

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-4-92-101

УДК 338.45

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РИСКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЯ ОТКАЗОВ

**Н.Л. Иванова, С.В. Пупенцова**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29*

*В статье представлен метод анализа режима Failure и эффектов – FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). Материал описывает основные требования к анализу с помощью этого метода. В частности, описываются каждая из трех шкал измерения, требование для сотрудников и необходимая документальная поддержка анализа. В статье подчеркивается важность и значимость оценки FMEA как инструмента, позволяющего предприятию избежать дополнительных затрат, предотвратить снижение качества своей продукции и минимизировать возможные риски для запуска новой системы. Регулярно упоминается, что этот метод может применяться практически в любой области и по отношению ко всем системам, отдельным процессам и даже элементам. Приведены краткие примеры реализации метода в разных сферах. Описываются свойства метода, такие как адаптивность, итеративность, иерархия, позволяющие внедрять и модифицировать анализ на любых этапах его проведения. Дана схема многообразий метода по иерархии. Показаны особенности анализа с помощью FMEA. В конце статьи кратко описаны преимущества метода, подтверждающие его эффективность, несмотря на некоторую сложность в процессе реализации, а также отмечено, что детальный сбор информации, составляющий данную сложность, является одновременно и преимуществом для результативности анализа*

**Ключевые слова:** *количественный анализ рисков, анализ FMEA, документация, измерительная шкала, итеративность, снижение затрат*

### Для цитирования:

Иванова Н.Л., Пупенцова С.В. Количественный анализ рисков с помощью метода оценки последствия отказов // Организатор производства. 2017. Т.25. №4. С. 92-101.

DOI: 10.25065/1810-4894-2017-25-4-92-101

## THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF RISKS USING THE METHOD OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS

**N.L. Ivanova, S.V. Pupentsova**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
29, Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

The article introduces the method of FMEA (Failure Mode and Effects Analysis). The material presents the the main requirements for analysis, carried out with the help of this method. In particular, it describes

### Сведения об авторах:

**Наталья Леонидовна Иванова** (*natali\_hello@mail.ru*), аспирант Высшей школы промышленного менеджмента и экономики.

**Светлана Валентиновна Пупенцова** (канд. экон. наук, *pupentsova\_sv@spbstu.ru*), доцент Высшей школы промышленного менеджмента и экономики.

### On authors:

**Nataliya L. Ivanovna** (*natali\_hello@mail.ru*), Graduate Student of the Higher School of Industrial Management and Economics.

**Svetlana V. Pupentsova** (Cand. Sci. (Economic), *pupentsova\_sv@spbstu.ru*), Assistant Professor of the Higher School of Industrial Management and Economics.

each of the three measurement scales, the requirements for employees and the relevant documentary back-up for the analysis. The article highlights the significance and relevance of FMEA assessment as a tool, enabling an enterprise to avoid additional costs, prevent the decline in product quality and minimize possible risks for launching a new system. It is regularly mentioned that this method can be applied in almost any area and with respect to all systems, individual processes and, even, elements. The paper presents brief examples of how this method is implemented in various spheres. The properties of the method are described, such as adaptivity, iterativity and hierarchy, helping to implement and modify the analysis at any stage of its conduction. The scheme of manifolds of the method is presented in the hierarchical order. The features of FMEA-based analysis have been shown. At the end of the article, the advantages of the method are briefly described, proving its efficiency despite some complexity of its implementation. It is also noted that the scrupulous data collection, causing the complexity, is also an advantage for effectiveness of the analysis

**Key words:** quantitative analysis of risks, FMEA analysis, measuring scale, iterativity, cost decline

### For citation:

Ivanova N.L., Pupentsova S.V. (2017). The quantitative analysis of risks using the method of failure mode and effects analysis. *Organizator proizvodstva* = Organizer of Production, 25(4), 92-101.

**DOI:** 10.25065/1810-4894-2017-25-4-92-101 (in Russian)

### Введение

В настоящее время одной из основных целей компании является увеличение стоимости фирмы. Для достижения этой цели необходимо учитывать не только внешнюю среду, как ориентир на конкурентном рынке, но и внутреннюю среду.

