка составляющей риска О – вероятности или частоты возникновения причины отказа

Составляющую риска О вероятность возникновения причины определяют по таблице 3.

Таблица 3 – Критерии вероятности или частоты возникновения конструктивной причины

Применяемые меры по предупреждению устранимой причины	Частота возникновения неустранимой причины Не чаще чем	Ранг
Мер по предупреждению нет	1 раз в час	10
Подбор	1 раз в 4 часа	9
На основе опыта	1 раз в 8 часов	8
Применение аналогов	1 раз в 16 часов	7
В соответствии с ГОСТ	1 раз в сутки	6
Справочники	1 раз в неделю	5
Методики расчета	1 раз в месяц	4
Моделирование	1 раз в квартал	3
Математическое моделирование	1 раз в год	2
Безотказная конструкция	За гарантийный период причина себя не проявит	1

Вероятность возникновения причины зависит от тех предупреждающих действий, которые предпринимались в процессе проектирования. Если меры по предупреждению надежные, то ранг будет низкий.

В случае устранимых причин команда должна оценить, как часто приходилось пересматривать требования при проектировании аналогичной продукции. При определении этой оценки следует рассмотреть вопросы, подобные следующим: Каков опыт эксплуатации и сервиса подобных изделий?

Насколько значительны изменения по сравнению с предыдущими изделиями?

Отличается ли изделие радикально от предыдущих?

Является ли изделие исключительно новым?

Изменено ли применение изделия?

Каковы изменения окружающей среды?

Использован ли инженерный анализ для оценки ожидаемой возможности появления отказа при данном применении?

Введены ли предупреждающие действия при управлении?

В случае неустранимой причины нужно использовать знания о частоте наступления причины. Это позволит правильно спланировать действия по управлению этой причиной в процессе эксплуатации изделия.

Команда может пересмотреть критерии вероятности или частоты возникновения конструктивной причины.

5.13 Экспертная оценка составляющей риска D – возможности обнаружения причины или отказа по данной причине

Составляющую риска D возможность обнаружения определяют по таблице 4. Ранг возможности обнаружения устанавливают на основе оценки предпринятых или запланированных мер по обнаружению причины или отказа по данной причине. Команда должна решить, насколько высоки шансы обнаружить устранимую конструктивную причину на этапе проектирования при испытаниях опытных образцов.

Для неустранимой причины надо оценить возможности обнаружения во время эксплуатации изделия.

Команда может пересмотреть критерии возможности обнаружения конструктивной причины.

Таблица 4 – Критерии возможности обнаружения конструктивной причины

Запланированные меры по обнаружению		Ранг
Устранимая конструктивная причина	Неустранимая конструктивная причина	
Мер по обнаружению нет		10
Обнаружение косвенными или случайными проверками		9
Причину отказа обнаружить невозможно. Отказ можно обнаружить только во время эксплуатации изделия	Обнаружение причины только после отказа более сложной системы, включающей изделие	8
Причина отказа обнаруживается только во время эксплуатации изделия	Обнаружение причины только после отказа изделия	7
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях изделия в составе более сложной системы	Периодический визуальный контроль состояния более сложной системы, включающей изделие	6
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях опытных образцов изделия	Периодический визуальный контроль состояния изделия	5
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях опытных образцов изделия. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы	Периодическое измерение и проверка функциональных характеристик более сложной системы, включающей изделие. Установлены допустимые значения измеряемых характеристик	4
Запланированы меры по обнаружению причины отказа при испытаниях опытных образцов изделия	Периодическое измерение и проверка функциональных характеристик изделия. Установлены допустимые значения измеряемых характеристик	3

Запланированные меры по обнаружению		Ранг
Устранимая конструктивная причина	Неустранимая конструктивная причина	
Запланированы меры по обнаружению причины отказа при испытаниях опытных образцов изделия. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы	Периодическое измерение и проверка причины отказа изделия. Установлены допустимые значения причины	2
Причина отказа будет обнаружена и устранена на этапе проектирования продукции	Автоматическое управление причиной отказа, предусмотренное конструкцией изделия	1

5.14 Расчет приоритетного числа риска ПЧР и принятие решения о необходимости снижения риска

Приоритетное число риска – это произведение значимости S , возможности появления O и обнаружения D :

$$\text{ПЧР}=(S)\times(O)\times(D).$$

ПЧР используют для ранжирования отказов и причин и принятия решения о необходимости снижения риска. Нет никаких требований и ограничений на значение ПЧР. Любое снижение риска требует дополнительных затрат. Поэтому могут быть ситуации, когда надо снижать небольшой риск, и могут быть ситуации, когда нецелесообразно снижать большой риск.

