**ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПРОЦЕССУ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Краснокутский Николай Николаевич

Институт машиноведения и мехатроники /кафедра технического регулирования и метрологии, Университет Сибирский государственный университет науки и технологий имени М.Ф. Решетнева

Для обеспечения безусловной реализации установленных требований к созданию, производству и эксплуатации ракетно-космической техники (РКТ) необходимо совершенствовать действующую систему менеджмента качества (СМК) путем внедрения риск-ориентированного подхода в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015 "Системы менеджмента качества. Требования». Это значит, что организации необходимо сначала идентифицировать и оценить риски, а затем разработать и внедрить мероприятия по их управлению.

Деятельность любого машиностроительного мероприятия связана с рисками, которые могут возникнуть на протяжении всего жизненного цикла. Ни одно машиностроительное предприятие не застраховано от возникновения рисков, таких, например, как простой оборудования, ошибки в технической документации, потери рабочего времени, отсутствие необходимого количества исходных материалов, повышенный процент брака производимой продукции, риск износа оборудования. Установление концепции риск-ориентированного мышления является новым требованием ГОСТ Р ИСО 9001-2015, поэтому работа направленная на разработку мероприятий по минимизации степени влияния риска и его устранению является актуальной.

Целью данной работы является применение риск-ориентированного подхода к процессу метрологического обеспечения машиностроительного предприятия на основе FMEA-анализа.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

-провести литературный обзор по методам оценки рисков;

-изучить процесс «Метрологическое обеспечение производства» на машиностроительном предприятии;

-применить FMEA-анализ к процессу «Метрологическое обеспечение производства»;

-разработать рекомендации по снижению рисков;

-разработать проект стандарта организации «Методика анализа видов и последствий отказов процесса "Метрологическое обеспечение производства"».

Практическое применение FMEA-анализа рассмотрено на примере процесса «Метрологическое обеспечение производства», который включает:

-метрологическую экспертизу технической документации;

-калибровку измерительного оборудования;

-аттестацию испытательного оборудования;

-ремонт измерительного оборудования;

-подготовку к поверке измерительного оборудования.

Метрологическая экспертиза технической документации (МЭ ТД) представляет собой анализ и оценивание технических решений в части метрологического обеспечения. Метрологическая экспертиза (МЭ) - часть комплекса работ по метрологическому обеспечению и может являться частью технической экспертизы конструкторской, технологической и проектной документации. Общая цель метрологической экспертизы– обеспечение эффективности метрологического обеспечения, выполнение общих и конкретных требований к метрологическому обеспечению наиболее рациональными методами и средствами.

После подробного изучения выделили в рассматриваемом процессе четыре подпроцесса, корректность выполнения которых наиболее сильно влияет на качество процесса метрологической экспертизы в целом: 1) проверка комплектности технической документации. Регистрация поступившей на МЭ технической документации в журнале учета; 2) определение перечня конкретных задач в зависимости от вида технической документации; 3) анализ и оценка технических решений в части метрологического обеспечения (МО); 4) оформление результатов метрологической экспертизы.

Анализ этих подпроцессов выявил возможные формы отказов: 1) собран не весь комплект технической документации; 2) не правильно определен перечень конкретных задач, неопределенность трактовки, подлежащей измерению величины; 3) избыточность измеряемых параметров; 4) неправильно указан предел измерений СИ; 5) используется неправильное или неполное обозначение наименования и метрологических характеристик СИ; 6) затруднен доступ к элементам, обеспечивающим регулировку и настройку встроенных СИ; 7) недоступны средства измерений в условиях эксплуатации; 8) алгоритм вычислений не в полной мере соответствует функции, связывающую измеряемую величину с результатами; 9) замечания экспертов (ошибки и недостатки).

На следующем этапе работы для каждого подпроцесса:

-выявили основные риски, их причины и последствия;

-количественно оценили риски для каждого подпроцесса и вычислили приоритетные числа риска возможных метрологических ошибок.

Далее был проведен FMEA-анализ процесса «Метрологическая экспертиза технической документации» с использованием 2-х показателей. Количественная оценка факторов S (значимость метрологической ошибки), О (вероятность возникновения метрологической ошибки) была произведена по квалиметрическим шкалам, основанных на статистических данных машиностроительного предприятия.

Результаты работы при назначении числовых значений факторов О и S, а также вычисленные значения приоритетных чисел риска возможных отказов приведены в таблице 1.