Исходя из данных о внешней и внутренней среде, формулируются качественные цели, а также разрабатываются показатели, определяющие конкурентный статус организации. Для того чтобы компания сохраняла свои позиции на рынке и даже улучшала своё положение, необходимо принимать важные решения на разных этапах жизненного цикла организации. Контроль над текущим положением направлен на поддержание существующего конкурентного преимущества организации путём использования тактических средств и методов управления. В условиях конкурентного рынка огромное значение имеет скорость принятия решений и своевременное отслеживание отклонений от намеченной цели. И необходимо не только контролировать ход процесса, но также быть готовым к реагированию на критическую ситуацию и выявлению причин её возникновения. В данном материале предлагается использовать метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) как инструмент контроля и принятия решений на разных этапах жизненного цикла. А также отметить особенность метода – его итеративность, которая при необходимом уровне детализации сможет помочь в выявлении скрытых взаимосвязей между элементами организации.

### Теория проблемы

Возник метод первоначально в инженерной среде в 50-х годах XX века, и сначала применялся для авиационной и космической техники. Он использовался для анализа видов и последствий отказов применительно к конструкциям и процессам в технической сфере. Впервые разработан и опубликован военно-промышленным комплексом США в форме стандарта, он и по сей день является популярным методом, применяемым в разных областях науки. В 1970-х годах методология FMEA была применена в автомобильной промышленности компанией Ford для повышения надёжности и безопасности автомобилей. Компания также использовала FMEA для улучшения дизайна и производственного процесса. А с 1988 года метод использовался членами «Большой Тройки» (GM, Ford, Chrysler). С 1993 года методология FMEA вошла в стандарты AIAG и American Society for Quality Control.

В настоящий момент на многих фирмах – и особенно в автомобильной промышленности – FMEA является составной частью системы менеджмента качества и используется при поставке комплектующих изделий. Так применение FMEA является обязательным требованием стандарта ИСО/ТУ 16949 (подразделы 7.3, 8.5) и других стандартов автомобильной, аэрокосмической и авиационной промышленности.

Как любой метод, с течением времени он претерпевал изменения и развивался. Несмотря на то, что суть метода остаётся схожей, способность адаптироваться под другие сферы

деятельности вносит свои коррективы в механизм реализации.

### Данные и методы

На данный момент существуют следующие разновидности данного метода: FMEA – метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов; DFMEA – анализ видов и последствий потенциальных отказов конструкции; PFMEA – анализ видов и последствий потенциальных отказов процесса.

Методика DFMEA применяется при конструировании (модернизации) деталей, изделия, продукта. Методика PFMEA применяется при разработке (модернизации) технологий производства продукции. В классическом представлении метод FMEA позволяет идентифицировать риск, проанализировать его и дать оценку в виде значимости риска. Для анализа риска берутся такие данные как последствия отказа, вероятность отказа и величина риска в применении к технической сфере. Методология FMEA позволяет оценить риски и возможный ущерб, вызванный потенциальным несоответствием состояния объекта и требованиям к нему, условий и возможности реализации и т.п. Данный метод не анализирует напрямую показатели, а позволяет выявить дефекты (недостатки), обуславливающие наибольший риск потребителя. Стоит обратить внимание, что помимо обнаружения самого недостатка, за счёт применения метода становится возможным определить потенциальные причины риска. Собрав с помощью одного из этапов метода указанную информацию, представляется возможным разработать предупреждающие и корректирующие действия. Таким образом, получается возможным избежать в дальнейшем издержек по исправлению последствий риска, затрат в случае несвоевременного обнаружения риска и т.п. Областью применения может быть любая сфера: оборонная промышленность, автомобильная, авиакосмическая, нефтегазовая, гражданское строительство, атомная промышленность, железнодорожные системы и др. В 1970-х годах идеи FMEA были подхвачены атомной промышленностью [7], тяжелым машиностроением [8] и разработчиками программного обеспечения [9]. В 1980-е годы FMEA стали активно применять производители автомобилей [10], гражданской электроники [11] и предприятия общего машиностроения [12]. К концу 20 века методика FMEA применялась почти во всех производ-

ственных отраслях, включая нефтехимию и энергетику [13].

### Полученные результаты

Метод FMEA применим для выявления дефектов любых проектов. Под проектом будем понимать: любую часть, элемент, устройство, подсистему, функциональную единицу, аппаратуру или систему, которую можно рассматривать самостоятельно. Объект может состоять из технических средств, программных средств или их сочетания и может также, в частных случаях, включать в себя технический персонал. Может представлять собой ряд объектов, их совокупность или выборку [1]. Процесс также может быть рассмотрен как объект, который выполняет заданную функцию. Таким образом, представляется возможным приложить данный метод к любому объекту, который необходимо проанализировать. В случае работы со сложными техническими объектами или процессами их изготовления анализу подвергается как объект или процесс в целом, так и их составляющие; дефекты составляющих рассматриваются по их влиянию на объект (или процесс), в который они входят.

