

И. В. Кучугуров, Н. Е. Калинина

I. V. Kuchugurov, N. E. Kalinina

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург*

*Ural Federal University named after the first
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg*

ilyakuchugurov@gmail.com, nkalinina@rambler.ru

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ FMEA-АНАЛИЗА НА РОССИЙСКОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

THE PRACTICE OF USING FMEA-ANALYSIS AT A RUSSIAN INDUSTRIAL ENTERPRISE

***Аннотация.** Поэтапное описание внедрения методика FMEA на российском предприятии, влияние внедрения методика на производственный процесс и качество продукции. Актуальные проблемы, возникающие при внедрении методика на производстве.*

***Abstract.** A phased description of the implementation of the FMEA methodology in a Russian enterprise, the impact of the implementation of the methodology on the production process and product quality. Actual problems arising from the introduction of methods in production.*

***Ключевые слова:** FMEA; качество; промышленное предприятие.*

***Keywords:** FMEA; quality; industrial enterprise.*

В современных экономических условиях развитие рыночных отношений связано с высокой степенью нестабильности финансово-хозяйственных процессов. Текущее состояние российской экономики заставляет задуматься об актуальности внедрения методик по снижению уровня риска на всех этапах жизненного цикла продукции, технологии. Одним из широко распространенных и эффективных инструментов по снижению рисков является анализ видов и последствий отказов (FMEA), позволяющий улучшить качественные характеристики выпускаемой продукции и минимизировать сроки подготовки производства.

FMEA (failure modes and effects analysis) – анализ причин и последствий отказов. Метод анализа, применяемый в менеджменте качества для определения потенциальных дефектов (несоответствий) и причин их возникновения в изделии, процессе или услуге. Он применяется для выявления проблем до того, как они проявятся и окажут воздействие на потребителя.

Существует три основных вида FMEA, определяемых по объекту анализа:

- *FMEA-анализ технической системы.* Направлен на выявление проблем в основных функциях системы;
- *FMEA-анализ конструкции.* Направлен на выявление проблем в компонентах и подсистемах изделия;
- *FMEA-анализ процесса.* Направлен на выявление проблем в процессах производства, сборки, монтажа и обслуживания изделия [3].

Они могут применяться каждый по отдельности, либо во взаимосвязи друг с другом. Если выполняются все три вида FMEA-анализа, то их взаимосвязь представлена в таблице 1.

Таблица 1

Взаимосвязь видов FMEA

Виды FMEA	Несоответствия	Последствия	Причины
FMEA-анализ системы	Несоответствия функций системы	Проблема	Причины проблемы
FMEA-анализ конструкции	Причины проблемы (из FMEA-анализа системы)	Проблемы для каждого элемента конструкции	Детальный список причин для каждого элемента конструкции
FMEA-анализ процесса	Детальный список причин (из FMEA-анализа конструкции)	Проблемы для каждого элемента конструкции (из FMEA-анализа конструкции)	Детальный список причин для операций процесса

Основное применение FMEA-анализа связано с улучшением конструкции изделия (характеристик услуги) и процессов по его изготовлению и эксплуатации (предоставлению услуги). Анализ может применяться как по отношению к вновь создаваемым изделиям (услугам) и процессам, так и по отношению к уже существующим.

FMEA-анализ выполняется, когда разрабатывается новое изделие, процесс, услуга, или проводится их модернизация; когда находится новое применение для существующего изделия, процесса или услуги; когда разрабатывается план контроля нового или измененного процесса. Также, FMEA может проводиться с целью планового улучшения существующих процессов, изделия или услуги, или исследования возникающих несоответствий [4].

В России, как это, к сожалению, часто случается в нашей стране, рекомендации по применению FMEA появились со значительным опозданием. Перевод международного стандарта ИЕС 812 был выпущен только в 1987 го-

ду, и лишь в середине 90-х на его основе был выпущен первый стандарт ГОСТ 27.310–95. В это же время ЦНИИИ 22 МО РФ выпустил рекомендации по надежно-ориентированному проектированию и изготовлению, в которых декларировалась обязательность применения методики FMEA на всех этапах создания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). В 2006 году Международная электротехническая комиссия (МЭК) выпустила обновленную версию стандарта по FMEA, российская версия которого получила обозначение ГОСТ 51901.12.

Сегодня многие отечественные специалисты в самых разных отраслях промышленности оценили эффективность этой методики. Вне всяких сомнений, методика FMEA давно ожидаема среди российского инженерного сообщества. Это показывают результаты опроса специалистов, освоивших FMEA, которые оценили степень его практической полезности в среднем на 8,5 баллов по 10-балльной шкале. При этом часть опрошенных считает, что эта методология должна стать обязательной, необходимо запретить проектирование без её применения. Регламентированное применение FMEA в процессе разработки и производства должно существенно улучшить качество производимой продукции и повысить её конкурентоспособность.