*Таблица 1. Результаты проведения FMEA-анализа процесса «Метрологическая экспертиза технической документации»*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Этапы процесса** | **Потенциальное несоответствие** | **Последствие потенциального несоответствия** | **Потенциальная причина или механизм несоответствия** | **S** | **O** | **ПЧР** | **Действующие меры** |
| 1.Проверка комплект-ности тех-нической до-кументации. Регистрация поступившей на МЭ техни-ческой доку-ментации в журнале уче-та | Конструктор представил на метроло-гическую экспертизу документа-цию не в полном комплекте | Невозможность проведения метрологичес-кой экспертизы | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная сосредоточен-ность и внимание рабочих. | 4 | 2 | 8 | Повысить квалификацию; Представлять чертежи, схемы, технические условия, программы испытаний, расчеты, типовые техпроцессы и другие ссылочные документы, содержащие соответствующие обоснования принятых технических решений по метрологическому обеспечению. |
| 2. Определение перечня кон-кретных за-дач в зависи-мости от вида техни-ческой доку-ментации. | Не правильно определен перечень конкретных задач | Доработка документа, задержка проведения метрологической экспертизы  | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная мотивация рабочих; | 3 | 3 | 9 | Повысить квалификацию;  |
| 3. Анализ и оценка тех-нических решений в части МО:- оценивание рациональ-ности номенклату-ры измеряемых параметров | -неопреде-ленность трактовки, подлежащей измерению величины;- избыточ-ность измеряемых параметров;  | -большие неучтенные погрешности измерения;-неоправданные затраты на измерения и метрологическое обслуживание средств измерений  | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная мотивация рабочих;- недостаточная сосредоточен-ность и внимание рабочих. | 5 | 3 | 15 | Повысить квалификацию |
| - оценивание оптималь-ности требований к точности измерений; | Уменьшение погрешности измерения  | Экономические затраты  | Недостаточная квалификация  | 7 | 2 | 14 | Руководство-ваться положениями РМГ 64. |
| - оценивание полноты и правильно-сти требований к точности средств измерений; | Неправильно указан предел измерений СИ | Не обеспечивается точность измерений | - недостаточная сосредоточен-ность и внимание рабочих.  | 5 | 3 | 15 | Указать минимальный предел измерений СИ, обеспечивающий точность измерений |
| - оценивание соответствия действи-тельной точности измерений заданным требованиям | Не указана погрешность измерений в исходных нормативных или других документах  | Оценивание погрешности расчетным способом  | Недостаточная квалификация рабочих  | 6 | 2 | 12 |  Повысить квалификацию рабочих |
| - оценивание контроле-пригодности; | Затруднен доступ к элементам, обеспечива-ющим регулировку и настройку встроенных СИ | Невозможен/ затруднен контроль параметров | Отсутствие приспособлений, обеспечивающих регулировку и настройку встроенных СИ | 7 | 3 | 21 | Провести доработку образца с обеспечением свободного доступа к элементам регулировки и настройки встроенных СИ. |
| - оценивание возможного эффективно-го метро-логического обслужива-ния выбран-ных средств измерений; | -недоступны средства из-мерения в условиях эксплуата-ции;-отсутствие эталонов  | Контроль метрологиче-ской исправ-ности осущест-вляют в соот-ветствии с нор-мативными документами  | Недостаточная квалификация рабочих  | 7 | 2 | 14 | Повышение квалификации;Осуществлять контроль в соответствии с нормативными документами  |
| - оценивание рациональ-ности выб-ранных средств измерений и методик вы-полнения измерений; | Выбранное СИ не обеспечивает требуемую точность измерений  | Неоправданные экономические затраты | Большая погрешность измерений | 7 | 3 | 21 | Выбрать СИ, обеспечивающее требуемую точность измерений |
| Неправильно выбрано СИ |  | Несоблюдение требований (условий) измерительной задачи | 6 | 3 | 18 | Выбрать СИ с учетом всех требований |
| - анализ использова-ния вычис-лительной техники в измеряемых операциях; | - алгоритм вычислений не в полной мере соот-ветствует функции, связываю-щую измеряемую величину с результатами | Исправления результатов измерений | Возможности вычислительной техники и вынужденные упрощения алгоритма вычислений (линеаризация функций, их дискретные представления и т. п.). | 6 | 2 | 12 | Оценить существенность методической составляющей погрешности измерений из-за несовершенства алгоритма вычислений.  |
| - контроль метрологи-ческих терминов, наименова-ний измеряемых величин и обозначений их единиц; | - несоот-ветствие метрологи-ческих терминов на соответствие РМГ 29 | Ошибки/неточ-ности при проведении метрологичес-кой экспертизы | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная мотивация рабочих; | 4 | 4 | 16 | Исправить термины в соответствии с РМГ 29 |
| 4. Оформле-ние результатов метрологи-ческой экспертизы | Неправиль-ное оформление результатов метрологи-ческой экспертизы | Возможные разногласия между экспертом и разработчиком  | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная мотивация рабочих. | 5 | 3 | 15 | Внести изменения;Разработка и реализация мероприятий по повышению эффективности метрологического обеспечения. |

Можно сделать вывод, что более опасным процессом является оценивание контролепригодности, рациональности выбранных средств измерений и методик выполнения измерений (неправильно выбрано средство измерения). А менее опасными являются: проверка комплектности технической документации и определение перечня конкретных задач в зависимости от вида технической документации.

