

УДК 65.012

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ВИДОВ И ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ж.А. Даев, Е.Т. Нурушев

Статья посвящена вопросам перехода технического обслуживания и организации ремонтов воздушных судов от традиционной системы, которая основана по наработке определенного количества часов, к системе эксплуатации по состоянию воздушного судна. Рассматриваются возможные риски и их последствия в случае такого перехода. Представлен обзор некоторых методов оценки рисков. Предложено применение комбинированных методов анализа видов и последствий отказов (FMEA) и контрольных карт Шухарта с целью уменьшения рисков. Показана обоснованность применения комбинированного метода в рассматриваемой задаче для обеспечения летной годности воздушных судов. Даются рекомендации по расчету контрольных границ для контрольных карт Шухарта. Предлагаемый комбинированный подход не ограничивается применением только на авиационных предприятиях и может быть распространен на многие отрасли с целью уменьшения рисков.

Ключевые слова: авиация, контроль, FMEA, карты Шухарта, риск, отказ.

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS FOR AVIATION ENTERPRISES

Zh.A. Dayev, E.T. Nurushev

The article raises questions of the transition of technical maintenance and organization of aircraft repairs from the traditional system, which is based on flights (in hours) to the operating system as per the state of the aircraft. Possible risks and their consequences in case of such a transition are discussed. The paper provides an overview of some methods of risk assessment. Therefore, the purpose of the article is to present the application of combined methods for the failure mode and effect analysis (FMEA) and Shewhart control charts in order to reduce risks. The article shows the validity of the combined method application in the problem under consideration to ensure the airworthiness of aircraft. There are given recommendations on the calculation of control boundaries for Shewhart control charts. The proposed combined approach is not limited to use only in aviation enterprises and can be extended to many industries in order to reduce risks.

Keywords: aviation, control, FMEA, Shewhart cards, risk, refusal.

Введение

Безопасность полетов в гражданской авиации является одной из самых приоритетных задач, которая ставится перед предприятиями, эксплуатирующими авиационную технику. Безопасность полетов обеспечивается правильной технической и летной эксплуатацией авиационной техники, надежностью бортовых приборов и систем, а также выполнением своевременного полного комплекса ремонтно-технических мероприятий. Данные мероприятия регламенти-

руются как международными нормативными документами, так и документами отдельных государств [1–5].

В настоящее время существующие системы ремонта воздушных судов включают в себя такие виды мероприятий, как система капитальных ремонтов, регламентированных ремонтов, которые ранее имели основное применение, а также ремонт по техническому состоянию и ремонт по уровню надежности [6]. Однако в связи со сменой экономической

модели государств СНГ, с учетом имеющегося мирового опыта, эксплуатирующие и авиаремонтные предприятия вынуждены переходить на новые принципы поддержания летной годности воздушных судов. В данное время принцип эксплуатации авиационной техники по наработке часов заменяется принципом поддержания летной годности без капитальных ремонтов или по состоянию воздушных судов. Подобный переход на новый принцип может послужить источником определенных рисков, связанных с безопасностью полетов. Поэтому в подобных условиях становятся актуальными различные системы контроля рисков и качества продукции и услуг [7]. На сегодняшний день актуальными являются такие методики контроля качества, как метод анализа видов и последствий отказов (*Failure Mode and Effect Analysis – FMEA*) [8], или методы контроля качества, основанные на статистических данных. К последним относится метод контрольных карт Шухарта [9].

Согласно работе [10], одним из наиболее распространенных и доказавших свою эффективность во многих отраслях, в том числе в машиностроении и приборостроении, является метод *FMEA*. За более чем полувековую историю метод *FMEA* получил широкое распространение даже в таких сферах, как финансы, маркетинг, закупки и человеческие ресурсы. Поэтому, учитывая важность безопасности полетов в гражданской авиации, рассмотрим подробнее данный метод в условиях неопределенности оценки качества летной годности авиационной техники.

Целью настоящей работы является модификация данного метода статистическими методами контроля качества для повышения его эффективности.