ПЧР нельзя использовать для оценки деятельности команд.

5.15 Разработка рекомендуемых мер по снижению риска

Рекомендуемые меры по снижению риска подразделяют на 5 групп:

пересмотр геометрии и/или допусков конструкции;

пересмотр спецификации материалов;

планирование экспериментов или другие методы разрешения проблем;

изменение процесса проектирования;

пересмотр плана управления для опытного образца или плана технического обслуживания.

При разработке рекомендуемых мер нужно однозначно понимать, какая составляющая риска будет снижена.

Значимость S можно снизить только за счет изменений конструкции, направленных на компенсацию последствия.

Вероятность или частоту возникновения O можно снизить за счет изменений конструкции или процесса проектирования, направленных на предупреждение причины.

Возможность обнаружения D можно снизить за счет изменения плана управления для опытного образца или плана технического обслуживания.

Если нет рекомендуемых действий, в соответствующей колонке отчета надо указать «Нет».

5.16 Определение ответственного и сроков выполнения рекомендуемых мер

В соответствующей колонке отчета необходимо указать организацию, подразделение и лицо, ответственное за выполнение действий, а также дату их завершения

5.17 Контроль выполнения рекомендуемых мер

Необходимо контролировать выполнение запланированных мер. В соответствующем столбце отчета делают отметку о выполнении. Если меры не были предприняты, в соответствующей колонке отчета надо указать «Нет».

5.18 Перерасчет ПЧР и принятие решения о завершении или продолжении анализа потенциальных отказов конструкции

Если были предприняты рекомендуемые действия, команда пересчитывает составляющие риска ПЧР и принимает решение, о завершении анализа по данной причине или необходимости продолжения снижения риска.

6 Анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса

6.1 Анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса (далее PFMEA) предназначен для:

установления потенциальных отказов процессов и оценки их последствий;
определения возможных технологических причин отказов процессов;
разработки мер по устранению или управлению причинами потенциальных отказов.

6.2 Входные данные

Необходимые исходные данные для проведения PFMEA включают:
требования потребителя к функциональным характеристикам;
требования потребителя по надежности, работоспособности, ремонтпригодности и безопасности;
условия эксплуатации изделия;
законодательные и другие обязательные требования;
проектная документация на продукцию – результат процесса проектирования;
данные по отказам аналогичных видов продукции в процессе производства, эксплуатации и гарантийного обслуживания.

6.3 Форма регистрации результатов проведения PFMEA

В приложении А приведена стандартная табличная форма отчета о результатах проведения PFMEA. Названия колонок таблицы соответствуют шагам алгоритма проведения PFMEA.

Дополнительную информацию такую как «Дата», «Изделие», «Номер отчета» и прочее оформляют в соответствии с правилами управления документацией, установленными в организации.

6.4 Исходные предположения и принципы проведения РГМЕА

Отказ может возникнуть, но не обязательно.

Все компоненты соответствуют установленным требованиям.

Процесс изготовления продукции проходит в полном соответствии с требованиями к нему.

РГМЕА не предполагает преодоление недостатков технологии за счет изменения конструкции.

6.5 Описание функций процесса

Функции процесса это:

изготовление продукции в полном соответствии конструкторской документацией;

обеспечение безопасной работы персонала, реализующего процесс.

Кроме того, могут быть рассмотрены такие вопросы как удобство монтажа и сборки, возможность быстрой перенастройки процесса и т.д.

При определении функций учитывают производственную среду.

Также в качестве функций указывают ограничения – что процесс делать не должен.

Должны быть определены все функции процесса. В случае сложных процессов в первую очередь определяют функции, связанные с безопасностью, выполнением основных целей изделия, надежностью, работоспособностью и ремонтпригодностью.

Связь между функциями и операциями процесса устанавливаются с помощью матрицы связей. В левом столбце матрицы связей указывают операции процесса. В верхней строке указывают технические характеристики продукции, для создания которых был разработан процесс.

В ячейках матрицы связи указывают символ «С» в соответствующих строке и столбце, если данная техническая характеристика создается на данной операции. Ниже в таблице 5 приведен пример матрицы связи для процесса изготовления изделия «Рельс».

После того как матрица связей разработана, надо для каждой операции определить факторы (причины), которые могут привести к невыполнению функции – отказу. То есть для каждой буквы «С» в матрице необходимо рассмотреть невыполнение функции операции по созданию характеристики продукции.

