

УДК 005.6:004

## ИНТЕРВАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ FMEA-МЕТОДОЛОГИИ

В. Е. Гвоздев<sup>1</sup>, М. А. Абдрафиков<sup>2</sup>, К. Б. Ахуньянова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>wega55@mail.ru, <sup>2</sup>aliastos@yandex.ru, <sup>3</sup>akhunyanova.k@gmail.com

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 8 апреля 2014 г.

**Аннотация.** Рассматривается подход к оцениванию показателей надежности изделий на основе FMEA-методологии и интервальных оценок показателей надежности компонентов. Анализируются особенности интервальных и статистических оценок при разных структурных схемах соединения компонентов. Описываются ограничения на область применимости предлагаемого подхода.

**Ключевые слова:** интервальные оценки; показатели надежности; схема соединения компонентов; дерево неисправностей.

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества информационной поддержки управления состоянием сложных объектов требует развития методов оценивания текущего и ожидаемого состояния изделий на основе разноаспектной информации [1–4].

По данным [5], около 80 % всех дефектов, которые выявляются в процессе производства и эксплуатации изделий, обусловлены недостаточным качеством процессов разработки концепции изделия, конструирования и подготовки его производства. Около 60 % всех сбоев, которые возникают при эксплуатации во время гарантийного срока изделия, имеют свою причину в ошибочной, поспешной и несовершенной разработке. Несвоевременное выявление дефектов приводит к непредвиденным расходам на качество. Для того чтобы снизить затраты, учесть в большей степени пожелания потребителей и сократить сроки разработки и выхода на рынок продукции, применяют специальные технологии разработки и анализа разработанных изделий и процессов: технологию развертывания функций качества (*QFD – Quality Function Deployment*); функционально-стоимостный анализ (ФСА); FMEA-анализ (*Failure Mode and Effects Analysis*); функционально-физический анализ (ФФА) и др. Среди них наиболее извест-

ным методом управления требованиями к процессам производства радиоэлектронных модулей аппаратуры связи и требованиями к их техническим характеристикам по критерию надежности является FMEA-анализ.

Данная методология представляет собой подход по принципу «снизу вверх» и рассматривает последствия аварийных состояний компонентов системы, причинные факторы и воздействия этих состояний на систему в целом. Ограничения метода являются сосредоточение на авариях единственного компонента и исключение из рассмотрения восстановительно-ремонтных действий. Учитывая особую значимость проектных решений, основной областью применимости этого метода являются ранние стадии проектирования, когда необходимо отбросить заведомо неудачные проектные решения. В [6] подчеркивается возможность использования FMEA при принятии решений относительно партий компонентов, имеющих отклонения по некоторым показателям качества.

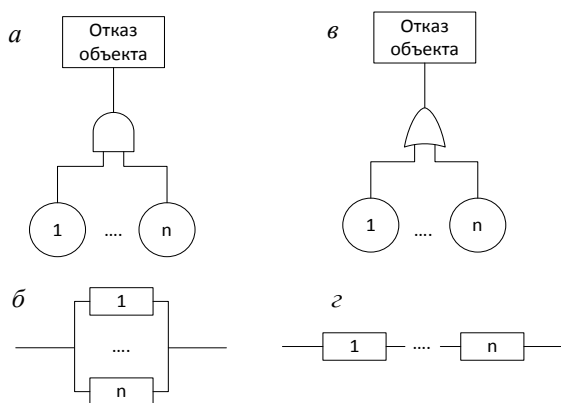
Аппарат FMEA-анализа достаточно хорошо развит для оценивания точечных характеристик надежности объекта (под объектом в соответствии с [7] следует понимать как технические, так и программные средства). Однако во многих литературных источниках и в нормативных документах [8–10], посвященных проектированию сложных объектов, подчеркивается необходимость рассмотрения работы изделия в случае, когда характеристики задаются интервалом.

В настоящей статье рассматривается развитие методологии *FMEA* в случае задания в качестве исходных данных интервальных оценок характеристик надежности комплектующих компонентов. Получены зависимости изменения интервальных и статистических оценок для различных типовых схем деревьев неисправностей.

### ОЦЕНИВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ КОМПОНЕНТОВ

Метод *FMEA* является эффективным для анализа надежности сложных систем, поскольку позволяет анализировать возможные причины и последствия отказа каждого компонента. Под компонентом согласно [7] понимается элемент, рассматриваемый на самом низком иерархическом уровне при анализе системы. В рамках данной методологии рекомендуется рассматривать четыре основных типа моделей: иерархические, структурные, функциональные и логические модели надежности. Это позволяет получать наиболее полное представление об объекте исследования. В настоящей статье рассматривается вопрос, связанный с исследованием логических моделей надежности, которые строятся на базе комбинаций последовательно или параллельно соединенных компонентов. На основе логической модели строятся деревья неисправностей, где в качестве вершины дерева принимается нежелательное событие, являющееся первопричиной для анализа [11].

Типовые схемы деревьев неисправностей и соответствующие им логические модели надежности представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Типовые схемы деревьев неисправностей и соответствующие им логические модели надежности

Параллельное соединение компонентов (рис. 1, а и б) характеризуется тем, что итоговое

событие не появится до тех пор, пока в работоспособном состоянии находится хотя бы один из  $n$  компонентов. Вероятность безотказной работы при задании точечных оценок для такого случая определяется следующим соотношением [11]:

$$P = 1 - \sum_{i=1}^n (1 - P_i).$$

Для появления головного события при последовательном соединении компонентов (рис. 1, в и г) достаточно отказа одного из  $n$  компонентов. Вероятность безотказной работы при задании точечных оценок в данном случае рассчитывается следующим образом:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i.$$

Для оценки вероятности безотказной работы объекта в случае задания интервальных характеристик компонентов предлагается следующий подход.

**Дано:** интервальные оценки показателей надежности компонентов.

**Требуется:** оценить интервальные показатели надежности объекта в зависимости от показателей надежности компонентов при разных структурных схемах их соединения.

**Решение задачи:**

В основе предлагаемого подхода лежит соотношение:

$$A : \{ \{P_k\}, \{\Delta_k\}, n, S \} \rightarrow \{P_0, d_0\}.$$

Здесь  $\{P_k\}_1^n$  – множество ожидаемых значений показателей надежности компонентов;

$\{\Delta_k\}$  – значения диапазонов, в которых могут изменяться значения показателей надежности компонентов. Таким образом, для каждого  $i$ -го компонента  $P_k^{(i)} \in [P - \Delta_k; P + \Delta_k]$ ;

$n$  – число компонентов нижнего уровня;

$P_0$  – номинальное значение характеристики надежности объекта;

$\Delta_0^{(\min)}$  – нижняя граница диапазона, в котором могут изменяться значения  $P_0$ ;

$\Delta_0^{(\max)}$  – верхняя граница диапазона, в котором могут изменяться значения  $P_0$ , т.е.  $P_0 \in [\Delta_0^{(\min)}, \Delta_0^{(\max)}]$ ;

$S$  – способ соединения компонентов: параллельный либо последовательный;

$A$  – оператор, определяющий схему расчета.

Определение границ интервалов  $\Delta_0^{(\min)}$  и  $\Delta_0^{(\max)}$  является отдельной самостоятельной за-

дачей, поэтому считается, что границы интервалов априорно известны.

В основе определения  $\{P_0, d_0\}$  лежит вычислительный эксперимент, укрупненная схема которого представлена на рис 1. На этой схеме  $\xi_i^{(j)}$  – значения  $P_k^{(i)}$  в  $j$ -м эксперименте.

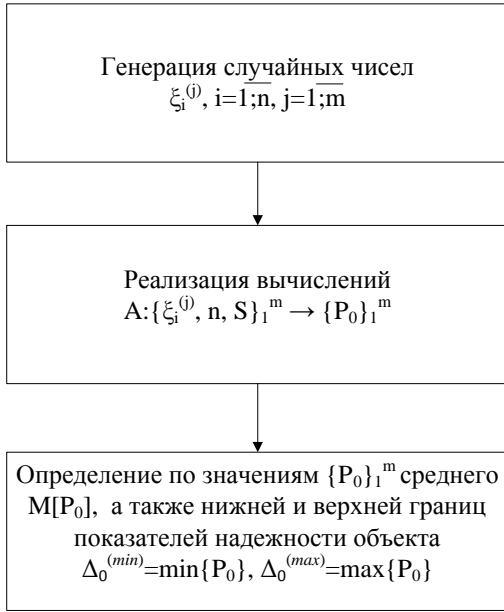


Рис. 2. Укрупненная схема вычислительного эксперимента

Чтобы обеспечить свойство независимости элементов случайной выборки, использовалась «схема с перемешиванием»:

1. Посредством программного датчика случайных чисел генерировалась вспомогательная выборка  $\xi_k^{(e)}$ ,  $k = \overline{1; M}$ , соответствующая  $f(\xi)$ , большего объема  $M \gg N$ .