Описание метода *FMEA* и постановка задачи

В соответствии с работой [8] метод *FMEA* является методом систематического анализа системы для идентификации видов потенциальных отказов, их причин и последствий, а также влияния отказов на функционирование системы (в целом или ее компонентов). Суть метода сводится к оценке системы или ее компонентов группой экспертов, которые сообщают выставляют баллы для любого потенциального дефекта или возможного отказа по трем показателям:

1. *S* – значимость, которая определяется с точки зрения тяжести последствий отказа;
2. *O* – вероятность появления отказа;
3. *D* – возможность обнаружения отказа до проявления его последствий.

Каждый из этих показателей оценивается по десятибалльной шкале. Для первых двух критериев эта шкала возрастающая, т.е. чем выше значимость или частота появления отказа, тем выше соответствующие оценки. Для третьего критерия шкала убывает – чем выше возможность обнаружения данного отказа, тем ниже соответствующая оценка. Интегральная оценка критичности данного отказа (так называемое ПЧР – приоритетное число риска) вычисляется как произведение этих трех оценок. Ее величина может принимать значения от 1 до 1000 и служит оценкой уровня риска данного отказа [10]. В соответствии с работой [8] граничное значение ПЧР_{гр} считается приемлемым, если его величина ниже значения 125. В данном методе предъявляются высокие требования к компетенции экспертов, которые проводят оценку по методике *FMEA*. В соответствии с рекомендациями количество экспертов может колебаться от 4 до 8 человек. Каждый из экспертов представляет собой человека с большим опытом и знаниями в определенной области.

В нашем случае под системой будем понимать авиационную технику. При переходе на новый принцип оценки надежности воздушных судов по состоянию, в условиях неопределенной летной годности авиационной техники, в которые будут поставлены авиакомпания, возникают риски безопасности полетов. Если быть точнее, периодичность проведения ремонтных работ может быть сильно снижена с целью экономии денежных средств. Поэтому в условиях неопределенности оценки летной годности предлагается проведение метода *FMEA* на предприятиях, которые эксплуатируют авиационную технику группой независимых экспертов с одинаковыми компетенциями по определенному направлению, которые могут работать независимо друг от друга. Правильность суждений экспертов и контроль выставления баллов будут оцениваться с помощью дополнительных методов. В качестве дополнительных методов могут выступать статистические методы. Ниже опишем подобную оценку годности авиационной техники методом *FMEA* с помощью привлечения метода контрольных карт Шухарта в соответствии с нормативом [9].

В соответствии с работой [11] безопасность любой системы определяется надежностью ее самого слабого звена. Наиболее сложным и одновременно самым уязвимым звеном любой системы является человек. Негативное влияние человека на безопасность обозначают понятием «человеческий фактор». В процессе жизнедеятельности человек (будь то рядовой служащий либо эксперт) может оказаться в экстремальной ситуации, когда физические и психологические нагрузки достигают таких уровней, при которых индивидум теряет способность к рациональным действиям и решениям. Поэтому при проведении оценки рисков и отказов авиационной техники методом *FMEA* мы не исключаем проявлений уязвимости метода в виде человеческого фактора. В связи с этим, учитывая важность и значимость обеспечения безопасности полетов и сохранения человеческой жизни во время их выполнения, предлагается усовершенствовать методику *FMEA* с целью исключения человеческого фактора с помощью применения контрольных карт Шухарта.

Комбинация контрольных карт Шухарта и метода FMEA как решение задачи

В соответствии с работой [9] под контрольными картами понимают графическое средство, использующее статистические подходы и позволяющее обнаружить неестественные изменения в данных из повторяющихся процессов и дать критерии для обнаружения отсутствия статистической управляемости. Считается, что процесс находится в управляемом состоянии, если изменчивость вызвана только случайными причинами. Отклонения от приемлемого уровня считаются результатом действия особых причин, которые следует выявить, исключить или ослабить. В качестве требования можно выдвинуть условие, чтобы при проведении оценки по методу *FMEA* в качестве экспертов выступали не люди, состоящие в одной группе и работающие в режиме «мозгового штурма», а несколько групп экспертов, где каждый из них проводит оценку независимо друг от друга. Эксперты в каждой из групп проводят оценку системы путем выставления баллов по трем показателям в соответствии с методом *FMEA*. Соответственно, выставленные баллы в каждой из групп по определенной проблеме можно проверить с помощью контрольных карт Шухарта и найти так называемое истинное значение балла.

