

Оценка экономической эффективности проведения Fmea-анализа (на примере сборки каркасных узлов хвостового оперения самолетов на ПАО «ВАСО»)

Юрий А. Саликов¹ saural@rambler.ru  0000-0003-2211-1978
Марина И. Самогородская² marta17@ya.ru  0000-0001-7409-1396



¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

Аннотация. Проблемы повышения качества технологических процессов на отечественных предприятиях в силу своей высокой актуальности находят отражение в многочисленных публикациях как теоретического, так и практического характера. Однако процедуры оценки эффективности в научной и нормативной литературе обозначены, как правило, лишь схематично и в должной мере не прописаны. В связи с этим на практике возникают сложности с выбором механизмов и методов оценки. Приоритетным механизмом совершенствования деятельности предприятия в области качества является измерение результативности и эффективности действующей системы менеджмента качества. По нашему мнению, любое мероприятие, направленное на улучшение качества должно быть экономически обосновано еще на стадии его планирования. В статье предлагается механизм оценки экономической эффективности применения одного из инструментов управления качеством – анализа видов, последствий и причин потенциальных последствий процесса промышленного производства. Цель данного анализа заключается в обеспечении выполнения всех требований по качеству технологического процесса с повышенным риском за счет разработки корректирующих мероприятий, позволяющих устранить появление вероятных отказов. В статье приводится пример проведения данного анализа по конкретному технологическому процессу. Представленный механизм оценки экономической эффективности СМК основывается на реальных финансовых показателях работы предприятия и может быть использован на отечественных промышленных предприятиях для соизмерения затрат и результатов вложений в управление качеством продукции (работ, услуг).

Ключевые слова: система менеджмента, качество, учет затрат, механизм учета, методология FMEA

Evaluation of the cost-effectiveness of fmea analysis (assembly of aircraft tail as-semblies at PJSC VASO)

Yurii A. Salikov¹ saural@rambler.ru  0000-0003-2211-1978
Marina I. Samogorodskaya² marta17@ya.ru  0000-0001-7409-1396

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh State Technical University, 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia

Abstract. The problems of improving the quality of technological processes in domestic enterprises due to their high relevance are reflected in numerous publications of both theoretical and practical nature. However, the performance assessment procedures in the standards are schematically not properly spelled out. This makes it difficult in practice to choose evaluation mechanisms and methods. The priority mechanism of improvement of the enterprise's activity in the field of quality is measurement of efficiency and efficiency of the current quality management system. In our opinion, any activity aimed at improving quality should be economically justified at the stage of its planning. The article proposes a mechanism for assessing the cost-effectiveness of using one of the tools of quality management – analysis of the types, consequences and causes of potential consequences of the industrial production process. The purpose of this analysis is to ensure that all process quality requirements with increased risk are met by developing corrective measures to eliminate the occurrence of probable failures. The article provides an example of such a process-specific analysis. The presented mechanism for assessing the economic efficiency of QMS is based on the real financial performance of the enterprise and can be used at domestic industrial enterprises to measure the costs and results of investments in product (work, services) quality management.

Keywords: management system, quality, cost accounting, accounting mechanism, FMEA methodology

Введение

Проблемы повышения качества технологических процессов на отечественных предприятиях находят свое отражение в многочисленных публикациях как теоретического, так и практического характера. Существуют различные методологии, методы и инструменты, позволяющие решать эти проблемы. Совсем иначе обстоят дела с экономическими аспектами

управления качеством. В международных и национальных стандартах эти вопросы освещены довольно ограниченно.

В частности, в стандарте ГОСТ Р ИСО 9004: 2001 приведены рекомендации по улучшению деятельности предприятий за счет организации учёта, оценки и анализа затрат на качество [1]. Британский стандарт BS 6143 «Руководство по экономике качества» и технический отчёт

Для цитирования

Саликов Ю.А., Самогородская М.И. Оценка экономической эффективности проведения Fmea-анализа (на примере сборки каркасных узлов хвостового оперения самолетов на ПАО «ВАСО») // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 300–311. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-300-311

For citation

Salikov Yu.A., Samogorodskaya M.I. Evaluation of the cost-effectiveness of fmea analysis (assembly of aircraft tail as-semblies at PJSC VASO). *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET], 2021. vol. 83. no. 2. pp. 300–311. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-300-311

ГОСТ Р ИСО/ТО 10014 -2005 «Руководящие принципы управления экономикой качества» определяют направления развития и улучшения СМК в области повышения эффективности [2]. В стандарте ГОСТ Р ИСО 1014–2008 г. акцентировано внимание «на оптимизации систем мониторинга процессов СМК и оценке эффективности результатов корректирующих и предупреждающих действий с точки зрения их адекватности «желаемым результатам», а также степени влияния на достижение бизнес-целей предприятия и совершенствование СМК» [3]. В стандарте ГОСТ Р ИСО 9001. 2015 проблемы эффективности СМК также затронуты вскользь. В частности, в параграфе № 5 «Лидерство» отмечается, что высшее руководство должно принимать на себя ответственность за эффективность системы [5].

Таким образом, если вопросы оценки затрат на качество хотя бы регламентированы в ГОСТ Р ИСО 9004 – 2001, то вопросы оценки экономической эффективности мероприятий по повышению качества процессов (продукции) в стандартах всего лишь просто обозначены. И лишь редкие публикации немногочисленных авторов, заинтересованных в решении данной задачи, отчасти восполняют имеющийся пробел [6, 8, 13, 15, 16].