Отличительной особенностью метода является то, что он позволяет количественно оценить значимость риска. В современных условиях важным являясь именно количественная оценка рисков, чтобы в дальнейшем эту информацию по величине риска можно было использовать для целей улучшения. Именно количественной оценкой метод FMEA-анализа отличается от таких методов как HAZOP, чек-листы. В методе предлагается оценивать следующие параметры: значимость риска, степень его воздействия и вероятность возникновения риска.

Оценка показателей выполняется в рамках предложенной в табл. 1 шкалы значимости последствий риска.

В список оцениваемых угроз не стоит включать те, возникновение которых предугадать становится невозможным, а также те, появление которых практически не повлияет на ход процесса. Ввиду зависимости от множества факторов, стоит объективно оценить те, которые действительно могут быть подвержены изменению с целью предотвращения риска, и контроль за которыми нужен в отдельном порядке. При оценке значимости риска параметры привязываются к эффективности функционирования и возможным изменениям именно по достижению результата. В случае если поломка незначитель-

на, может быть исправлена немедленно и не приведёт к изменению результата реализации проекта, то обозначать в данном списке её не обязательно. Но в случае если риск будет снижен за счёт разработанных по его предотвращению мер, то фактор риска с высоким показателем значимости будет опущен по шкале вниз.

Шкала баллов воздействия, приведенная в табл. 2, определяется в соответствии с результатами достижения – т.е. насколько сильными могут

быть последствия для организации. Здесь могут рассматриваться различные ограничения, такие как затраты, время реализации и прочие. Последствия воздействий могут быть установлены в соответствие с ограничениями, которые есть по проекту. Также здесь присутствует зависимость от отрасли, в которой применяется метод и от системы, которая подвергается анализу.

Таблица 1

Значимость последствий риска		
Тип последствия	Значимость последствия	Балл
Опасное	Очень высокая значимость. Возникновение риска может поставить под угрозу полностью всю системы. Для промышленности это может быть срыв производственного процесса и остановка линий, для экономики это можно интерпретировать как "поломку" в определённом элементе или сразу нескольких элементах системы, исключающую дальнейшее функционирование.	10
Опасное	Весьма высокий ранг значимости. Угроза ухудшает экономическую эффективность, также может привести к срыву.	9
Очень важное	Высокий ранг значимости. Оказывает влияние сразу на несколько элементов и экономических показателей эффективности.	8
Важное	Средний ранг значимости. Снижение эффективности функционирования. Также могут выйти из строя один или несколько элементов, но при этом происходит не полная остановка, а лишь ухудшение показателей эффективности.	7
Умеренное	Умеренный ранг значимости. Когда эффективность снижается, но при этом выполнение заданной цели не подвергается риску.	6
Слабое	Слабая значимость. Достижению цели ничего не мешает, но возможно снижение результативности.	5
Очень слабое	Очень слабое значение. Возникновение той же ситуации, что и в случае слабого значения, только приводящее к меньшему снижению результативности.	4
Незначительное	Еще меньше негативных последствий, чем от событий очень слабой значимости.	3
Очень незначительное	В результате возникновения риска возможно лишь незначительное колебание показателей эффективности.	2
Отсутствует	Нет последствий	1

Таблица 2

Оказываемое риском воздействие		
Тип воздействия	Оказываемое воздействие	Балл
Абсолютное	Высокая вероятность недостижения поставленной цели	10
Сильное	Превышение ограничений на 40-50%	9
Выше среднего	Превышение ограничений на 30-40%	8
Среднее	Превышение ограничения на 20-30%	7
Минимальное	Превышение ограничений на 10-20%	6
Низкое	Превышение на 10%	5
Очень низкое	Превышение менее, чем на 10%	4
Допустимое	Может потребоваться вовлечение почти всех резервных ресурсов	3
Незначительное	Может потребоваться вовлечение некоторого числа резервных ресурсов	2
Отсутствует	Отсутствие воздействия	1

Третьим показателем является частота возникновения риска. Баллы присваиваются в соответствии с вероятностью возникновения. Для оценки вероятности по возможности следует использовать имеющиеся статистические данные по подобным изделиям/процессам. В случае отсутствия статистических данных можно вос-