Процесс калибровки представляет собой совокупность операций, проводимых с целью определять действительные значения метрологических характеристик этих средств измерений.

Процесс калибровки включает в себя следующие этапы:

-процедура составления и утверждения планов-графиков;

-процедуру выбора и подготовки рабочих эталонов к эксплуатации, выбор рабочих эталонов осуществляется в соответствии с требованиями действующих НД, регламентирующих этот выбор для данного вида измерений;

-проведение калибровки;

-регистрация результатов калибровки. Результаты подтверждения регистрируются в документах, их удостоверяющих (протокол, свидетельство, журнал, паспорт и т.д.).

После подробного изучения в рассматриваемом процессе выделили четыре подпроцесса, корректность выполнения которых наиболее сильно влияет на качество процесса калибровки измерительного оборудования в целом: 1) составление плана-графика калибровки; 2) подготовка рабочих эталонов; 3) проведение калибровки; 4) регистрация результатов калибровки.

Анализ этих подпроцессов выявил возможные формы отказов: 1) не утвержден график; 2) не в срок готов план-график; 3) нет эталона для калибровки; 4) неподача прибора из подразделения; 5) поражение электрическим током; 6) несоблюдение сроков; 7) брак; 8) использование непроверенного эталона; 9) недопустимая погрешность прибора; 10) отсутствие рабочей инструкции; 11) не в срок зарегистрированы результаты калибровки; 12) неправильное оформление этикетки.

На следующем этапе работы для каждого подпроцесса:

-выявили основные риски, их причины и последствия;

-количественно оценили риски для каждого подпроцесса и вычислили приоритетные числа риска возможных ошибок при проведении калибровки измерительного оборудования.

Далее был проведен FMEA-анализ процесса «Калибровка измерительного оборудования» с использованием 3-х показателей. Количественная оценка факторов S (значимость ошибки), О (вероятность возникновения ошибки) и D (вероятности обнаружения ошибки) была произведена по квалиметрическим шкалам, основанных на статистических данных машиностроительного предприятия.

Результаты работы при назначении числовых значений факторов О, D и S, а также вычисленные значения приоритетных чисел риска возможных отказов приведены в таблице 2.

*Таблица 2. Результаты проведения FMEA-анализа процесса «Калибровка измерительного оборудования»*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Этапы процесса** | **Потенциальное несоответствие** | **Последствие потенциального несоответствия** | **Потенциальная причина или механизм несоответствия** | **S** | **D** | **O** | **ПЧР** | **Действую-щие меры** |
| 1. Составление плана-графика калибровки | -не утвержден график;- не в срок готов план-график. | - невозможность проведения калибровки;   | - недостаточная квалификация рабочих;- недостаточная мотивация рабочих;- недостаточная сосредоточен-ность и внимание рабочих. | 3 | 2 | 4 | 24 | Повысить квалификацию;Выделить время на повышение квалификации |
| 2. Подготовка рабочих эталонов; | Отсутствие эталона для калибровки | Невозможность проведения калибровки  | - сломано;- находится в поверке; | 3 | 3 | 4 | 36 | Найти эталон для калибровки измеритель-ного оборудования |
| 3. Проведе-ние калиб-ровки | Неподача прибора из подразделения в срок  | -невозможность проведения калибровки;-задержка плана-графика | - отсутствие демонтажа;- не нашли прибор в подразделении;-нет транспорта;-отсутствие рабочей инструкции | 6  | 2   | 3    | 36  | Назначение ответствен-ного за демонтаж и доставку прибора из подразделе-ния для проведения калибровки измерительного оборудования |
| Несоблюдение инструктажа по электробезопас-ности  | -летальный исход;-поражение электрическим током;- сгорел прибор; | - незнание инструкции по электробезопас-ности;-не правильно собрана электрическая схема; | 9 | 2 | 3 | 54 | Проведение инструктажа по электробезо-пасности |
| - использование непроверенного эталона; | погрешность измерительного оборудования. | - недостаточная квалификация рабочих;  | 5 | 2 | 3 | 30 | Повышение квалификации |
| 4. Регистра-ция результа-тов калиб-ровки | - не в срок зарегистрирова-ны результаты калибровки;- неправильное оформление этикетки  | -задержка графика работ; | - недостаточная квалификация рабочих | 4 | 2 | 2 | 16 | Повысить квалифика-цию;Изучить СТО подразделе-ния  |

Наиболее опасным подпроцессом при проведении калибровки является несоблюдение инструктажа по электробезопасности, а менее опасным регистрация результатов калибровки.