«Проводимые на предприятии внутренние проверки качества, регламентированные стандартами, лишь подтверждают соответствие или выявляют несоответствия процессов, процедур, организационной структуры и ресурсов требованиям системы менеджмента качества предприятия. Они в малой степени могут оценить эффективность их функционирования или использования. Это объясняется тем, что внутренние проверки качества проводятся периодически, выборочно по отдельному элементу СМК или в каком-либо подразделении. Они никоим образом не могут обеспечить постоянной, системной оценки эффективности функционирования элементов СМК и всей системы в целом» [11].

Материалы и методы

По нашему мнению, любое мероприятие, направленное на улучшение качества должно быть экономически обосновано еще на стадии его планирования. В данной статье мы предлагаем вариант оценки экономической эффективности проведения FMEA-анализа конкретного технологического процесса, выполняемого на конкретном предприятии машиностроительного комплекса.

Методология FMEA была разработана в США в 60-е годы прошлого века в ходе проектирования космического корабля «Аполлон». Впоследствии метод нашел применение в ядерной технике, медицине, автомобильной

и других отраслях промышленности США, Европы и Японии. В ряде отраслей промышленности метод стал основой обеспечения качества. Метод FMEA – «это систематизированная совокупность мероприятий, целью которых является обнаружение места возможного нахождения потенциальных отказов продукции и процесса, определение действий, которые могут устранить или уменьшить вероятность их возникновения, и документирование всех этих мероприятий» [4]. Преимущества использования данного метода заключаются в возможности предотвращения появления дефектов, повышения безопасности продукции и, как следствие – удовлетворенности потребителей. Поскольку метод ориентирован на «внедрение» качества в продукцию, его целесообразно применять как можно раньше, еще до начала производства. В то же время применение метода может дать положительный результат как для функционирующего процесса, так и для изготовленной продукции [4, 11].

Методология FMEA строится на трех основополагающих принципах [18, 22]:

1. Для характеристики любого дефекта (отказа) анализируемого изделия достаточно всего трех критериев:

- значимость, измеряемая в контексте тяжести последствий данного отказа;
- относительная частота (вероятность) появления;
- относительная частота (вероятность) обнаружения дефекта (отказа) или его причины ещё на предприятии изготовителя.

Каждый из обозначенных критериев оценивается экспертами по шкале в диапазоне от 1 до 10. При этом, чем больше значимость или частота появления отказа, тем выше соответствующие оценки. Далее путем перемножения этих оценок по трем критериям рассчитывается интегральная (обобщенная) оценка критичности данного отказа. По сути, она представляет собой приоритетный коэффициент риска, который может измеряться в интервале от 1 до 1000. Чем выше коэффициент риска, тем больше проблем предприятию может принести данный дефект (отказ). Интегральная оценка сравнивается с принятым на предприятии предельным значением приоритетного коэффициента риска. В случае, если она выше этого коэффициента, следует вывод, что данная конструкция и / или технология должны быть доработаны.

2. Процедуру FMEA по определенному алгоритму выполняет так называемая «перекрёстно-функциональная» команда, включающая разнородных специалистов. В основе работы команды лежит метод «мозгового штурма».

В случаях, когда конструкция изделия и технология его производства неразрывны, создаётся единая FMEA – команда, анализирующая в комплексе конструкцию и процесс производства изделия.

3. К уровню квалификации всех членов FMEA-команды предъявляются достаточно жесткие требования. Все исполнители должны иметь большой практический опыт работы с аналогичными изделиями и технологиями в прошлом.

В процессе проведения FMEA-анализа выявляются: потенциальные дефекты, связанные или с отказом функционального элемента (разрушение, поломка) или с неправильным использованием функций элемента; потенциальные причины дефектов; потенциальные последствия дефектов для потребителя, поскольку каждый из дефектов может вызвать цепочку отказов всего объекта [20].

В настоящее время FMEA-анализ представляет собой стандартную технологию анализа качества изделий и процессов, осуществляемую по определенным правилам с применением типовых форм представления результатов анализа. Основными этапами FMEA-анализа на ПАО «ВАСО» являются следующие:

1. Образование FMEA-команды, выбор ведущего;
2. Сбор и анализ информации по проекту;
3. Ознакомление с предложенными проектами технологического процесса;
4. Экспертное определение потенциальных дефектов, их последствий и причин;
5. Оценка комплексного риска дефекта по критериям: S, O, D;
6. Выбор «наихудшего» последствия с максимальным баллом S;
7. Оценка для данного дефекта / причины баллов O и D;
8. Вычисление приоритетного числа риска для данного дефекта / причины (ПЧР);
9. Сравнение ПЧР с критической границей ПЧР_{гр.};
10. Доработка конструкции и (или) технологического процесса по коллективной идее FMEA-команды;
11. Составление окончательного протокола по результатам работы FMEA-команды и его подписание.

Для каждого последствия дефекта экспертно определяют параметр тяжести последствия для потребителя (балл значимости S) при помощи таблицы баллов значимости. Балл значимости изменяется от 1 для наименее значимых по ущербу дефектов до 10 – для наиболее значимых по ущербу дефектов.

В дальнейшем при работе FMEA-команды и выставлении приоритетного числа риска (ПЧР) используют один максимальный балл значимости S из всех последствий данного дефекта.