По методу контрольных карт в каждой из групп определяется значение центральной линии (*CL*), которая представляет собой среднее арифметическое баллов, которые присвоили эксперты по определенному вопросу. После этого определяются контрольные границы относительно центральной линии, которые называются верхней контрольной границей (*UCL*) и нижней контрольной границей (*LCL*). Границы выставляют дальше от центральной линии по обе стороны от нее на расстоянии $\pm 3\sigma$, где σ – среднее квадратическое отклонение мнений экспертов. Кроме этого критерия часто пользуются границами, построенными от центральной линии на расстоянии $\pm 2\sigma$. Такая граница служит предостережением о предстоящей угрозе. Учитывая применение метода *FMEA* во время ответственных мероприятий, примем в качестве контрольных границ величину, равную $\pm 2\sigma$.

Результаты работы экспертов при выходе на контрольную границу или за нее могут считаться некорректными либо опасными при проведении оценки по *FMEA* и потребуют дополнительного расследования.

С другой стороны, в соответствии с работой [12] существует принцип практической уверенности, согласно которому можно быть уверенным в том, что среднее значение результата для величины принимается за действительное значение.

На рисунке 1 показан пример расчета контрольных карт Шухарта при оценке состояния отказов авиационной техники группой экспертов, которая состоит из шести человек. В качестве контрольных границ выбраны расстояния, равные величине $\pm 2\sigma$ от центральной линии. Для построения контрольных границ значения округляются до ближайшей целой величины. По оси абсцисс располагаются номера экспертов, а по оси ординат располагаются баллы от 1 до 10, которые выставляются экспертами в соответствии с методикой *FMEA*. Как следует из примера на рис. 1, мнения экспертов при вычислении значимости отказа распределились как на первом графике. Из графика видно, что выставленный балл с большой вероятностью может быть принят равным значению центральной линии. Из первого графика также видно, что двое из шести экспертов выставили баллы, отличные от мнения большинства экспертов. Поэтому после проведения анализа можно провести дополнительный анализ и выявить, ошибаются ли данные эксперты, либо в ходе

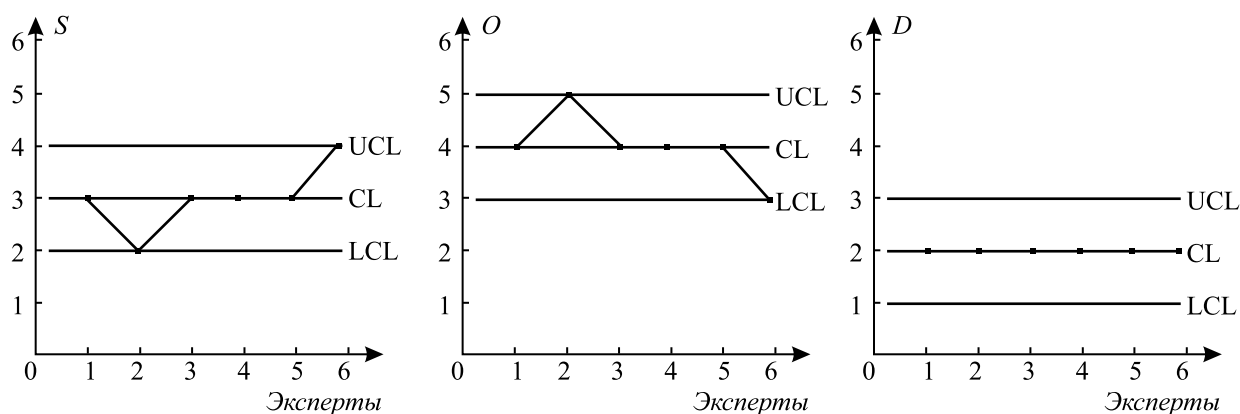


Рис. 1. Пример контрольных карт Шухарта при оценке методом *FMEA*

анализа *FMEA* были упущены важные факты, которые требуют дополнительного обсуждения. К примеру, третий график оценки возможности отказа до проявления демонстрирует полную солидарность всех экспертов, которая может быть принята в качестве достоверной оценки этого параметра без сомнений. Предлагаемый комбинированный подход позволит получать более достоверные данные при ранжировании отказов, которые необходимы при вычислении величины ПЧР.