Таблица 5 – Пример матрицы связи для процесса изготовления изделия «Рельс»

Операция	Технические характеристики			
	Толщина	Форма	Микро-структура	Качество поверхности
Подготовка поверхности				С
Транспортирование				

Операция	Технические характеристики			
	Толщина	Форма	Микро-структура	Качество поверхности
Прокатка	С	С		С
Транспортирование				
Контроль				
Складирование				
Правка		С		
Транспортирование				
Отжиг			С	

Таким образом, в соответствии с матрицей связи функциями операции «Прокатка» будут создание технических характеристик «Толщина», «Форма» и «Качество поверхности». В приложении В приведена стандартная форма для матрицы связей.

6.6 Определение потенциального отказа

Потенциальный отказ определяют через функцию, как невыполнение или частичное выполнение функции.

Если операция создает количественно измеримую характеристику изделия, например толщина, то отказ – невыполнение функции – формулируют следующим образом:

завышено значение характеристики – например, толщина завышена;

занижено значение характеристики – например, толщина занижена;

неоднородность значений характеристики в единице продукции – например, разнотолщинность;

большой разброс значений характеристики между изделиями – например, большой разброс по толщине между рельсами.

Если создается количественно не измеряемая характеристика (альтернативный признак), например, отсутствие дефектов поверхности, то отказ – невыполнение функции – формулируется как отсутствие характеристики или появление недопустимой характеристики. Например, для характеристики «Качество поверхности» отказами могут быть царапина, трещина, заусенец и тому подобное.

6.7 Определение последствий отказа

Последствия потенциальных отказов определяют через то, как воспринимает потребитель невыполнение или частичное выполнение функции.

В качестве потребителя при проведении RFMEA рассматривают:

конечного потребителя, который будет использовать данное изделие;

персонал, реализующий процесс производства;

последующие операции и процессы.

Описывают последствия в терминах потребителя, как потребитель воспринимает отказ.

Примеры последствий отказов:

авария;
травма рабочего;
затрудненное управление локомотивом;
большое время на замену узла;
неудобно ремонтировать;
шум;
плохой запах;
плохой внешний вид;
неисправимый брак;
исправимый брак.

У одного отказа может быть несколько последствий. По каждому последствию проводят экспертную оценку значимости.

6.8 Экспертная оценка составляющей риска S – значимости отказа

Значимость – это оценка наиболее серьезного последствия потенциального отказа для потребителя.

Для каждого последствия определяют ранг значимости по таблице 6.

Таблица 6 – Критерии значимости последствий отказа

Критерий значимости последствия		Ранг
Для конечного потребителя	Для изготовителя	
Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию государственным нормам без предупреждения	Нарушение безопасности работы рабочего без предупреждения	10
Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального отказа ухудшает безопасность работы или приводит к несоответствию правительственным нормам с предупреждением	Нарушение безопасности работы рабочего с предупреждением	9
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Ремонту и восстановлению не подлежит	Окончательный брак. Большие потери	8
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются большие затраты или время на ремонт	Окончательный брак. Средние потери	7
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются средние затраты или время на ремонт	Исправимый брак. Требуются большие затраты или время на исправление	6
Изделие работоспособно, но снижена долговечность	Исправимый брак. Требуются средние затраты или время на исправление	5
Изделие работоспособно, но снижен уровень эффективности.	Окончательный брак. Небольшие потери	4
Изделие неработоспособно с потерей основной функции. Требуются небольшие затраты или время на ремонт	Исправимый брак. Требуются небольшие затраты или время на исправление	3
Неудобство при эксплуатации	Неудобство при использовании на следующей операции или процессе	2
Нет последствия		1

Максимальное значение выбирают в качестве значимости отказа S.

Снизить ранг значимости можно только за счет изменений конструкции изделия или процесса изготовления, направленных на компенсацию последствия.

Команда может пересмотреть критерии значимости последствия. Нельзя изменять критерии для рангов 9 и 10.

Если значимость отказа больше 6, все параметры операции, обеспечивающие выполнение этих функций, называются ключевыми. В этом случае в колонке «Класс» указывается символ «К».

6.9 Определение причины потенциального отказа

Параметры операции есть результат разработки технологического процесса. Изготовитель должен быть уверен в том, что процесс будет производить продукцию в соответствии с требованиями к техническим характеристикам, не производя несоответствующих изделий. Потенциальные технологические причины формулируют через параметры операции и факторы, влияющие на создание характеристик изделия.