Для каждой потенциальной причины дефекта экспертно определяют параметр частоты возникновения дефекта (балл возникновения O). При этом рассматривается предполагаемый процесс изготовления и экспертно оценивается частота данной причины, приводящей к рассматриваемому дефекту. Балл возникновения изменяется от 1 для самых редко возникающих дефектов до 10 – для дефектов, возникающих почти всегда.

Для данного дефекта и каждой отдельной причины определяют параметр вероятности обнаружения дефекта в ходе предполагаемого процесса изготовления (балл обнаружения D). Балл обнаружения изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых дефектов (причин) до 1 – для практически достоверно обнаруживаемых дефектов (причин).

После получения экспертных оценок S, O, D вычисляют приоритетное число риска ПЧР по формуле:

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D, \quad (1)$$

где S – балл значимости дефекта; O – балл возникновения дефекта; D – балл обнаружения дефекта.

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000.

Для приоритетного числа риска критическая граница (ПЧР_{гр}) установлена 100.

В процессе FMEA-анализа выявляется перечень дефектов / причин, для которых значение ПЧР превышает ПЧР_{гр}. Для каждого дефекта / причины с ПЧР \geq ПЧР_{гр} FMEA-команда должна предпринимать усилия к снижению этого расчетного показателя посредством доработки конструкции и (или) производственного процесса. В этом случае разрабатываются корректирующие и (или) предупреждающие действия. После того, как действия по доработке определены, необходимо оценить и записать значения баллов значимости S, возникновения O и обнаружения D для нового предложенного варианта конструкции и (или) производственного процесса. Следует проанализировать новый предложенный вариант, подсчитать и записать значение нового ПЧР по схеме в соответствии блок-схемой. Данный анализ делается после реализации действий по доработке конструкции и (или) производственного процесса и является оценкой результативности этих действий. Однако, для оценки целесообразности предложенных действий анализ может быть проведен непосредственно после формулировки предложения по доработке. В этом случае новое ПЧР следует

рассматривать как предполагаемый эффект от нововведения [18].

Результаты и обсуждение

Экономические аспекты применения метода FMEA рассмотрим на примере сборки каркасных узлов хвостового оперения самолетов на ПАО «ВАСО». В ходе этого технологического процесса возникают многочисленные дефекты, большая часть из которых так и не подвергается последующей доработке. В результате проведенного в рамках СМК ПАО «ВАСО» исследования вышеуказанного техпроцесса были выявлены 10-ть типовых видов дефектов, характеристика которых представлена в таблице 1.

Для повышения качества сборки каркасных узлов хвостового оперения на ПАО «ВАСО» предлагается на регулярной основе использовать FMEA – это анализ, позволяющий выявить наиболее критические факторы производственных процессов с целью последующего управления качеством продукции. FMEA-анализ проводится для разрабатываемых продуктов и процессов для снижения риска получения потребителем потенциальных дефектов.

В таблице 2 представим результаты оценки параметра риска потребителя по наиболее значимым дефектам сборки каркасных узлов хвостового оперения самолетов на ПАО «ВАСО».

Таблица 1.
Характеристика дефектов, возникающих в ходе сборки каркасных узлов хвостового оперения

Table 1.

Characteristics of defects occurring during the assembly of tail frame assemblies

Содержание дефекта Defect Content	Причины Reasons	Метод устранения дефекта Method of defect elimination
1	2	3
Не прямолинейность нервюр 5,6,7,9 устраняется при установке съемной панели киля Not straightforward ribs 5,6,7,9 is eliminated at installation of removable keel panel Отсутствует жесткость нервюр No rib stiffness	Ошибка рабочего при установке оснастки Working error while installing snap-in	Без доработки Without rework
По концевой нервюре установлены заклепки по ЭКД без учета ПИ 1203.33094501.01 п № 4 Rivets are installed along the end rib as per EKD excluding PI 1203.33094501.01 p. 4 Не учли извещение id not take into account the notice	Ошибка слесаря-сборщика при сборке агрегата. Assembly fitter failed to assemble the unit. Ошибка работника архива, не вовремя подклеен документ к чертежу. Archive worker error, document to drawing is not glued in time Ошибка технолога, не вовремя вписан документ в техпаспорт Technologist error, document is not entered into technical passport in time	
Зазор между поясами до 3 мм и панели вместо 1,5 мм по ЭКД Clearance between belts up to 3 mm and panel instead of 1.5 mm as per EKD Деталь выполнена в пределах «минусовых» допусков Part is made within "minus" tolerances	Невнимательное отношение работников Inattentive attitude of employees	
Утяжка обшивок вокруг головок заклепок крепления панелей (400 мест) от 20–40 мм глубиной до 0,2 мм и 20 мест до 0,9 мм Skin tightening around rivet heads of panels attachment (400 places) 20–40 mm depth up to 0.2 mm and 20 places up to 0.9 mm	Ошибки рабочего Worker Errors	Установить технологические шайбы Install process washers