Таким образом, авторы считают, что предлагаемый комбинированный метод выявления и снижения уровня рисков на авиационных предприятиях (и не только на данных предприятиях) позволит существенно уменьшить количество проблем, связанных с обеспечением безопасности полетов, а также улучшить экспертизу качества ремонтных работ авиационной техники.

Заключение

В работе предложен комбинированный метод проведения оценки возможных рисков при эксплуатации авиационной техники по методике *FMEA* с контрольными картами Шухарта. Авторы считают, что такая комбинация методов позволит усилить безопасность полетов в условиях реализации принципа эксплуатации авиационной техники по состоянию при определении летной годности. Комбинация методов позволяет проводить анализ отказов и рисков по методу *FMEA* независимыми экспертами и проводить сравнение результатов их работы с помощью контрольных карт Шухарта, которые будут показывать отклонения при выставлении баллов для всех показателей, что позволит рассчитать наиболее достоверное значение величины ПЧР для определенного вида отказов. Представленная работа может быть полезна со-

трудникам любых компаний и производств при выполнении анализа рисков.

Список литературы

1. ИКАО. Руководство по управлению безопасностью полетов. М.: Международная организация гражданской авиации, 2009. – 293 с.
2. Закон Республики Казахстан от 15.07.2010 № 339-IV «Об использовании воздушного пространства Республики Казахстан и деятельности авиации» // Ведомости Парламента РК. № 17–18. 13 августа 2010 г.
3. Воздушный кодекс Российской Федерации № 60-ФЗ от 19.02.1997 // Российская газета. № 59–60. 26 марта 1997 г.
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 18 января 2012 г. № 103 «Об утверждении Основных правил полетов в воздушном пространстве Республики Казахстан» // Казахстанская правда. № 67. 12 декабря 2012 г.
5. Указ Президента РФ от 08.08.98 № 938 «О повышении безопасности полетов в Российской Федерации и мерах по совершенствованию деятельности в области авиации» и Указом от 11.11.98 № 1357. Информационно-правовой портал «Гарант». Режим доступа: <http://www.garant.ru/> (дата обращения: 29.06.2017).
6. Орлов К.Я., Пархимович В.А. Ремонт самолетов и вертолетов. М.: Транспорт, 1986. – 295 с.
7. Макаров В.П. Разработка в авиакомпании системы менеджмента рисков в отношении безопасности полетов // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 9 (68). С. 1–15.
8. ГОСТ Р 51901.12–2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. М.: Стандартинформ, 2008. – 40 с.

9. ГОСТ Р 50779.42–99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. М.: ИПК издательство стандартов, 2000. – 37 с.
10. Розенталь Р. Методика FMEA. Путь повышения качества продукции // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. № 7. С. 90–95.
11. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков. М.: Академия, 2008. – 368 с.
12. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. СПб.: Питер, 2010. – 192 с.

Материал поступил в редакцию 06.04.2017

**ДАЕВ
Жанат Арикулович**

E-mail: zhand@yandex.ru
Тел.: +7 7771566720

Доктор философии (PhD), кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующий лабораторией «Информационно-измерительных систем» ТОО «Технопарк Zerek» Актюбинского университета им. академика С. Баишева. Сфера научных интересов: информационно-измерительная техника, АСУТП, гидродинамика, инновационные технологии. Автор 65 научных публикаций.

**НУРУШЕВ
Ермек Тургалиевич**

E-mail: sunshine-13@mail.ru
Тел.: +7 7078836452

Аспирант кафедры «Инноватика и интегрированные системы качества» Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП). Сфера научных интересов: АСУТП, авиационное приборостроение, электромеханика, инновационные технологии. Автор 25 научных публикаций.