2. Посредством датчика случайных чисел в  $j$ -м эксперименте формировалась выборка  $N$  целых равномерно распределенных случайных чисел  $w_i^{(j)}$ ,  $i = \overline{1; N}$ ;  $w_i \in [1; M]$ . При этом  $w_i^{(j)}$  рассматривались как номера случайных чисел, входящих в состав выборки  $\xi_k^{(e)}$ .

3. Из выборки  $\xi_k^{(e)}$  выбиралось  $N$  чисел с номерами  $w_i^{(j)}$ , которые и составляли случайную выборку в  $j$ -м эксперименте  $\xi_i^{(j)}$ .

На рис. 3 представлены зависимости вероятности безотказной работы  $P_0$  от числа компонентов при последовательном соединении, а также границы, в которых находились  $P_0$ . В ходе эксперимента считалось, что все  $P_k^{(i)}$ ,  $\Delta_k^{(i)}$ ,  $i = \overline{1; n}$  принимали одинаковые значения.

На рис. 4 представлены зависимости ширины интервалов  $d_0 = \Delta_0^{(max)} - \Delta_0^{(min)}$ , в которых находились  $P_0$  при разных  $n$ ,  $\Delta_k$ .

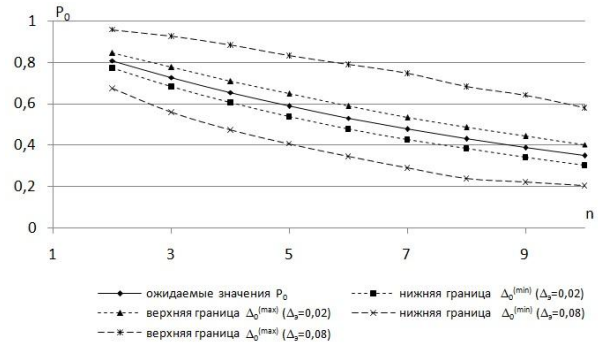


Рис. 3. Ожидаемые значения вероятностей  $P_0$ , его верхние и нижние границы при  $P=0,9$ . Последовательное соединение компонентов

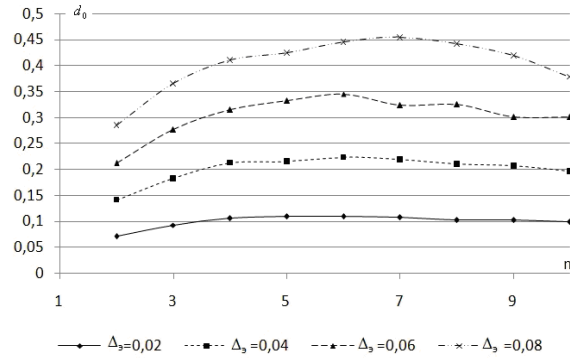


Рис. 4. Зависимость ширины интервала  $d_0$  от числа компонентов  $n$  при  $2 < n < 10$ ;

На рис. 5 представлены зависимости вероятности безотказной работы  $P_0$  от числа компонентов при параллельном соединении, а также границы, в которых они могут изменяться, при разных  $\Delta_k$ ,  $n$ .

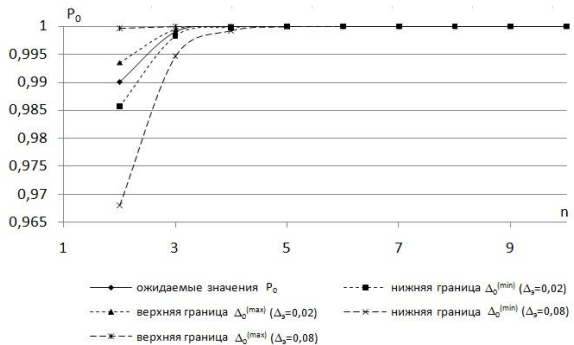
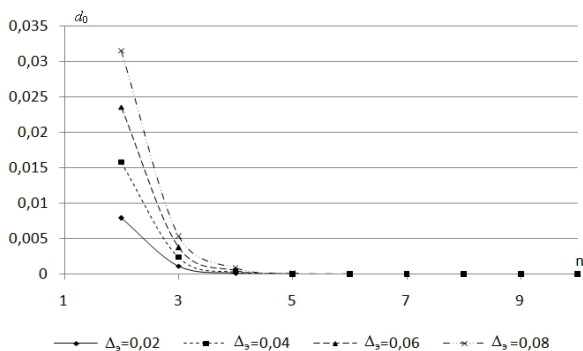


