

УДК 621: 620.1.05 (031)

В.И. Ритенман

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СТРЕЛОЧНОГО ТИПА СП-6М

Рассмотрены теоретические аспекты оценки результативности внедрения мероприятий. Установлена структура метода оценки результативности. Проведена оценка результативности внедрения мероприятий для повышения качества модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М.

Ключевые слова: оценка результативности, внедрение мероприятий, корректирующие действия, стрелочный электропривод, СП-6М, FMEA-анализ, коэффициент приоритетного риска, диаграмма Парето, вероятность возникновения отказа.

Для понимания полной картины жизни изделия после передачи его потребителю необходимо не только определить вероятные отказы и предложить мероприятия для улучшения показателей качества изделия, но и оценить, как повлияют данные мероприятия на дальнейшую его работу. Поэтому итогом деятельности по анализу и улучшению качества изделия может быть оценка результативности внедрения мероприятий, предложенных при анализе видов и последствий отказов, а также при анализе результатов испытаний.

Под результативностью мероприятия можно понимать оценку рисков возникновения отказов до и после его внедрения. Количественно оценить результативность внедрения мероприятия возможно, применив следующую зависимость:

$$E_i = R_0 - R_i,$$

где  $R_0$  – риск до внедрения  $i$ -го мероприятия;  $R_i$  – риск после внедрения  $i$ -го мероприятия.

Одним из самых эффективных методов определения риска при рассмотрении сложных объектов и взаимодействия их элементов между собой, т.е. оценки риска возникновения отказа, является метод FMEA-анализа [1]. В связи с этим мы можем воспользоваться данными, полученными при его применении, а также структурой построения этих данных для оптимально удобного использования в своих расчетах.

Для выявления количественного значения оценки риска необходимо ввести следующие условия:

1. Под риском внедрения мероприятия понимается коэффициент приоритетного риска (КПР), используемый в методе FMEA-анализа. Риском до внедрения первого мероприятия  $R_0$  будет КПР, который был определен при проведении анализа видов и последствий отказов [2].

2. Как известно, КПР состоит из следующих составляющих: значимость последствий потенциальных отказов; возможность возникновения отказа; возможность обнаружения потенциальных отказов [1]. При внедрении мероприятия изменяется значение ранга  $O$  возможности возникновения отказа. В связи с этим для определения риска после внедрения  $i$ -го мероприятия  $R_i$  пересматривается только ранг  $O$ .

3. Для определения риска после внедрения  $i$ -го мероприятия  $R_i$  вводится коэффициент  $k_i$ , являющийся коэффициентом снижения риска возникновения отказа. Для этого оценивается значимость влияния каждого мероприятия на отказы, т.е. определяется количественное значение коэффициента. Так как каждое мероприятие дает свой коэффициент снижения риска возникновения отказа, то есть необходимость в построении системы ранжирования коэффициентов (табл. 1).

4. Вероятность возникновения отказа определяется по следующей зависимости:

$$O_{Ri} = k_i P,$$

где  $O_{R_i}$  – возможность возникновения отказа после внедрения  $i$ -го мероприятия;  $k_i$  – коэффициент влияния  $i$ -го мероприятия на вероятность возникновения отказа;  $P$  – значение вероятности отказа до внедрения  $i$ -го мероприятия.

Таблица 1

Коэффициент влияния мероприятия на вероятность возникновения отказа

Значимость мероприятия	Критерий значимости	Ранг
Изменение незначимо	При внедрении мероприятия влияния на отказ практически не происходит	0,9
Изменение с малой значимостью	При внедрении мероприятия влияние на отказ происходит в малой степени	0,7
Изменение со средней значимостью	При внедрении мероприятия влияние на отказ происходит в достаточной степени	0,5
Изменение с высокой значимостью	При внедрении мероприятия влияние на отказ происходит в высокой степени	0,3
Изменение значимо	При внедрении мероприятия происходит влияние на отказ	0,1

5. Мероприятия внедряются последовательно. Риском возникновения отказа до внедрения следующего мероприятия будет являться значение риска после внедрения предыдущего мероприятия. Это можно представить в виде следующих зависимостей:

$$\begin{aligned} E_i &= R_0 - R_i; \\ E_{i+1} &= R_i - R_{i+1}; \\ E_{i+2} &= R_{i+1} - R_{i+2}; \\ &\dots \\ E_{n-1} &= R_{n-2} - R_{n-1}; \\ E_n &= R_{n-1} - R_n, \end{aligned}$$

где  $n$  – порядковый номер последнего мероприятия (количество мероприятий).