пользоваться экспертной оценкой. В случае необходимости, если не получается достичь нужного результата, процесс экспертной оценки можно запустить снова и представить обновлённые данные для ранжирования. Шкала, в соответствии с которой рекомендуется оценивать вероятность возникновения риска, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Определение вероятности возникновения		
Вероятность возникновения	Критерии определения вероятности возникновения	Балл
Очень высокая	Возникновение риска неизбежно или вероятность самая высокая из возможных.	10-9
Высокая	Высокая вероятность или частое возникновение риска	8-7
Умеренно высокая	Вероятность возникновения риска 50/50	6
Умеренная	Возникновение риска меньше 50%	5
Умеренная невысокая	Возникновение риска можно назвать редким	4
Низкая	Вероятность появления риска сведена к минимуму или страхование от риска	3-2
Малая	Наступление риска маловероятно	1

Расчётная часть метода состоит в определении приоритетного числа (ПЧР) рисков по следующей формуле:

$$\text{ПЧР} = S \times I \times O, \quad (1)$$

где  $S$  – значимость последствий от риска,  $I$  – оказываемое риском воздействие,  $O$  – вероятность наступления критической ситуации.

В случае если у одного риска существует несколько вероятных последствий, то ПЧР рассчитывается несколько раз.

Исходя из суммы ПЧР отдельных рисков, образуется общий показатель ПЧР для каждого проекта или подразделения предприятия – ПЧР<sub>общ</sub>. Далее ПЧР<sub>общ</sub> сравнивается с ПЧР граничным (ПЧР<sub>гр</sub>), который должен быть заранее определён. В технической литературе аналогичный показатель называют RiskPriorityNumber (RPN) и оценивают субъективной мерой тяжести последствий и вероятностью возникновения отказа в течение заданного периода времени (используемого для анализа) [1].

По результатам оценки составляется список ПЧР<sub>общ</sub> для каждого проекта и упорядочивается в порядке возрастания. Проекты с ПЧР<sub>общ</sub>, превысившие ПЧР<sub>гр</sub> не попадают в данный список.

В результате оценки выявляются проекты с наименьшими рисками. Именно их и стоит продвигать и осуществлять на производстве,

предприятии или в отдельном подразделении. Для осуществления выбранных мероприятий подготавливается вся необходимая документация и определяется финансирование. В случае, если рассматривается производственный процесс, то этими проектами являются элементы, функционирование которых практически готово к работе и может быть запущено. Все остальные элементы, не прошедшие отбор, остаются в списке на доработку и здесь уже вступает такое свойство метода FMEA, как итеративность, позволяющее снова и снова проводить анализ рисков с целью уменьшения его последствий.

Метод применим на любых этапах жизненного цикла. В период проектирования, в процессе улучшения любой системы или анализа уже существующей системы.

В таблице отражаются последствия отказа, под которым понимается следствие вида отказа для функционирования или статуса проекта. Кроме того, разновидности метода могут быть связаны между собой. Например, по принципу детализации, когда один из видов позволяет более детально рассмотреть причинно-следственные связи другого вида метода в отношении поиска «корня» проблем. Примером такой связи может быть сочетание FMEA конструкции и процесса в технической сфере, а в экономической – выявление влияния, например, недостатков системы управления человеческими

ресурсами на систему производства. Таким образом, результат – последний столбец анализа системы может представлять собой объект – первый столбец анализа конструкции (система управления человеческими ресурсами).

Важнейшее условие эффективности метода анализа видов и последствий рисков это своевременность. В случае наступления угрозы предприятие должно быть готово принимать необходимые меры. А без критических моментов – предупреждать появление нежелательных ситуаций. Данный метод стоит применять либо на самых ранних стадиях реализации или до неё, либо немедленно после того, как риск обнаружится.

Анализ может повторяться несколько раз, у организаторов есть возможность измерить результат внесенных изменений для уменьшения риска, отклонения с ожидаемыми результатами или выявить неверно определенные зависимости и взаимосвязи. Таким образом, лицо, принимающее решение, может сравнивать результаты отдельных элементов между собой, изменяя используемые данные и при этом не нарушать хода самого анализа, а лишь изменяя конечный результат некоторой части.