Рис. 5. Ожидаемые значения вероятностей  $P_0$ , его верхние и нижние границы при  $P=0,9$ . Параллельное соединение компонентов



**Рис. 6.** Зависимость ширины интервала  $d_0$  от числа компонентов  $n$  при  $2 < n < 10$ ;  $\Delta_k \in \{0,02; 0,08\}$ ;  $P=0,9$ . Параллельное соединение компонентов

На рис. 6 представлены зависимости ширины интервала  $d_0$ , в которых наблюдались  $P_0$ , в зависимости от  $\Delta_k, n$ .

В результате проведения вычислительных экспериментов было установлено, что при последовательной схеме соединения увеличение числа компонентов приводит к расширению диапазонов, в которых могут изменяться характеристики надежности.

При параллельной схеме соединения увеличение числа элементов диапазоны сужаются, что подтверждает адекватность проведенных исследований в том плане, что при параллельном соединении компонентов надежность объекта повышается с ростом их числа.

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ КОМПОНЕНТОВ

В предыдущей задаче были получены интервальные оценки неопределенности, характеризующие вероятности безотказной работы объекта в зависимости от количества компонентов и способа их соединения. Однако неизвестным является то, как распределяются значения характеристик надежности объекта внутри этих интервалов.

В настоящем разделе предлагается подход, основанный на вычислительном эксперименте, позволяющий уточнить оценки надежности за счет перехода от интервальных к статистическим, то есть от указания диапазона, в котором могут изменяться характеристики надежности, к оцениванию закона распределения этих характеристик. В работе [12] подчеркивается, что переход от интервальных оценок к статистическим уменьшает неопределенность относительно характеристик технического объекта. Следуя

[13], можно утверждать, что уменьшение неопределенности эквивалентно уменьшению риска отказа объекта.

Для решения такой задачи вычислительный эксперимент предлагается провести по следующей схеме.

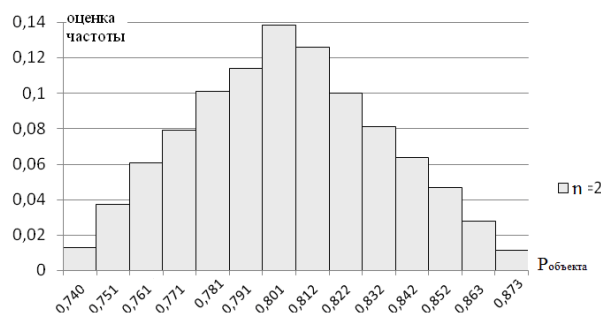
Шаг 1. Используя ранее описанный алгоритм, формируем выборку из  $k$  элементов, где  $k$  – число компонентов, которые содержит объект.

Шаг 2. На основе этой выборки в зависимости от способа соединения элементов рассчитываем вероятность безотказной работы объекта. Повторяем шаги 1 и 2  $N$  раз.

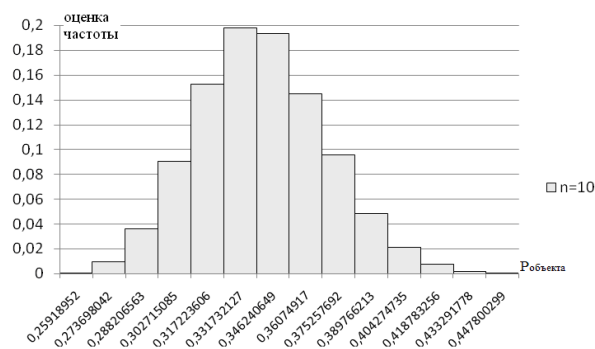
Шаг 3. Определяем границы, в которых изменяется интервал, характеризующий вероятность безотказной работы объекта.

Шаг 4. Выполняем построение гистограммы.

Результаты эксперимента для случая последовательного соединения компонентов в виде гистограмм приведены на рис. 7, 8.