Опыт внедрения методики FMEA на российских предприятиях показывает, что освоение данного анализа дает предприятиям очевидные преимущества:

- интенсивный обмен информацией дает эффект взаимообучения, передачи инженерного опыта и повышения квалификации членов команды в смежных областях;
- командная работа стимулирует возникновение новых технических идей, причем многие из них доходят до уровня патентов;
- нередко команда способна выявить недостатки конструкции технологии, которые сами авторы не в состоянии увидеть из-за излишней «привязанности» к своему детищу;
- снижаются потери, связанные с доработками и изменениями на стадии производства;
- улучшается репутация предприятия, потребитель сразу получает завершённые и качественные изделия, а не «сырые» продукты, на доработку которых иной раз требуются годы.

Однако надо иметь в виду, что российский путь внедрения и развития FMEA несколько отличается от западного из-за специфичных «болезней» российского управления. Производственные войны и баррикады, разрыв доверия, дисбаланс ответственности, полномочий и взаимодействия, агрессивность к лидерам и к лидерству - все это, конечно, очень сильно тормозит раз-

витие прогрессивных методов и технологий производства. Лечение этих болезней требует освоения непривычных для российского инженерного сообщества категорий, таких как лидерство, командная работа, ориентация на потребителя (конечного пользователя продукции) и прочих факторов, без развития которых сегодня вряд ли можно рассчитывать на достижение предприятием мирового уровня в надежности и качестве продукции [2].

ФМЕА-анализ был применен для определения потенциальных дефектов радиозонда РЗМ-Ц выпускаемого АО УПП «Вектор». Целью внедрения являлось обнаружение вероятных несоответствий при производстве радиозондов РЗМ-Ц, их причин и последствий, а также планирование возможных мероприятий по отношению к несоответствиям с применением ФМЕА-процесса.

Решение о необходимости проведения ФМЕА-анализа на данном предприятии было принято на основании того, что этот метод не анализирует прямо экономические показатели, в том числе затраты на недостаточно высокое качество, а позволяет выявить именно те дефекты, которые обуславливают наибольший риск потребителя, определить их потенциальные причины и выработать корректирующие действия по их устранению ещё до того, как эти дефекты проявятся, и, таким образом, предупредить затраты на их исправление. ФМЕА-анализ позволяет предприятию повысить качество выпускаемой продукции, не завышая их стоимости, что важно для потребителя, и не превышать расходов на производство, что важно для самого предприятия. Работа по применению ФМЕА на данном предприятии проходила по следующему алгоритму [9].

На первом этапе на основе распоряжения руководства был назначен ведущий ФМЕА, и была сформирована межфункциональная квалифицированная команда. Ведущим специалистом ФМЕА был назначен заместитель главного технолога. Он определил состав команды специалистов для проведения ФМЕА, куда вошли: заместитель главного технолога, заведующий ОТК, начальник производственного цеха, главный метролог.

На втором этапе одновременно с формированием команды ведущий ФМЕА выполнял сбор данных, предъявляемых к продукции в целом и отдельным ее компонентам. Данные содержали необходимую для работы команды специалистов информацию.

На третьем и четвертом этапах группа ведущих специалистов организации путем метода «мозговой штурм» должна выявить потенциальные дефекты – составляется список потенциальных дефектов рассматриваемого процесса (потенциальные дефекты, которые могут возникать при транспортировке, хранении, при изменении внешних условий (влажность, давление,

температура и т. д.), пропуск операции, неправильное ее выполнение и т. п.). Описание каждого вида дефекта заносят в протокол, составленный в виде таблицы.

На пятом этапе проводится экспертный анализ определенных на предыдущих этапах параметров. Руководствуясь оценками экспертов, определяются такие параметры, как:

- балл значимости S (параметр тяжести последствий) при помощи таблицы 2 [6];
- балл возникновения O (параметр частоты возникновения), при помощи таблицы 3 [6]. Балл возникновения изменяется от 1 для самых редко возникающих дефектов до 10 – для дефектов, возникающих почти всегда;
- балл обнаружения несоответствия D при помощи таблицы 4 [6].

Балл обнаружения изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых дефектов (причин) до 1 – для практически достоверно обнаруживаемых дефектов (причин). Результаты анализа заносятся в матрицу FMEA-анализа. Матрица FMEA-анализа для процесса производства представлена таблицей.