Продолжение таблицы 1 | Continuation of table 1

1	2	3
Не выполнения требования ПИ 1203.33.096.000.01 п. 2 вместо болтов по крышкам руля направления 3306.104/103/109.008 установлены заклепки по электронной конструкторской документации Do not comply with the requirements of PI 1203.33.096.000.01 Item 2 instead of bolts on rudder covers 3306.104/ 103/109.008 rivets are installed according to electronic design documentation	Невнимательное отношение работников Inattentive attitude of employees	Без доработки Without rework
Прослаблено 2 отверстия крепления стыкового со стрингером 2 holes of butt joint attachment with stringer are illuminated		Установлены болты согласно СМ-272 Bolts are installed, refer to SM-272
Не укладываются в допуск замеры отклонений внешних обводов РВ Measurements of deviations of external FR strokes do not fit into the tolerance		Без доработки Without rework
Не укладываются в допуск замеры вписываемости РВ в ТИ стабилизатора частично 4 мм вместо 3 мм лев. борт Measurements of FR inscribability in stabilizer TD partially 4 mm instead of 3 mm LH are not included in the tolerance. Board		
Не укладывается в допуск ± 3 мм замеры закрутки внутреннего РВ в балансировочном стенде Does not fit into ± 3 mm tolerance of measurement of swirling of internal FR in balancing bench		
Зазор между лентами стабилизатора и РВ 5 ± 2 мм согласно чертежу Clearance between stabilizer belts and FR 5 ± 2 mm as per drawing Inattentive ratio of employees		

Таблица 2.

Результаты FMEA-анализа дефектов сборки каркасных узлов хвостового оперения

Table 2.

Results of FMEA Analysis of Tail Frame Assembly Defects

Потенциальный дефект Potential defect	Потенциальная причина Potential cause	Потенциальные последствия Potential consequences	Результаты действий Results of actions			
			S	O	D	ПЧР PCR
Несоответствие теоретического контура Theoretical Contour Mismatch	Некачественная сборка, недостаточное контрольное оснащение в процессе сборки Poor assembly, insufficient control equipment during assembly	Несоответствие по техническим и технологическим требованиям Non-compliance with technical and technological requirements	8	6	4	192
Зазоры между поясами и панелями Gaps between belts and panels	Некачественная сборка Poor-quality assembly	Несоответствие по техническим и технологическим требованиям Non-compliance with technical and technological requirements	5	4	8	160
Несоответствие чертежу установленного крепежа Mismatch with installed fastener drawing	Некачественная сборка Poor-quality assembly	Несоответствие по техническим и технологическим требованиям Non-compliance with technical and technological requirements	3	2	5	30
Утяжка обшивок вокруг головок заклепок крепления панелей Tightening of skin around heads of rivets for panel attachment	Некачественная сборка. Большие концентрации напряжений в местах установки заклепок Poor-quality assembly High stress concentrations at rivet locations	Разрушение детали Part destruction	4	3	6	72

Данные таблицы 2 показывают, что сложнее всего обнаружить несоответствия теоретического контура. Их можно выявить только после сборки агрегата. Данный дефект является наиболее опасным последствием для потребителя. К такому дефекту, как правило, приводят неправильные размеры при сборке, а также недостаточно точное контрольное оснащение в процессе сборки. Не нуждаются в разработке корректирующих мероприятий такие дефекты, как «Несоответствие чертежу установленной крепежа» и «Утяжка обшивки вокруг головок заклепок крепления панелей» так как для этих дефектов ПЧР < 100.

Таким образом, в ходе выполненного анализа установлено, что в процессе сборки каркасных узлов хвостового оперения, наиболее часто возникают два типа дефекта:

- несоответствие теоретического контура агрегата;
- зазоры между поясами и панелями.

Для разработки корректирующих мероприятий рассмотрим более подробно причины возникновения данных дефектов. В соответствии с действующим технологическим процессом сборка агрегата выполняется в стапеле сборки. Стапель сборки представляет собой устройство, конструкция которого обеспечивает правильное взаимное расположение, фиксацию и соединение сборочных единиц (деталей, узлов) в агрегат самолета с заданной точностью. Стапель имеет охватывающие рубильники, выполненные по теоретическому контуру и установленные по базовым контрольным сечениям.

Контроль теоретического контура выполняется в процессе сборки по рубильникам, причем рубильники в этом методе являются одновременно и фиксаторами обвода при сборке и средствами контроля окончательно собранного агрегата перед выемкой его из стапеля сборки. Замер отклонения контура в месте между рубильником и агрегатом выполняют щупом и линейкой. Обычно обводы агрегата после освобождения его из сборочного приспособления и снятия давления рубильников несколько изменяются, и этим объясняются неточности при измерении отклонений обводов в сборочном приспособлении. Также замеры зависят от точности измеряемого инструмента и квалификации проверяющего.

Для повышения качества сборки и снижения вероятности отклонения от теоретического контура считаем целесообразным изготовить комплект эквидистантных контрольных рубильников, которые устанавливаются вместо имеющихся рубильников. Эквидистантные рубильники требуется изготовить с одинаковым зазором по всей длине обводов агрегата, по размерам, снятым с электронной модели. Таким образом, изначально агрегат будет в свободном состоянии, что позволит более точно установить размеры. Для того чтобы избежать погрешности измерительного инструмента в результате его износа, предлагается использовать электронные средства измерения.

Причина зазора, возникающего между панелями и поясом, может заключаться в кривизне панелей, поскольку на входном контроле контролируются только отсутствие механических повреждений и наличие сопроводительной документации. Еще одной причиной зазора может быть выемка верхних и нижних панелей из стапеля после сборки и повторная установка их при последующей сборке. Для ликвидации зазора предлагается изготовить шаблоны ШОК, позволяющие при входном контроле проверять кривизну панелей. Так же считаем необходимым доработать стапель сборки, изготовить и установить дополнительные крепежные элементы, для того чтобы при сборке агрегата исключить выемку панелей. В результате процесс сборки агрегата будет выполняться последовательно.