Для установления взаимосвязи между потенциальными отказами операции и возможными технологическими причинами необходимо разработать матрицу влияния. Матрица влияния должна быть разработана для каждой операции, создающей технические характеристики продукции (символ «С» в соответствующей строке матрицы связи). В приложении Г приведена стандартная форма для матрицы влияния.

В столбце «Функция» указывают функции (создаваемые технические характеристики) из матрицы связи. В столбце «Отказ» указывают все возможные отказы для данной функции в соответствии с правилами, описанными в пункте 6.5.

В верхней строке указывают параметры операции. Параметры операции включают в себя:

- режимы обработки;
- требования к оборудованию;
- требования к оснастке, инструменту и приспособлениям;
- требования к квалификации персонала;
- требования к производственной среде;
- и так далее.

Через параметры операции определяют устранимые потенциальные технологические причины. Например, «неправильно заданы требования к инструменту», «неправильно заданы режимы обработки».

В верхней строке матрицы влияния указывают неустраняемые причины изменчивости процесса, которые могут привести к отказам и которыми необходимо управлять в процессе изготовления продукции. Например:

- износ инструмента и оснастки;
- неоднородность свойств заготовок;
- снижение температуры в печи из-за теплоотдачи во внешнюю среду;
- изменчивость свойств СОЖ;
- и так далее.

В ячейках матрицы влияния с помощью символа «+» указывают связь между отказами и потенциальными технологическими причинами – устранимыми и неустраняемыми.

В таблице 7 приведен пример матрицы влияния для операции «Прокатка».

Таблица 7 – Пример матрицы влияния для операции «Прокатка»

Функция	Отказ	Параметры операции			Неустраняемые причины		
		Зазор между валками	Усилие обжатия	Размеры подката	Нагрев валков	Износ валков	Неоднородность подката
Толщина	Завышена	+	+	+		+	+
	Занижена	+	+	+	+		+
	Разнотолщинность						+
	Большой разброс						+

Для данной матрицы потенциальный отказ «Толщина занижена» может быть вызван

а) устранимыми технологическими причинами:

«Неправильно подобран зазор между валками»;

«Неправильно подобрано усилие обжатия»;

«Неправильно заданы требования к размерам подката»;

б) неустраняемыми технологическими причинами:

«Нагрев валков»;

«Неоднородность подката».

При большом количестве операций и технических характеристик в первую очередь рассматривают операции, создающие ключевые характеристики и характеристики, по которым были отказы на аналогичных изделиях и процессах.

Кроме того, основное внимание надо уделить неустраняемым технологическим причинам, чье влияние исключить нельзя. Именно управление такими причинами при производстве продукции позволит предупредить дефекты и отказы.

6.10 Описание действующих или запланированных мер по предупреждению причины

Действующие меры по предупреждению зависят от вида технологической причины.

Если технологическая причина устранимая, например, «неправильно задан зазор между валками», то описывают меры по предупреждению, которые применяли или будут применять в процессе разработки операции, например «выбор зазора по справочнику». Примерами таких мер могут быть:

математическое моделирование;

использование справочников;

методика расчетов;

аналоги;

опыт;

подбор.

Если технологическая причина неустраняемая, то описывают меры по предупреждению, которые будут применять в процессе производства продукции, например,
 периодическая замена резца;
 чистка оснастки;
 правка абразивного круга;
 смазывание.

6.11 Описание действующих или запланированных мер по обнаружению причины или отказа по данной причине

Действующие меры по обнаружению зависят от вида технологической причины.

Если причина устраняемая, то описывают меры по предупреждению, которые применяли или будут применять при разработке параметров операции, например «испытания опытных партий». Все испытания опытных партий на этапе разработки процесса включают в план управления для опытной партии в соответствии с СТО РЖД 1.05.509.11.

Если причина неустраняемая, то описывают меры по обнаружению, которые будут применять в процессе серийного производства продукции. Такими мерами могут быть:

выборочный контроль в процессе производства;
 применение карт регулирования;
 выходной приемочный контроль готовой продукции;
 приемосдаточные испытания готовой продукции;
 эксплуатационные испытания готовой продукции.

Эти меры включают в план управления для серийного производства продукции в соответствии с СТО РЖД 1.05.509.11.

6.12 Экспертная оценка составляющей риска О – вероятности возникновения причины отказа

Составляющую риска О вероятность возникновения причины определяют по таблице 8.