Стоит также отметить структуру данного метода. Благодаря итеративности метода, становится возможным спускаться от одного уровня регулирования к другому. Когда к работе привлекаются специалисты разных уровней управления, появляется возможность обнаружить зависимости, которые ранее даже не входили в исследуемую выборку. Здесь снова стоит отметить некоторые рекомендации по составу команды – работающая над анализом команда должна состоять из различного рода специалистов, но и о персонале, как составляющей анализа.

FMEA-анализ бизнес-процессов обычно производится непосредственно в подразделении, выполняющем этот бизнес-процесс. В его проведении, кроме представителей этого подразделения, обычно принимают участие представители службы обеспечения качества, представители подразделений, являющихся внутренними потребителями результатов бизнес-процесса и подразделений, участвующих в соответствии с матрицей ответственности в выполнении стадий этого бизнес-процесса.

Для проведения анализа необходимо подготовить команду специалистов, способную в

полной мере оценить все причинно-следственные связи в структуре исследуемого проекта. Рекомендуется собирать команду из 4-8 человек, которые будут работать над анализом. В данной команде желательно постоянное присутствие одного и того же состава специалистов, однако в случаях необходимости получения дополнительной или специфической информации, может быть привлечён и ранее не участвовавший в обсуждении специалист. Также, в случае если проект можно разбить на составляющие для отдельных членов команды, может возникнуть ситуация, когда требуется присутствие не всех специалистов. В таком случае для обсуждения проекта остаются только те специалисты, в область ответственности которых входит обсуждаемая часть проекта.

Согласно источникам технической литературы, FMEA-команда (межфункциональная команда) представляет собой временный коллектив из разных специалистов, созданный специально для цели анализа и доработки конструкции и (или) процесса изготовления данного технического объекта. Таким образом, видно, что по каждой отдельной функции проекта должен быть подобран специалист, владеющий информацией о её специфике.

При этом к специалистам в государственном стандарте выдвигается ряд требований: сотрудники должны иметь практический опыт по обсуждаемым вопросам и иметь высокий профессиональный уровень. Этот опыт предполагает для каждого члена команды значительную работу в прошлом с аналогичными проектами. Отсюда можно сделать вывод, что специалистов для проведения проекта можно нанимать не только из собственной организации, но также со стороны и с других предприятий и фирм.

В своей работе FMEA-специалисты применяют метод мозгового штурма, с рекомендованным в государственном стандарте временем работы в сутки – 3-6 часов. Сотрудники должны учитывать свой предыдущий опыт, однако в случае несоответствия его с текущими нормами современного развития технологий, устаревания или не актуальности информации, они должны отбросить этот опыт и максимально эффективно осуществлять решение вопроса с учётом новых данных.

Также в процессе «мозгового штурма» предполагается, что сотрудники могут критико-

вать идеи друг друга, что не должно влиять на результаты работы команды. Каждый участник стремиться к достижению целей анализа проекта с помощью метода FMEA и должен отражать практически и теоретически важные аспекты при проведении оценки без влияния личностного фактора.

Немаловажным является согласованность действий всех членов команды. Можно сказать, что от этого напрямую зависит эффективность анализа. В процессе анализа членами команды должна быть проявлена слаженность в работе, способность воспринять и взвесить предложенную информацию, прокомментировать её и обосновать. Командная работа – вот одно из основных условий успешного проведения FMEA-анализа.

Ещё одной из особенностей метода является необходимость большого количества данных для проведения анализа и оценки. Чтобы с достаточной степенью обосновать причины риска необходимо обладать достоверной информацией о проходящих внутри проекта процессах. Для сбора данных может потребоваться довольно много времени, ведь каждый участок проекта будет подвергнут тщательному анализу, причём со стороны различного рода специалистов. Исходные данные для анализа FMEA процесса должны содержать информацию о процессе и продукте, требованиях, предъявляемых к системе в целом и отдельным ее составляющим, факторах окружающей среды, влияющих на результаты.

Чем более качественной будет собранная информация, тем более точно специалисты смогут определить угрозы, которые могут возникнуть при запуске или функционировании проекта. Чем более достаточным будет объём подготовленной информации, тем меньше времени в процессе анализа займёт поиск недостающих данных.

После того как команда оценила и выбрала готовые варианты проектов, которые можно реализовывать, подготавливаются документы для реализации данного проекта. Помимо тех проектов, которые прошли граничные значения ПЧР<sub>гр</sub>, остаются те, показатель которых был выше предельного. С этими проектами действия на этом не заканчиваются.