Таблица 2

Шкала баллов значимости дефекта S (FMEA-процесса)

Последствие	Критерий значимости последствий	Балл, S
1	2	3
Опасное без предупреждения	Очень высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта ухудшает качество продукции и вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии без предупреждения	10
Опасное с предупреждением	Весьма высокий ранг значимости, когда вид потенциального дефекта ухудшает качество продукции и вызывает несоответствие обязательным требованиям безопасности и экологии с предупреждением	9
Очень важное	Большое нарушение технологического процесса. Может браковаться до 100 % продукции. Продукция бракована с потерей основных показателей качества. Потребитель полностью не удовлетворён	8
Важное	Небольшое нарушение технологического процесса. Может потребоваться сортировка продукции, когда часть её бракуется. Продукция годна, но низкий уровень качества. Потребитель не удовлетворён	7

1	2	3
Умеренное	Небольшое нарушение технологического процесса. Часть продукции необходимо забраковать (без сортировки). Продукция годна, но некоторые показатели качества полностью не соответствуют нормам. Потребитель испытывает неудовлетворение	6
Слабое	Небольшое нарушение технологического процесса. Может потребоваться переделка до 100% продукции. Продукция годна, но некоторые показатели качества не соответствуют нормам. Потребитель испытывает некоторое неудовлетворение	5
Очень слабое	Небольшое нарушение технологического процесса. Может потребоваться сортировка и частичная переделка продукции. Внешний вид продукции не соответствует ожиданиям потребителя. Этот дефект замечает большинство потребителей	4
Незначительное	Небольшое нарушение технологического процесса. Может потребоваться переделка продукции на специальном участке. Внешний вид не соответствует ожиданиям потребителя. Дефект замечает средний потребитель	3
Очень незначительное	Небольшое нарушение технологического процесса. Может потребоваться доработка части продукции на основной технологической линии. Внешний вид не соответствуют ожиданиям потребителя. Дефект замечают придирчивые потребители	2
Отсутствует	Нет последствия	1

На пятом этапе после получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число риска (ПЧР) по формуле:

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D,$$

где S – значимость последствий несоответствия;

O – вероятность возникновения несоответствия;

D – вероятность обнаружения несоответствия по данной причине.

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000, то есть максимальное ПЧР = $10 \times 10 \times 10 = 1000$ – наихудшее состояние; минимальное ПЧР = $1 \times 1 \times 1 = 1$ – лучшее достижимое состояние. Для приоритетного

числа риска должна быть заранее установлена критическая граница ($ПЧР_{гр}$) в пределах от 100 до 125. Снижение соответствует созданию более высококачественных и надежных объектов и процессов.

Таблица 3

Шкала для выставления балла возникновения О (FMEA-процесса)

Вероятность дефекта	Возможные частоты дефектов	Балл, О
Очень высокая: дефект почти неизбежен	Более 1 из 2	10
	« 1 из 3	9
Высокая: повторяющиеся дефекты	Более 1 из 8	8
	« 1 из 20	7
Умеренная	Более 1 из 80	6
	« 1 из 400	5
	« 1 из 2 000	4
Низкая: относительно мало дефектов	Более 1 из 15 000	3
Очень низкая: исправимый брак	Более 1 из 150 000	2
Малая: дефект маловероятен	Менее 1 из 1 500 000	1

На шестом этапе работы составляют перечень дефектов (причин), для которых значение ПЧР превышает $ПЧР_{гр}$. Для них следует далее вести доработку конструкции и (или) производственного процесса. При доработке можно снизить частоту возникновения и повысить частоту обнаружения для данного дефекта, но иногда удается снизить и значимость (таблица 4).

Таблица 4

Шкала для выставления балла обнаружения D (FMEA-процесса)

Обнаружение	Критерии: вероятность обнаружения дефекта при контроле процесса до следующего или последующего процесса, или до поставки потребителю	Балл, D
1	2	3
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

1	2	3
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

Радиозонды серии РЗМ-Ц предназначены для измерения температуры окружающего воздуха, изменяющейся от минус 90 до плюс 50 °С и его относительной влажности, изменяющейся от 0 до 100 %, преобразования полученной информации в цифровой радиосигнал и передачи его на станцию сопровождения, а также для выработки ответного сигнала на запросный сигнал по дальности, излучаемый станцией сопровождения.

Радиозонды конструктивно включает в себя следующие составные части:

- 1) радиоблок;
- 2) блок датчиков;
- 3) источник питания;
- 4) корпус;
- 5) крышку;
- 6) шнуры для обвязки и подвешивания радиозондов.

Каждая составная часть радиозонда несет в себе потенциальные дефекты, которые и необходимо выявить в процессе FMEA-анализа. В процессе работы была создана таблица FMEA-анализа (таблица 5).