Таблица 8 – Критерии вероятности или частоты возникновения технологической причины

Меры по предупреждению устраняемой причины	Частота возникновения неустраняемой причины Не чаще чем	Ранг
Мер по предупреждению нет	1 раз в час	10
Подбор	1 раз в 4 часа	9
На основе опыта	1 раз в 8 часов	8
Применение аналогов	1 раз в 16 часов	7
В соответствии с ГОСТ	1 раз в сутки	6
Справочники	1 раз в неделю	5
Методики расчета	1 раз в месяц	4
Моделирование	1 раз в квартал	3

Меры по предупреждению устранимой причины	Частота возникновения неустраняемой причины Не чаще чем	Ранг
Математическое моделирование	1 раз в год	2
Безотказная конструкция	В течение срока контракта на поставку причина себя не проявит	1

Для устранимых причин возможность возникновения зависит от тех предупреждающих действий, которые предпринимались в процессе проектирования. Если меры по предупреждению надежные, то ранг будет низкий. Команда должна оценить, как часто приходилось пересматривать требования к параметрам операций для аналогичных процессов.

В случае неустраняемой причины нужно использовать знания о частоте наступления причины. Это позволит правильно спланировать действия по управлению этой причиной в процессе производства продукции.

Команда может пересмотреть критерии вероятности или частоты возникновения технологической причины.

6.13 Экспертная оценка составляющей риска D – возможности обнаружения причины или отказа по данной причине

Составляющую риска D возможность обнаружения определяют по таблице 9. Ранг возможности обнаружения устанавливают на основе оценки предпринятых или запланированных мер по обнаружению причины или отказа по данной причине. Команда должна решить, насколько высоки шансы обнаружить устранимую причину на этапе разработки процесса при испытаниях опытных партий.

Для неустраняемой причины надо оценить возможности обнаружения в процессе производства продукции.

Команда может пересмотреть критерии возможности обнаружения технологической причины.

Таблица 9 – Критерии возможности обнаружения технологической причины или отказа по данной причине

Запланированные меры по обнаружению		Ранг
Устранимая конструктивная причина	Неустраняемая конструктивная причина	
Мер по обнаружению нет		10
Обнаружение косвенными или случайными проверками		9
Причину отказа обнаружить невозможно. Отказ можно обнаружить только во время производства продукции	Выборочная визуальная проверка продукции на соответствие установленным требованиям	8
Причина отказа обнаруживается только во время производства продукции	Визуальная проверка 100% продукции на соответствие установленным требованиям	7
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при испытаниях	Выборочная проверка продукции калибрами на соответствие установленным требованиям	6

Запланированные меры по обнаружению		Ранг
Устранимая конструктивная причина	Неустранимая конструктивная причина	
изделия в составе более сложной системы		
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при изготовлении и измерении опытной партии	100% проверка продукции калибрами на соответствие установленным требованиям	5
Причину отказа обнаружить невозможно. Запланированы меры по обнаружению отказа при изготовлении и измерении опытной партии. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы	Выборочный контроль продукции с применением статистических методов регулирования (карты регулирования)	4
Запланированы меры по обнаружению причины отказа при изготовлении и измерении опытной партии	100% контроль продукции с применением статистических методов регулирования (карты регулирования)	3
Запланированы меры по обнаружению причины отказа при изготовлении и измерении опытной партии. Для обработки результатов испытаний применяются статистические методы	Периодическое измерение и проверка причины отказа. Установлены допустимые значения причины и правила управления процессом	2
Причина отказа будет обнаружена и устранена на этапе разработки процесса	Автоматическое управление причиной отказа, встроенное в процесс производства	1

6.14 Расчет приоритетного числа риска ПЧР и принятие решения о необходимости снижения риска

Приоритетное число риска – это произведение значимости S , возможности появления O и обнаружения D :

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

ПЧР используют для ранжирования отказов и причин и принятия решения о необходимости снижения риска. Нет никаких требований и ограничений на значение ПЧР. Любое снижение риска требует дополнительных затрат. Поэтому могут быть ситуации, когда надо снижать небольшой риск, и могут быть ситуации, когда нецелесообразно снижать большой риск.

ПЧР нельзя использовать для оценки деятельности команд.

6.15 Разработка рекомендуемых мер по снижению риска

Рекомендуемые меры по снижению риска возникновения отказа для процесса подразделяют на 6 групп:

- изменение параметров процесса;
- пересмотр геометрии и/или допусков конструкции;
- пересмотр спецификации материалов;
- планирование эксперимента или другие методы разрешения проблем;
- изменение процесса разработки технологии;
- пересмотр плана управления для опытной партии или плана управления производством продукции.