6. Общая результативность внедрения всех мероприятий определяется по следующей зависимости:

$$E = E_i + E_{i+1} + E_{i+2} + \dots + E_{n-1} + E_n = \sum E_i \text{ при } i = 1 \dots n.$$

С учетом изложенного структурную систему оценки результативности внедрения мероприятий представим на примере модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М.

Определим значения коэффициента влияния каждого мероприятия на вероятность возникновения отказов на основании экспертных оценок (табл. 2). В данном случае все мероприятия влияют на все факторы, так как борются с внешними воздействиями на объект.

Начинать следует с того мероприятия, которое оказывает наибольшее влияние на снижение риска возникновения отказа. Это условие необходимо, чтобы оценить необходимость продолжения внедрения  $i$ -го мероприятия или установить достаточность выполнения данного процесса. В данном случае это будет то мероприятие, у которого коэффициент  $k$  меньше. Следовательно, мы начнем с внедрения мероприятия  $k_5$ .

Определим значение возможности возникновения отказов  $O$  при внедрении мероприятия  $k_5$  для модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М. Для этого необходимо взять вероятности возникновения отказа, являющиеся границами диапазона при назначении ранга  $O$ , определенного при проведении FMEA-анализа, и умножить на коэффициент влияния мероприятия:

$$\begin{aligned} P_{R5\max} &= k_5 P_{\max}; \\ P_{R5\min} &= k_5 P_{\min}, \end{aligned}$$

где  $P_{R5\max}$ ,  $P_{R5\min}$  – максимальное и минимальное значения вероятности возникновения отказа после внедрения мероприятия с коэффициентом  $k_5$ ;  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  – максимальное и мини-

мальное значения вероятности возникновения отказа до внедрения мероприятия с коэффициентом  $k_5$ .

Таблица 2

Коэффициент влияния мероприятия на вероятность возникновения отказов модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М

Обозначение мероприятия	Наименование мероприятия	Значение коэффициента
$k_1$	Усовершенствование качества проведения ремонтов и технического обслуживания	0,7
$k_2$	Обучение персонала для обслуживания изделия	0,5
$k_3$	Разработка методики испытаний на надежность	0,5
$k_4$	Разработка стенда для комплексных испытаний на надежность	0,5
$k_5$	Обучение персонала для проведения испытаний на надежность	0,3
$k_6$	Использование более совершенных покрытий и уплотняющих материалов	0,3
$k_7$	Усовершенствование конструкции основания для гашения вибрационных нагрузок	0,3
$k_8$	Закупка материалов и комплектующих у проверенных поставщиков	0,5
$k_9$	Входной контроль материалов и комплектующих	0,3

Рассчитываем диапазоны вероятностей для всех отказов и сравниваем с ранжированными диапазонами метода FMEA-анализа [1], определяя значения возможности возникновения отказов  $O$  при внедрении мероприятия  $k_5$ . Далее рассчитываем коэффициент приоритетного риска каждого потенциального отказа конструкции при внедрении мероприятия  $k_5$  согласно методике анализа видов и последствий отказов, используя новые значения ранга  $O$ . Затем определяем результативность внедрения мероприятия с коэффициентом влияния  $k_5$  по отдельным отказам  $E$ , элементам  $E_B$ , блокам  $E_B$  и  $E_A$ , а также изделию в целом. Результативность по отдельному отказу определяется как разность между КПП до внедрения мероприятия и КПП после его внедрения:

$$E = R_0 - R_5.$$

Общая результативность внедрения мероприятия определяется как сумма результативностей по всем отказам. В итоге мы получили значение  $E_5 = 7594$  результативности внедрения мероприятия «Обучение персонала для проведения испытаний на надежность».

Далее применяем такой инструмент качества, как диаграмма Парето, для оценки необходимости дальнейшего внедрения мероприятий. В итоге мы получаем скорректированный перечень наиболее вероятных видов потенциальных отказов, на которые необходимо обращать внимание в первую очередь. Необходимость продолжения оценки результативности определяется количеством отказов, попавших в этот перечень. Итак, после внедрения мероприятия  $k_5$  данный перечень сократился на 15%.