Для приоритетного числа риска установлена критическая граница (ПЧРгр) в пределах от 100 до 125. Максимальное значение, достигнутое при анализе исследуемого прибора 100 пунктов у радиоблока, следовательно,

Таблица 5

Определение потенциальных дефектов радиозонда РЗМ-Ц

Объект анализа: Радиозонд серии РЗМ-Ц									Дата FMEA: 01.12.18
Ответственный за разработку:									
Команда исполнителей:									
Составная часть	Потенциальный дефект	Последствия дефекта	Значимость (S)	Потенциальная причина	Частота (O)	Существующий контроль	Обнаружение (D)	R P N	Контрмеры
Радиоблок	Неисправность конденсаторов; Неисправность микроконтроллера; Неисправность передатчика	Невозможность передачи данных	10	Брак поставляемых компонентов; Нарушения при сборке	2	Входной контроль; Приемочный контроль	5	100	Усиление контроля
Блок датчиков	Отказ датчиков; Неправильная работа датчиков	Неверно передаваемые данные	10	Брак поставляемых компонентов; Нарушения при сборке; Нарушения при эксплуатации	3	Калибровка	1	30	Обучение пользователей
Источник питания	Сниженная емкость источника питания; Отказ источника питания	Снижение времени работы прибора; Отказ устройства	7	Нарушение условий хранения; Нарушение герметичности источника питания	1	Входной контроль; Приемочный контроль	1	7	Комплектовать прибор резервным источником питания
Корпус	Нарушение целостности	Разрушение прибора	10	Нарушения при производстве	1	Приемочный контроль	1	10	Модернизация процесса производства
Крышка	Нарушение герметичности	Проникновение влаги во внутрь прибора и его отказ	10	Нарушения при производстве	1	Приемочный контроль	1	10	Модернизация процесса производства
Шнур для обвязки и подвешивания радиозонда	Нарушение целостности	Невозможность фиксации прибора	5	Нарушения при производстве	1	Приемочный контроль	1	5	Комплектовать прибор резервным шнуром

необходимо провести доработку конструкции и (или) производственного процесса радиоблока. При доработке можно снизить частоту возникновения и повысить частоту обнаружения для данного дефекта.

Применение и внедрение принципов FMEA-анализа позволят значительно повысить эффективность производства, качество продукции, производительность труда, снизить материальные и временные затраты, сократить время выполнения заказов, уменьшить период освоения новых изделий, повысить конкурентоспособность предприятия.

Для реализации принципов FMEA-анализа и повышения конкурентоспособности продукции на предприятии возможно при повышении эффективности управления качеством на основе внедрения в производственный процесс требований международных стандартов качества.

Список литературы

1. *Елохов А. М.* Управление качеством: учебное пособие / А. М. Елохов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2017. 334 с.
2. *Мартынюк А. В.* FMEA-анализ как один из комплексных методов эффективного управления качеством / А. В. Мартынюк, А. В. Зарецкий, Т. И. Зимица, М. А. Макаров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 6. С. 122-126.
3. *Махалин А. А.* Проблемы применения методики FMEA / А. А. Махалин // Проблемы применения методики FMEA. 2014. № 39. С. 166-171.
4. *Ианюков Д. И.* Предварительное исследование объекта анализа в рамках метода FMEA / Д. И. Ианюков, Е. В. Панюкова // Инновационная наука. 2015. № 11-2. С. 103-108.
5. *Соколов Д. В.* Базисная система риск-менеджмент организаций реального сектора экономики: монография / Д. В. Соколов, А. В. Барчуков. Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2016. 125 с.
6. *Розенталь Р.* Методика FMEA. Путь повышения качества продукции / Р. Розенталь // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. № 7. С. 90-95.
7. *Горбашко Е. А.* Развитие СМК вуза в условиях кластерной экономики: монография / Е. А. Горбашко, Н. А. Бонюшко, А. А. Семченко. Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭУ, 2017. 160 с.
8. *ГОСТ Р 51901.1–2002.* Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем [Электронный ресурс]. Введен 2003–09–01 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
9. *Вумек Д.* Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Д. Вумек, Д. Джонс. Москва: Альпина Бизнес Букс, 2004. 473 с.
10. *Opocenska H.* Use of technical diagnostics in predictive maintenance / H. Opocenska, M. Hammer // 17th International Conference on Mechatronics – Mechatronika, ME. 2016. № 1–6. С. 782-783.
11. *Čžek P.* Risk analysis using extended safmea methodology on example of incubated companies / P. Čžek // Scientific Papers of the University of Pardubice. Series D: Faculty of Economics and Administration. 2017. T. 24. № 40. С. 39-48.