СТО РЖД 1.05.509.12-2008

При разработке рекомендуемых мер нужно однозначно понимать, какая составляющая риска будет снижена.

Значимость S можно снизить только за счет изменений конструкции или процесса, направленных на компенсацию последствия.

Вероятность или частоту возникновения O можно снизить за счет изменений технологии или процесса разработки технологии, направленных на предупреждение причины.

Возможность обнаружения D можно снизить за счет изменения плана управления для опытной партии или плана управления производством продукции.

Если нет рекомендуемых действий, в соответствующей колонке отчета надо указать «Нет».

6.16 Определение ответственного и сроков выполнения рекомендуемых мер

В соответствующей колонке отчета необходимо указать организацию, подразделение и лицо, ответственное за выполнение действий, а также дату их завершения

6.17 Контроль выполнения рекомендуемых мер

Необходимо контролировать выполнение запланированных мер. В соответствующем столбце отчета делают отметку о выполнении. Если меры не были предприняты, в соответствующей колонке отчета надо указать «Нет».

6.18 Перерасчет ПЧР и принятие решения о завершении или продолжении анализа

Если были предприняты рекомендуемые действия, команда пересчитывает составляющие риска ПЧР и принимает решение, о завершении анализа по данной причине или необходимости продолжения снижения риска.

**Приложение А
(обязательное)
Стандартная форма отчета FMEA**

Процесс / функция	Вид потенциального отказа	Последствие потенциального отказа	S	Класс	Потенциальная причина отказа	O	Действующие меры по предотвращению	Действующие меры по обнаружению	D	ПЧР	Рекомендуемые действия	Ответственный Дата	Результаты действий					
													Предпринятые действия	S	O	D	ПЧР	

Приложение Б
Стандартная форма для матрицы характеристик

Функция	Характеристики продукции									

Приложение В
Стандартная форма для матрицы связей

Операция	Характеристики продукции											

Приложение Г
Стандартная форма для матрицы влияния

Функция	Отказ	Параметры операции			Неустранимые причины		

Приложение Д
Примеры проведения анализа видов и последствий потенциальных отказов конструкции

Изделие «Рельс»

Процесс / функция	Вид потенциального отказа	Последствие потенциального отказа	S	Класс	Потенциальная причина отказа	O	Действующие меры по предотвращению	Действующие меры по обнаружению	D	ПЧР	Рекомендуемые действия	Ответственный Дата	Результаты действий					
													Предпринятые действия	S	O	D	ПЧР	
Прочность на разрыв	Нет прочности при максимально допустимой нагрузке на разрыв	Нарушение безопасности движения подвижного состава	10	К	Неправильно заданы требования к толщине	4	Расчет допуска на толщину по методике «Сопротивление материалов»	Нет	10	400	Включить испытания на разрыв в план управления для опытного образца	ОГК До 20.05.04	Испытания на разрыв 10 опытных образцов дали положительный результат	10	4	1	40	
					Неправильно заданы требования к микроструктуре	2	Выбор по справочнику	Нет	10	200				10	2	1	20	

Приложение Е
Примеры проведения анализа видов и последствий потенциальных отказов процесса

Изделие «Рельс»

Процесс Функция	Вид потенциального отказа	Последствие потенциального отказа	S	Класс	Потенциальная причина отказа	O	Действующие меры по предотвращению	Действующие меры по обнаружению	D	ПЧР	Рекомендуемые действия	Ответственный Дата	Результаты действий				
													Предпринятые действия	S	O	D	ПЧР
Операция «Прокатка» Функция «Создание толщины»					Неправильно заданы требования к зазору между валками	2	Расчет по методике	Измерение толщины образцов при производстве опытной партии	1	16	Нет						
	Толщина занижена	Неисправимый брак	8	К	Уменьшение зазора из-за нагрева валков	3	Настройка зазора по первому изделию	Приемка продукции ОТК 10% от партии, все годные	9	216	Провести анализ характера и степени влияния нагрева валков на уменьшение толщины. Включить исследования в план управления для опытной партии	ОГТ 18.06.04	Нет	8	3	9	216
	Толщина завышена																

Руководитель разработчика,
генеральный директор
ЗАО «Центр «Приоритет»

В.А. Лapidус

Руководитель разработки,
руководитель бизнес-
направления,
главный специалист

Е.Г. Воинова

Исполнитель,
главный специалист

Е.П. Кочетков