Оценка эффективности любого мероприятия предполагает сопоставление затрат и результатов. В этой связи потребуется рассчитать затраты на проведение FMEA-анализа процесса сборки каркасных узлов хвостового оперения: как текущие, так и инвестиционные [12, 16].

Текущие затраты будут включать в себя непосредственные расходы, связанные с проведением FMEA-анализа. Их величина в первую очередь будет зависеть от трудоемкости процедуры и количества процедур, выполняемых в течение года. Расчет трудоемкости процедуры выполнен в таблице 3. Штатное расписание сотрудников, участвующих в FMEA-анализе представлено в таблице 4.

В течение года предполагается провести 6 процедур FMEA-анализа.

Таблица 3.

Оценка трудоемкости FMEA–анализа процесса сборки каркасных узлов хвостового оперения

Table 3.

Evaluation of labor intensity of FMEA-analysis of the process of assembly of frame units of tail unit

Этапы проведения FMEA–анализа FMEA Milestones – Run	Время выполнения ч Time Hour	Количество участников, чел. Analysis participants, people	Трудоемкость чел.-ч. Labor intensity of people-hours.
1. Подготовка к проведению анализа 1. Preparation for analysis	5	6	30
2. Разработка таблицы 2. Development of Table	7	6	42
3 Составление окончательного протокола по результатам работы 3 Preparation of the final report on the results of the work	2	6	12
ИТОГО TOTAL	14	6	84

Таблица 4.

Штатное расписание сотрудников (FMEA – команды)

Table 4.

Employee Staffing (FMEA – Teams)

Должность Position	Коэффициент участия Participation rate	Месячный оклад, р. Monthly salary, p.	Часовая оплата, р. Hourly payment, p.
Ведущий инженер по качеству Lead Quality Engineer	1,0	30000,00	183,15
Технолог Technologist	0,7	19200,00	117,21
Конструктор Designer	0,2	18500,00	113,00
Мастер Master	0,6	20200,00	123,32
Контрольный мастер Control Master	0,5	17800,00	108,67
Диспетчер Dispatcher	0,4	18000,00	109,89

Основную часть текущих издержек на процедуру FMEA составят затраты на заработную плату FMEA – команды (таблица 5).

Заработная плата FMEA – команды рассчитывается из трудоемкости процедуры для каждого сотрудника и его часовой оплаты. Трудоемкость определяется экспертным путем исходя из реального участия каждого члена

FMEA – команды на соответствующем этапе процедуры анализа. Для этого в расчет вводится коэффициент участия сотрудников, на основании которого оцениваются затраты времени на проведение процедуры для каждого члена команды. Часовая оплата рассчитывается исходя из месячного оклада сотрудника и планового месячного фонда работы.

Таблица 5.

Расчет затрат на оплату труда FMEA – команды (в расчете на одну процедуру)

Table 5.

Calculation of FMEA labor costs – commands (per procedure)

Должность исполнителя Position of executor	Коэффициент участия Participation rate	Затраты времени на проведение процедуры, ч Time spent on the procedure, h	Часовая оплата исполнителя, р. Hourly payment of the performer, p.	Количество исполнителей, чел. Number of performers, people.	Заработная плата за период проведения процедуры, р. Salary for the period of the procedure, p.
Ведущий инженер по качеству Lead Quality Engineer	1,0	14	183,15	1	2564,1
Технолог Technologist	0,7	9,8	117,21	1	1148,65
Конструктор Constructor	0,2	2,8	113,00	1	316,40
Мастер Master	0,6	8,4	123,32	1	1035,89
Контрольный мастер Control master	0,5	7	108,67	1	760,69
Диспетчер Dispatcher	0,35	4,9	109,89	1	538,4
ИТОГО TOTAL					6364,13

Также потребуется оценить материальные затраты и затраты на содержание и эксплуатацию оргтехники. Конечно, можно оценить эти затраты укрупнено, включив их в накладные расходы. Но мы считаем целесообразным показать детальный расчет затрат, включаемых в сметную стоимость FMEA анализа.

Стоимость материальных затрат рассчитывается исходя из нормы расхода каждого вида материала и цены за единицу (с учетом транспортных расходов).

В состав затрат на содержание и эксплуатацию оргтехники считаем необходимым включить

затраты на амортизацию оборудования, затраты на профилактику, а также затраты на электроэнергию. Затраты на амортизацию и профилактику оборудования рассчитываются исходя из установленных нормативов за час и количества отработанных оборудованием часов в ходе проведения FMEA анализа. Затраты на электроэнергию рассчитываются исходя из мощности оборудования и стоимости 1 кВт·ч электроэнергии. При этом учитывается количество эксплуатируемого оборудования.

Общие затраты на проведение FMEA-анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Расчет материальных затрат на FMEA-анализ

Table 6.

FMEA Material Cost Calculation – Analysis

Наименование материала Material name	Цена за единицу, р. Unit price, p	Норма расхода, ед. Consumption rate, unit.	Стоимость, р. Cost, p.
Бумага (пачка) Paper (pack)	300	2	600
Канцелярские принадлежности Stationery	30	10	300
Картридж Cartridge	800	1	800
Ватман Watman	10	5	50
Итого Total			Σ1750
Транспортные расходы (10%) Transportation costs (10%)			175
Всего (на 6-ть процедур) Total (for 6 procedures)			Σ1925,0
Затраты на одну процедуру, р. Costs per procedure, p.			320,835

Таблица 7.

Расчет годовых затрат на эксплуатацию оргтехники при проведении FMEA-анализа

Table 7.