Продолжаем проводить оценку результативности внедрения мероприятий по описанному принципу. Для ускорения процесса разобьем коэффициенты на несколько групп. Сначала возьмем в расчет коэффициенты  $k_6 = k_7 = k_9 = 0,3$ , а затем все остальные. Определим значения возможности возникновения отказов  $O$  при внедрении мероприятий  $k_6, k_7, k_9$  для модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М:

$$P_{R6R7R9max} = k_6 k_7 k_9 P_{R5max};$$

$$P_{R6R7R9min} = k_6 k_7 k_9 P_{R5min}.$$

Далее рассчитываем коэффициент приоритетного риска каждого потенциального отказа конструкции при внедрении мероприятий  $k_6, k_7, k_9$  для модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М. Затем определяем результативность внедрения мероприятий  $k_6, k_7, k_9$  по отдельным отказам  $E$ , элементам  $E_B$ , блокам  $E_B$  и  $E_A$ , а также изделию в целом:

$$E = R_5 - R_{679}.$$

Общая результативность внедрения мероприятий «Использование более совершенных покрытий и уплотняющих материалов», «Усовершенствование конструкции основания для гашения вибрационных нагрузок», «Входной контроль материалов и комплектующих» будет  $E_{679} = 6837$ . После внедрения мероприятий  $k_6, k_7, k_9$  перечень наиболее вероятных видов потенциальных отказов сократился еще на 40%.

Теперь рассмотрим оставшиеся коэффициенты. В расчет возьмем коэффициенты  $k_2 = k_3 = k_4 = k_8 = 0,5$  и  $k_1 = 0,7$ . Определим значения возможности возникновения отказов  $O$  при внедрении мероприятий  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_8$  для модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М:

$$P_{R1R2R3R4R8max} = k_1 k_2 k_3 k_4 k_8 P_{R6R7R9max};$$

$$P_{R1R2R3R4R8min} = k_1 k_2 k_3 k_4 k_8 P_{R6R7R9min}.$$

Далее рассчитываем коэффициент приоритетного риска каждого потенциального отказа конструкции при внедрении мероприятий  $k_6, k_7, k_9$  для модернизированного электропривода стрелочного типа СП-6М. Затем определяем результативность внедрения мероприятий  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_8$  по отдельным отказам  $E$ , элементам  $E_B$ , блокам  $E_B$  и  $E_A$ , а также изделию в целом:

$$E = R_{679} - R_{12348}.$$

Общая результативность внедрения мероприятий «Усовершенствование качества проведения ремонтов и технического обслуживания», «Обучение персонала для обслуживания изделия», «Разработка методики испытаний на надежность», «Разработка стенда для комплексных испытаний на надежность с автоматизацией процесса измерения», «Закупка материалов и комплектующих у проверенных поставщиков» будет  $E_{12348} = 5545$ . После внедрения мероприятий  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_8$  перечень наиболее вероятных видов потенциальных отказов сократился еще на 50%.

Целью проведения анализа является определение значения общей результативности внедрения всех мероприятий:

$$E = E_5 + E_{679} + E_{12348} = 7594 + 6837 + 5545 = 19976.$$

По итогам проведения оценки результативности можно заключить, что риск возникновения отказов после внедрения мероприятий снизится почти на 70% от первоначального риска. Это является хорошим результатом в достижении уменьшения количества отказов продукции.

Оценка результативности внедрения мероприятий позволяет выявлять возможные проблемы на ранних стадиях производства продукции, следовательно, снижает затраты на проведение коррекции и корректирующих действий в процессе эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. ФМЕА: справ. рук.: [пер. с англ.] / «Крайслер корпорэйшн», «Форд мотор компани», «Дженерал моторс корпорэйшн». – Н. Новгород: НИЦ КД; Приоритет, 1997. – 67 с.
2. Ритенман, В.И. Результаты внедрения метода ФМЕА-анализа конструкции для повышения качества электропривода стрелочного типа СП-6М / В.И. Ритенман // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 4. – С. 20-25.

Материал поступил в редколлегию 3.02.15.