Помимо довольно затратного сбора данных для FMEA-анализа на предварительной стадии, в период заключительной стадии также существу-

ют некоторые особенности. Тот факт, что метод изначально пришёл из инженерной области, объясняет наличие большого числа регламентирующих документов. Так разработка любой конструкции сопровождается большим количеством технической документации, в которой приводится подробное описание объекта, все его свойства, функции, возможности, прикладываются дополнительные справки об ответственных лицах. После каждого проведённого изменения или внедрения подписывается акт о проделанных работах, а также указываются все участники процесса. Данную требовательность к документированию перенял для себя и метод FMEA. По результатам проведённого анализа подготавливаются листы регистрации изменений. При проведении анализа данным методом подчёркивается важность распределения ответственности. За каждым изменением не только пристально следят и документально фиксируют его, а также назначают ответственных лиц, отвечающих за внесение изменения.

Поскольку FMEA-метод является итерационным, он позволяет проводить процедуру анализа несколько раз и вносить изменения. Изменения могут вноситься в первоначальные данные, могут вноситься в саму структуру процесса, могут менять всю систему полностью или только её часть. В задачи команды аналитиков входит разработка предложений по изменению показателя ПЧР для каждого возможного проекта. В случае, если после повторного обнаружения превышения граничного ПЧР<sub>гр</sub> показателя проекта, можно заново быть запущен механизм анализа. Строятся дополнительные причинно-следственные связи, позволяющие более глубоко проработать проблему. На этом этапе могут выявиться связи, значению которых раньше не придавалось внимание. Так, например, из FMEA-системы можно спуститься до уровня FMEA-конструкции, а из FMEA-конструкции – в FMEA-процесса. Таким примером на любом производственном предприятии может стать ситуация, когда причиной срыва производства из-за недопоставки материалов будет не недобросовестность поставщика, а некорректное введение информации в систему документооборота, что может привести к позднему информированию поставщика о сдвинувшихся требуемых сроках поставки.

Выше упоминалось, что существуют разновидности метода FMEA, такие как DFMEA и

PFMEA. В инженерных кругах их называют DFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий конструкции, и PFMEA – анализ видов и последствий потенциальных несоответствий технологических процессов.

DFMEA может проводиться как для разрабатываемой конструкции, так и для уже существующей. Целью проведения такого анализа является выявление потенциальных несоответствий конструкции, вызывающих наибольший риск потребителя и внесение изменений в конструкцию изделия, которые бы позволили снизить такой риск. Результаты DFMEA являются входной информацией для последующего PFMEA. PFMEA обычно проводится при планировании производства с участием представителей заинтересованных служб и, при необходимости, представителей потребителя. Проведение PFMEA начинается на стадии технической подготовки производства и заканчивается своевременно до монтажа производственного оборудования [17-20].

Пусть данное применение указано для технической сферы, в частности для автомобилестроения, легко можно провести аналогию на любой другой типа производства, например, лёгкой промышленности, где в качестве конструкции будет готовый продукт технологического процесса. Можно переложить произошедшую экологическую проблему, где в качестве конструкции будет состояние окружающей среды и угрозы, которые создаётся результатом жизнедеятельности человека.

Таким образом, можно сделать вывод, что проводимый на ранних или предварительных этапах осуществления проекта анализ FMEA позволяет избежать значительных издержек в будущем. Он позволяет ещё в самом начале определить большинство недостатков функционирования системы, определить «узкие» места, выявить причинно-следственные связи между элементами процесса и проанализировать их. К примеру, на любом производстве, ориентированном на клиента будет важным, какую обратную связь получит производитель, не говоря уже о стремлении любой компании поддерживать свой имидж на самом высоком уровне. В сфере экологии с помощью данного метода могут быть разработаны предупреждающие меры негативного влияния на природу. К примеру, при обнаружении риска выбросов вредного производства будет предложено разработать механизм

по очистке и назначить ответственных за эту разработку, или предусмотреть меры по ликвидации данных вредных последствий в случае, если риск возникновения не велик. В применении к процессу можно назвать риск срыва сроков поставки: покупатель может не получить продукцию в условленный срок или ненадлежащего качества, что может привести к отказу или необходимости доработки продукта. Это повлечёт за собой дополнительные издержки транспортного характера, возмещения убытков покупателю, затратам на утилизацию или доработку продукта. Риски от продукции ненадлежащего качества повлекут за собой затраты на улучшение системы менеджмента качества. А в области инвестирования возможно неверное вложение и распределение средств в предлагаемые проекты.