Calculation of annual costs of office equipment operation during FMEA – analysis

Показатель Indicator	Значения по видам оборудования Values by equipment types	
	ПК PC	МФУ PLF
Балансовая стоимость единицы оборудования, р. Book value of equipment, p.	45000	20000
Норма амортизации оборудования, %. Equipment depreciation rate, %	30%	–
Количество рабочих дней в году, дн. Number of working days per year, days	247	247
Нормативное количество часов работы оборудования в день, ч Standard number of hours of equipment operation per day	4	2
Амортизационные отчисления с оборудования, р./ч Depreciation deduction equipment, r.h.	13,66	–
Норма расходов на профилактику оборудования, % Equipment Prevention Expense Rate, %	2	2
Затраты на профилактику оборудования, р./ч Equipment prophylaxis costs, fr/h	0,91	0,81
Мощность оборудования, кВт Equipment power, kW	0,45	0,3
Стоимость электроэнергии, р./кВт·ч Electricity cost, p/kWh	6,0	6,0
Затраты на электроэнергию, р. Energy costs, p.	2,7	1,8
Итого стоимость эксплуатации оборудования, р./ч Total cost of equipment operation, fr/h	16,94	2,61
Количество отработанных оборудованием часов, ч Number of hours worked by the equipment, h	8	4
Количество единиц эксплуатируемого оборудования, шт. Number of equipment operation, pcs.	2	1
Итого затраты на эксплуатацию оборудования, р. Total equipment operation costs, p.	271,04	10,44
Всего затраты на процесс, р. Total process costs, p.	281,48	
Всего годовые затраты на FMEA-анализ, р. Total annual FMEA costs – analysis, p.	1688,88	

Сметная стоимость процедуры FMEA–анализа

Table 8.

Estimated FMEA Procedure Cost – Analysis

Наименование статьи затрат Name of cost item	Сумма затрат на одну процедуру, р. Amount of costs per procedure, p.	Сумма годовых затрат, р. Amount of annual costs, p.
Материальные затраты Material costs	320,835	1925,00
Эксплуатация оргтехники Operation of office equipment	281,04	1688,88
Основная заработная плата исполнителей Basic salary of performers	6364,13	38184,78
Дополнительная заработная плата исполнителей (15%) Additional salary of performers (15%)	954,62	5727,72
Страховые взносы (30%) Premiums (30%)	2195,62	13173,75
Накладные расходы (150%) Overhead (150%)	9546,20	57277,17
Итого сметная стоимость Total estimated cost	19662,45	117977,3

Инвестиционные затраты в данном случае будут включать издержки, связанные с обучением персонала методологии проведения FMEA–анализа.

Затраты на обучения персонала, по предварительной оценке, составят 150000 р.

Основным результатом систематического проведения FMEA–анализа будет сокращение затрат на исправление дефектов сборки каркасных узлов хвостового оперения.

Годовой объем выпускаемой продукции составляет 24 агрегата (12 килей и 12 стабилизаторов). Примерная себестоимость 1 агрегата составляет 5000000 р.

Годовая доля затрат на исправление дефектов – соответственно – 5%. По экспертной оценке, после внедрения на систематической основе процедуры FMEA–анализа годовая доля затрат на исправление дефектов составит соответственно 3%.

Годовые затраты на исправление брака рассчитываются по формуле:

$$Z_{ИСП} = Q \cdot S_{ПРi} \cdot k_{БР}, \quad (2)$$

где Q – годовой объем производимой продукции, ед.; $S_{ПРi}$ – производственная себестоимость одного изделия, р.; $k_{БР}$ – коэффициент затрат на исправление брака.

Таким образом, годовые затраты на исправление брака при сборке каркасных узлов хвостового оперения до внедрения FMEA–анализа в практику работы цеха составляли:

$$Z_{ИСП1} = 24 \cdot 5000000 \cdot 0,05 = 6000000 \text{ р.}$$

После внедрения FMEA–анализа годовые затраты на исправление брака при сборке каркасных узлов хвостового оперения составят:

$$Z_{ИСП2} = 24 \cdot 5000000 \cdot 0,03 = 3600000 \text{ р.}$$

Экономия затрат на исправление дефектов рассчитывается по формуле:

$$\Delta Z_{ИСП} = Z_{ИСП1} - Z_{ИСП2}. \quad (3)$$

$$\Delta Z_{ИСП} = 6000000 - 3600000 = 2400000 \text{ р.}$$

Оценку эффективности внедрения FMEA–анализа в практику работы цеха считаем целесообразным проводить с использованием стандартных показателей эффективности инвестиций: NPV (чистой текущей стоимости) и PI (индекса рентабельности инвестиций).

Чистая текущая стоимость в нашем случае рассчитывается по формуле [12]:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (\Delta Z_{ИСП} - Z_{FMEA}) - I, \quad (4)$$

где Z_{FMEA} – годовые затраты на проведение FMEA–анализа, р.; I – инвестиционные затраты, р.; $t = 1..T$ – горизонт планирования (5-ть лет).

Индекс рентабельности инвестиций рассчитывается по формуле:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T (\Delta Z_{ИСП} - Z_{FMEA})}{I}. \quad (5)$$

Расчеты выполним в таблице 9.

Так как значение чистой текущей стоимости больше нуля, а индекс рентабельности инвестиций существенно больше единицы, можно считать, что проект внедрения процедуры FMEA–анализа в практику работы цеха по сборке каркасных узлов хвостового оперения является экономически целесообразным.