Аналогичным образом проведен FMEA-анализ процессов «Ремонт измерительного оборудования», «Аттестация испытательного оборудования» и «Подготовка к поверке измерительного оборудования». В процессе «Ремонт измерительного оборудования» опасными этапами процесса является определение характера дефекта и причины его возникновения и внеочередная калибровка (несоблюдение инструктажа по электробезопасности с ПЧР=48, а менее опасным регистрация в журнал результатов проведения ремонта измерительного оборудования с ПЧР=6.

В процессе «Аттестация испытательного оборудования» опасным этапом процесса является проведение аттестации испытательного оборудования (несоблюдение инструктажа по электробезопасности) с ПЧР=48, а менее опасным этапом является оформление результатов аттестации испытательного оборудования с ПЧР=12.

В процессе «Подготовка к поверке измерительного оборудования» опасным этапом процесса является проведение калибровки перед поверкой (несоблюдение инструктажа по электробезопасности) с ПЧР=32, а менее опасным является комплектование документов и оформление документов на вывоз с ПЧР=12.

Следующим этапом работы явилось разработка рекомендаций по предотвращению рисков процесса «Метрологическое обеспечение производства» и разработка стандарта организации «Методика анализа видов и последствий отказов процесса "Метрологическое обеспечение производства"». Результаты приведены в таблице 3.

*Таблица 3. Рекомендации для процессов метрологического обеспечения производства*

|  |  |
| --- | --- |
| **Процесс** | **Рекомендации** |
| 1.Метрологическая экспертиза технической документации  | 1. Руководствоваться положениями РМГ 64;2. Выбирать СИ с учетом всех требований;3. Выбирать СИ, обеспечивающее требуемую точность измерений;4. Повысить квалификацию рабочих;5. Осуществлять контроль в соответствии с нормативными документами . |
| 2.Калибровка измерительного оборудования | 1.Найти эталон для калибровки измерительного оборудования;2.Назначить ответственного за демонтаж и доставку прибора из подразделения для проведения калибровки измерительного оборудования;3. Проводить инструктаж по электробезопасности;4. Повысить квалификацию;5. Изучить СТО подразделения. |
| 3.Ремонт измерительного оборудования | 1. Повышение квалификации рабочих;2. Проводить ремонт в соответствии с требованиями записей об обнаружении дефектов;3. Проводить инструктаж по электробезопасности |
| 4.Аттестация испытательного оборудования | 1.При отсутствии какого-либо документа, подразделение, проводящее испытания обязано их разработать;2.Проводить инструктаж по электробезопасности;3.Аттестацию следует проводить при окружающих условий в соответствии с требованиями;4.Проводить внешний осмотр на отсутствие внешний повреждений, наличие надписей и маркировки, наличие регистрационного номера, наличие поверенного клейма, наличие эксплуатационной документации5.Оформлять протокол по форме приведённой в ГОСТ Р 8.568-97 |
| 5.Подготовка к поверке измерительного оборудования | 1.Предъявлять приборы чистыми, полностью укомплектованными, с инструкцией по эксплуатации и техническому описанию2.Повысить квалификацию рабочих3. Проводить инструктаж по электробезопасности |

Таким образом, в работе:

1) методом FMEA-анализа определены наиболее значимые риски процессов «Метрологическая экспертиза технической документации»,«Калибровка измерительного оборудования» ,«Ремонт измерительного оборудования» ,«Аттестация испытательного оборудования», «Подготовка к поверке измерительного оборудования», что позволило разработать рекомендации по их устранению и минимизации;

2) разработана методика оценки рисков с учетом специфики предприятий-изготовителей ракетно-космической техники в соответствии с концепцией международного стандарта ИСО 9001-2015;

3) разработан стандарт организации «Методика анализа видов и последствий отказов процесса "Метрологическое обеспечение производства"», внедрение которого позволит проводить мониторинг оценки рисков и управлять ими.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Ряряева Е.С. Программное обеспечение для процедуры СМК управление рисками // Стандарты и качество. 2018. № 7. С. 102.

2. Рудзей Г. Ф., Бабец Д. А. Опыт применения FMEA // Железнодорожный транспорт. 2013. № 8. С. 34

3. Применение бальных квалиметрических шкал для оценки индикатора «возможности» улучшения в СМК // Методы менеджмента качества. 2016. № 11. С. 15-18

4. Васильков Ю. В., Гущина Л. С. Рекомендации по составлению типовой методики для анализа рисков // Методы менеджмента качества. 2017. № 3. С. 27-33.

5. Сухова Т. С. Разработка методики управления качеством перспективных изделий ракетно-космической техники на ранних этапах их создания. Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2008. – 22 с.