Исходя из описанного выше, использование метода FMEA в качестве инструмента оценки рисков организации позволяет не только оценить широкий круг проблем разного характера, но также создаёт уверенность в довольно тщательной проработке каждого отдельного элемента самой системы на предмет возможных угроз и критических ситуаций за счёт привлечения квалифицированных сотрудников как из организации, так и извне. Рассмотрение проблем с точки зрения специалистов разных сфер и уровней позволяет определить критические ситуации с разных сторон и дать им более полную и взвешенную оценку.

Метод FMEA считается не самым лёгким на подготовительном этапе, а также довольно кропотливым является процесс обработки информации и анализа, но получаемая в итоге количественная оценка риска выделяет данный метод из числа других. А сложность в сборе большого объёма требуемых данных позже может оказаться преимуществом, при последующем анализе критической ситуации и возможных её последствиях. Чёткое документирование самого процесса, каждого его результата и вносимых изменений позволяет в любой момент отыскать новый путь, в случае, если произошёл какой-либо сбой. Поэтому такой недостаток метода, как наличие большого количества документации и отчётов можно считать вполне оправданным. Возможность проводить анализ неоднократно и при выявлении новых факторов влияния или изменениях даёт возможность не упустить из виду ранее неучтённые риски, а способность системы анализа методом

FMEA адаптироваться позволяет смело переходить идущему процессу анализа из одного подразделения в другое, от одного уровня к более низкому или высокому.

### Библиографический список

1. Акимов В.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. 368с.
2. Управление и оптимизация производственного предприятия. URL: <http://product.ru/methods-of-searching-for-new-ideas/methods-of-control> (дата обращения 11.05.2017)
3. Лукманова И.Г., Нежникова Е.В., Акёнова А.А. Создание системы менеджмента качества, охраны здоровья, безопасности и экологии в строительной отрасли: монография. М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2014. 136 с.
4. Мирошников В.В., Филипчук А.А. FMEA-методологии для качественной оценки рисков инвестиционных проектов малого и среднего предпринимательства // Государственное управление. Электронный вестник. 2011. №28. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-fmea-metodologii-dlya-kachestvennoy-otsenki-riskov-investitsionnyh-proektov-malogo-i-srednego-predprinimatelstva> (дата обращения: 11.05.2017)
5. G.Byrne and C.Sheahan. Integrated risk minimization methodology for high volume manufacture. — Journal of Manufacturing Technology Management, 2007, v.18, №5, p.538–548.
6. Spath P.L., Using FMEA to improve patient safety — AORN Journal, July 2003, v.78, № 1, p.15–37.
7. Tashjian B.M., The Failure Modes and Effects Analysis as a Design Tool for Nuclear Safety Systems. — IEEE PES Summer Meeting & Energy Resources Conference, Anaheim, California, July 14–19, 1974.
8. Onodera K. et al. Reliability Assessment for Heavy Machinery by HI-FMECA Method. — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, 1977.
9. Reifer D.J., Software Failure Modes and Effects Analysis. — IEEE Transactions on Reliability, 1979, v.28, № 3, p.247–249.
10. Dale B.G., P.Shaw. Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor Industry: A State of the Art Study — Quality & Reliability Engineering International, 1990, v.6, p.179–188.
11. Kenyon R.L., Newell R.J. FMEA Technique for Microcomputer Assemblies — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, CA, 1982.
12. B.Bertsche. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering. — VDI-Buch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
13. Ainscough M., B.Yazdani. — Concurrent Engineering within British Industry — Concurrent Engineering, 2000, v.8, no.2, pp.2–11.
14. Розенталь Р. Методика FMEA. Путь повышения качества продукции // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. №7–7/2010 URL: <http://www.electronics.ru/>
15. Основы FMEA // SixSigmaonline. –URL: <http://sixsigmaonline.ru/load/15-1-0-69>
16. Юнак Г.Л., Годлевский В.Е., Иванов Г.В. Опыт проведения различных видов FMEA и общее планирование FMEA автомобиля // Ассоциация Деминга. URL: <http://www.deming.ru>.
17. Электронный ресурс. URL: [http://www.new-quality.ru/lib/FMEA\\_new-quality.pdf](http://www.new-quality.ru/lib/FMEA_new-quality.pdf) (дата обращения 15.05.2017)
18. Гришунин С.В., Сулоева С.Б. Организация процесса сопровождения кредитных рейтингов в компании на основе концепции контроллинга // Контроллинг. 2016. №56. С. 42-51
19. Сулоева С.Б., Гульцева О.Б. Традиционные и современные системы управления затратами: сущность и особенности // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2016. №4(246). С. 173-180.
20. Пупенцова С.В. Управление рисками при оценке активов и бизнеса в современных условиях // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2009. № 9 (96). С. 56-64

Поступила в редакцию – 12 ноября 2017 г.  
Принята в печать – 20 декабря 2017 г.