Таблица 9.

Расчет чистой текущей стоимости и индекса рентабельности инвестиций

Table 9.

Calculation of net present value and ROI

Показатели Indicators	Горизонт планирования Planning Horizon				
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5
Годовые затраты на проведение FMEA-анализа, Z_{FMEA} , р. Annual FMEA Costs – Analysis, FFMEA, p.	117977,3				
Инвестиционные вложения, К, р. Investment investments, K, p.	150000				
Коэффициент дисконтирования, α_t для нормы дисконта 8%, к-т Discount factor, α_t for discount rate 8%, k-t	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681
Величина денежного потока для t-года, $(\Delta Z_{ИСП} - Z_{FMEA}) \cdot \alpha_t$, р. Cash flow value for t-year, $(\Delta Z_{ISP} - Z_{FMEA}) \cdot \alpha_t$, p.	2113153	1955694	1811926	1677287	1554958
Итого дисконтированные денежные потоки, р. Total discounted cash flows, p.	9113018				
Чистая текущая стоимость (NPV), р NetPresentValue (NPV), p	8963018				
Индекс рентабельности (PI), к-т ProfitabilityIndex (PI), k-t	61				

Заклучение

На основании выше изложенного полагаем, что представленный механизм оценки экономической эффективности СМК может быть использован на отечественных предприятиях для соизмерения затрат и результатов вложений в управление качеством продукции (работ, услуг). В отличие от предлагаемых рядом авторов балльных механизмов оценки, несущих в себе

определенные признаки субъективности, авторский механизм основывается на реальных финансовых показателях работы предприятия. При этом следует отметить, что данный механизм должен выстраиваться в соответствии с методом учета, оценки и анализа затрат на качество, который свою очередь определяется применяемой на предприятии методикой классификации затрат на качество.

Литература


- ГОСТ Р ИСО 9004 : 2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 46 с.
- ГОСТ Р ИСО / ТО 10014 : 2005. Руководство по управлению экономикой качества. М.: Стандартиформ, 2005. 28 с.
- ГОСТ Р ИСО 10014 – 2008. Руководящие указания по достижению экономического эффекта в системе менеджмента качества. М.: Стандартиформ, 2009. 26 с.
- ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006). Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. М.: Стандартиформ, 2008. 36 с.
- ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015. 24 с.
- Карпиков В. Как оценить эффективность функционирования системы качества. URL: www.ptpu.ru/Issues/1_00/19_1_00.htm
- Кокорева К.А., Черненко Л.В. Применение FMEA- анализа для процесса «Управление несоответствующей продукцией» // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 4 (106). Ч. 1. С. 64-72.
- Коптев А.А., Пекарш А.И., Стройкин Д.Н. Анализ эффективности процессов функционирования производственных систем // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2013. № 2. С. 14–17.
- Панюков Д.И., Козловский В.Н., Айдаров Д.В. Моделирование процедуры FMEA: методология и стратегия // Методы менеджмента качества. 2019. № 7. С. 30-38.
- Панюков Д.И., Козловский В.Н., Айдаров Д.В. Моделирование процедуры FMEA: структура и функции // Методы менеджмента качества. 2019. № 8. С. 36-41.
- Самогородская М.И. Концепция экономики качества // Международные научные исследования. 2016. № 4 (29). С. 273–279.
- Gilbert E., Fernandez S., Arnaiz A., Konde E. Simulation of predictive maintenance strategies for cost-effectiveness analysis // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2017. V. 231. №. 13. P. 2242-2250. doi: 10.1177/0954405415578594
- Arnaiz A., Konde E., Alarcón J. Continuous improvement on information and on-line maintenance technologies for increased cost-effectiveness // Procedia CIRP. 2013. V. 11. P. 193-198. doi: 10.1016/j.procir.2013.07.038
- Sabharwal S., Garg S. Determining cost effectiveness index of remanufacturing: A graph theoretic approach // International Journal of Production Economics. 2013. V. 144. №. 2. P. 521-532. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.04.003
- van Baaren I.R.J., Curran R. How to improve operational availability and cost effectiveness using a pragmatic RAMS Value // Air Transport and Operations: Proceedings of the Third International Air Transport and Operations Symposium 2012. IOS Press, 2012. P. 27.


- 16 Хорев А.И., Самогородская М.И. Механизм оценки экономической эффективности системы менеджмента качества на предприятии // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4 (70). С. 376–385. doi: 10.20914/2310-1202-2016-4-376-385
- 17 Geum Yu., Shin J., Park Yu. A portfolio approach to improving the productivity of services based on FMEA // The Service Industries Journal. 2011. V. 31. № 11. P. 1825-1847.
- 18 Kimita K., Brambila-Macias S.A., Tillman A.-M., Sakao T. A failure analysis method for increasing cyclicality through a system perspective // Journal of Industrial Ecology. 2020. P. 1–19.
- 19 Kimita K., Sakao T., Shimomura Yu. Failure analysis method for designing highly reliable product-service systems // Research in Engineering Design. 2018. V. 29. №. 2. P. 143-160.
- 20 Reim V., Parida V., Schedin D.R. Risk management for the functioning of the product-service system // International Journal of Operations & Production Management. 2016. V. 36. № 6. P. 665-686.
- 21 Zhang Z., Chu X. A new approach to conceptual product design and service // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2010. V. 23. №. 7. P. 603-618. doi: 10.1080/09511921003736766
- 22 Smith J.D. Application of FMEA to optimize selection of hazard mitigation measures // Industry Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference. IEEE, 2013. P. 1-18. doi: 10.1109/PCICon.2013.6666037

References

- 1 State Standard R ISO 9004: 2001. Quality management systems. Recommendations for improving activities. Moscow, IPK Publishing House of Standards, 2001. 46 p. (in Russian).
- 2 State Standard R ISO / TO 10014: 2005. Guide to the management of the quality economy. Moscow, Standartinform, 2005. 28 p. (in Russian).
- 3 State Standard R ISO 10014 – 2008. Guidelines for achieving an economic effect in the quality management system. Moscow, Standartinform, 2009. 26 p. (in Russian).
- 4 State Standard R 51901.12-2007 (IEC 60812:2006). Risk management. Method for analyzing the types and consequences of failures. Moscow, Standartinform, 2008. 36 p. (in Russian).
- 5 State Standard R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements. Moscow, Standartinform, 2015. 24 p. (in Russian).
- 6 Karpikov V. How to evaluate the effectiveness of the quality system functioning. Available at: www.ptpu.ru/Issues/1_00/19_1_00.htm (in Russian).
- 7 Kokoreva K.A., Chernenkaya L.V. Application of FMEA-analysis for the process "Management of nonconforming products". International research journal. 2018. no. 4 (106). pp. 64-72. (in Russian).
- 8 Koptev A.A., Pekarsh A.I., Stroykin D.N. Analysis of the efficiency of the processes of functioning of production systems. Problems of machine building and automation. 2013. no. 2. pp. 14–17. (in Russian).
- 9 Panyukov D.I., Kozlovsky V.N., Aydarov D.V. Modeling FMEA procedure: methodology and strategy. Quality management methods. 2019. no. 7. pp. 30-38. (in Russian).
- 10 Panyukov D.I., Kozlovsky V.N., Aydarov D.V. Modeling FMEA procedure: structure and functions. Quality management methods. 2019. no. 8. pp. 36-41. (in Russian).
- 11 Samogorodskaya M.I. The concept of the economy of quality. International research. 2016. no. 4 (29). pp. 273-279. (in Russian).
- 12 Gilabert E., Fernandez S., Arnaiz A., Konde E. Simulation of predictive maintenance strategies for cost-effectiveness analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2017. vol. 231. no. 13. pp. 2242-2250. doi: 10.1177/0954405415578594
- 13 Arnaiz A., Konde E., Alarcón J. Continuous improvement on information and on-line maintenance technologies for increased cost-effectiveness. Procedia CIRP. 2013. vol. 11. pp. 193-198. doi: 10.1016/j.procir.2013.07.038
- 14 Sabharwal S., Garg S. Determining cost effectiveness index of remanufacturing: A graph theoretic approach. International Journal of Production Economics. 2013. vol. 144. no. 2. pp. 521-532. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.04.003
- 15 van Baaren I.R.J., Curran R. How to improve operational availability and cost effectiveness using a pragmatic RAMS Value. Air Transport and Operations: Proceedings of the Third International Air Transport and Operations Symposium 2012. IOS Press, 2012. pp. 27.
- 16 Khorev A.I., Samogorodskaya M.I. The mechanism for assessing the economic efficiency of the quality management system at the enterprise. Proceedings of VSUET. 2016. no. 4 (70). pp. 376–385. doi: 10.20914/2310-1202-2016-4-376-385 (in Russian).
- 17 Geum Yu., Shin J., Park Yu. A portfolio approach to improving the productivity of services based on FMEA. The Service Industries Journal. 2011. vol. 31. no. 11. pp. 1825-1847.
- 18 Kimita K., Brambila-Macias S.A., Tillman A.-M., Sakao T. A failure analysis method for increasing cyclicality through a system perspective. Journal of Industrial Ecology. 2020. pp. 1–19.
- 19 Kimita K., Sakao T., Shimomura Yu. Failure analysis method for designing highly reliable product-service systems. Research in Engineering Design. 2018. vol. 29. no. 2. pp. 143-160.
- 20 Reim V., Parida V., Schedin D.R. Risk management for the functioning of the product-service system. International Journal of Operations & Production Management. 2016. vol. 36. no. 6. pp. 665-686.
- 21 Zhang Z., Chu X. A new approach to conceptual product design and service. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2010. vol. 23. no. 7. pp. 603-618. doi: 10.1080/09511921003736766
- 22 Smith J.D. Application of FMEA to optimize selection of hazard mitigation measures. Industry Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference. IEEE, 2013. pp. 1-18. doi: 10.1109/PCICon.2013.6666037

Сведения об авторах

Юрий А. Саликов д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности и финансового мониторинга, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, saural@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2211-1978>

Марина И. Самогородская д.э.н., профессор, кафедра экономической безопасности, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж. 396006, marta17@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7409-1396>


Вклад авторов


Юрий А. Саликов консультация в ходе исследования
Марина И. Самогородская написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yurii A. Salikov Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security and financial monitoring department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, saural@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-2211-1978>

Marina I. Samogorodskaya Dr. Sci. (Econ.), professor, economic security department, Voronezh State Technical University, ul. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia, marta17@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-7409-1396>

Contribution

Yurii A. Salikov consultation during the study
Marina I. Samogorodskaya wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2021	После редакции 14/05/2021	Принята в печать 02/06/2021
Received 05/04/2021	Accepted in revised 14/05/2021	Accepted 02/06/2021