References

1. Akimov V.A. (2002). The reliability of technical systems and man-made risk. Moscow: CJSC Financial Publishing House «Delovoy Ekspress», 368.
2. Management and optimization of an industrial enterprise // E-resource. URL: <http://produc.ru/methods-of-searching-for-new-ideas/methods-of-control> (Date of address 11.05.2017)
3. Lukmanova I.G., Nezhnikova E.V., Aksenova A.A. (2014). Creating the system of quality management, health protection, security and ecology in the construction industry: a monograph / the RF Ministry of Education and Science, Moscow: Moscow State University of Construction, 136 p.
4. Miroshnikov V.V., Filipchuk A.A. (2011). FMEA-methodology for qualitative assessment of risks in investment projects of small- and medium-sized business // Public Administration. E-resource. № 28. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-fmea-metodologii-dlya-kachestvennoy-otsenki-riskov-investitsionnyh-proektov-malogo-i-srednego-predprinimatelstva> (date of address: 11.05.2017)
5. G. Byrne and C. Sheahan. Integrated risk minimization methodology for high-volume manufacture. The Journal of Manufacturing Technology Management, 2007, V.18, № 5, PP.538–548.
6. Spath P.L. Using FMEA to improve patient safety — AORN Journal, July 2003, V.78, № 1, PP.15–37.
7. Tashjian B.M., The Failure Modes and Effects Analysis as a Design Tool for Nuclear Safety Systems. — IEEE PES Summer Meeting & Energy Resources Conference, Anaheim, California, July 14–19, 1974.
8. Onodera K. et al. Reliability Assessment for Heavy Machinery by HI-FMECA Method. — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, Pennsylvania, 1977.
9. Reifer D.J., Software Failure Modes and Effects Analysis. — IEEE Transactions on Reliability, 1979, V.28, № 3, PP.247–249.
10. Dale B.G., P.Shaw. Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor Industry: A State of the Art Study — Quality & Reliability Engineering International, 1990, V.6, PP.179–188.
11. Kenyon R.L., Newell R.J. FMEA Technique for Microcomputer Assemblies — Annual Reliability and Maintainability Symposium, Los Angeles, CA, 1982.
12. B.Bertsche. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering. VDI-Buch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
13. Ainscough M., B.Yazdani. Concurrent Engineering within British Industry. Concurrent Engineering, 2000, v.8, no.2, pp.2–11.
14. Rozental R. The methodology of FMEA. The way of increasing product quality // Electronics: science, technology, business. 2010, №7–7/2010 – URL: <http://www.electronics.ru/>
15. The fundamentals of FMEA // SixSigmaonline. –URL: <http://sixsigmaonline.ru/load/15-1-0-69>
16. Yunak G.L., Godlevsky V.E., Ivanov G.V. The experience of conducting various types of FMEA and general FMEA planning of a motor car // Deming's Association. URL: <http://www.deming.ru>.
17. E-resource. URL: [http://www.new-quality.ru/lib/FMEA\\_new-quality.pdf](http://www.new-quality.ru/lib/FMEA_new-quality.pdf) (date of address: обращения 15.05.2017)
18. Grishunin S.V., Suloeva S.B. (2016). Organizing the procedure of supporting the credit ratings of the company on the basis of the controlling concept // Controlling. №56. PP. 42-51.
19. Suloeva S.B., Gultseva O.B. (2016). The traditional and modern systems of cost management: essence and features // The scientific and technical news of St. Petersburg State Polytechnical University. Economic science. № 4 (246). 173-180.
20. Pupentsova S.V. (2009). Risk management in assessing the assets and business in contemporary conditions // Property relations in the Russian Federation. № 9 (96). 56-64.

Received – 12 November 2017.

Accepted for publication – 20 December 2017.