**Рис. 7.** Гистограмма характеристик надежности объекта при последовательном соединении 2 компонентов.  $P_k=0,9 \Delta_k=0,02$



**Рис. 8.** Гистограмма характеристик надежности объекта при последовательном соединении 10 компонентов.  $P_k=0,9 \Delta_k=0,02$

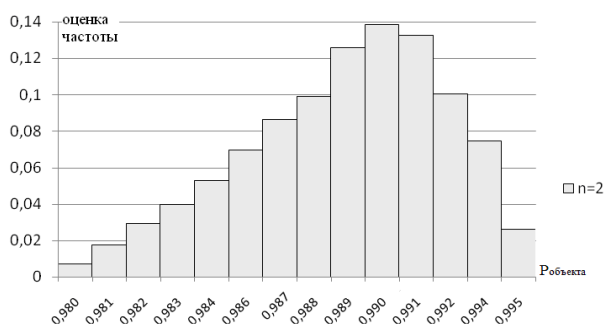
Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

– получаемое распределение вероятности безотказной работы является симметричным относительно математического ожидания;

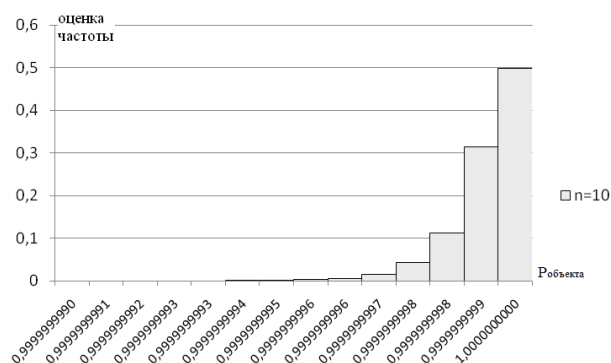
– получаемое распределение является нормальным.

В соответствии с методикой, описанной в [14], была выполнена проверка закона распределения случайной величины на нормальность по критериям  $\chi^2$  и  $F$ -критерию Колмогорова. Полученные результаты позволяют сделать заключение о том, что гипотеза о нормальности не противоречит выборочным данным.

Гистограммы, соответствующие случаю параллельного соединения компонентов, представлены на рис. 9, 10.



**Рис. 9.** Гистограмма характеристик надежности объекта при параллельном соединении 2 компонентов.  $P=0,9 \Delta_k=0,02$



**Рис. 10.** Гистограмма характеристик надежности объекта при параллельном соединении 10 компонентов.  $P=0,9 \Delta_k=0,02$

Из полученных результатов можно заключить, что при параллельном соединении распределение вероятности безотказной работы перестает быть симметричным и смещается к правой границе интервала. Причем, чем больше число компонентов в составе объекта, тем более смещенным становится распределение.

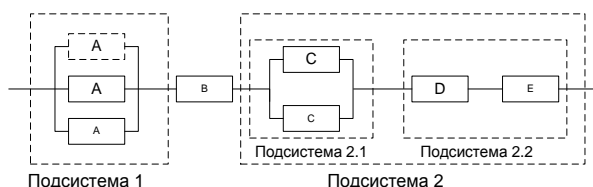
### ОЦЕНИВАНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПРИНЯТИИ КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ

Сложность радиоэлектронной аппаратуры постоянно растет, вместе с тем изменяются требования к их надежности. Это приводит к изменению требований, предъявляемых к комплектующим изделиям. Существует достаточное количество аналогов тех или иных комплектующих элементов, большинство из которых производится за рубежом. При разработке конкретного радиоэлектронного изделия актуальной является задача обоснованного выбора наиболее подходящих комплектующих элементов, с тем, чтобы гарантировать требуемые показатели надежности.

Рассмотрим применение описанных ранее подходов на следующем примере.

Пусть имеется несколько альтернативных вариантов выбора комплектующих компонентов радиоэлектронного модуля. Пусть комплектующие компоненты производителя *A* характеризуются высокими номинальными значениями показателей надежности, но вместе с тем по результатам предыдущего использования известно, что имеет место большой разброс этого показателя. Комплектующие производителя *B* характеризуются менее высокими номинальными значениями показателей надежности, но показали более устойчивые значения характеристик надежности по результатам использования.

Предположим, что логическая модель надежности радиоэлектронного модуля выглядит, как показано на рис. 11.



**Рис. 11.** Логическая модель надежности модуля

Соответствующее логической модели надежности дерево отказов данного модуля приведено на рис. 12.

Для данного модуля был проведен вычислительный эксперимент по схеме, описанной в разделе 1, для двух случаев:

- $P=0,95$  и  $\Delta_k=5\%$  от  $P$ ;
- $P=0,93$  и  $\Delta_k=1\%$  от  $P$ ;

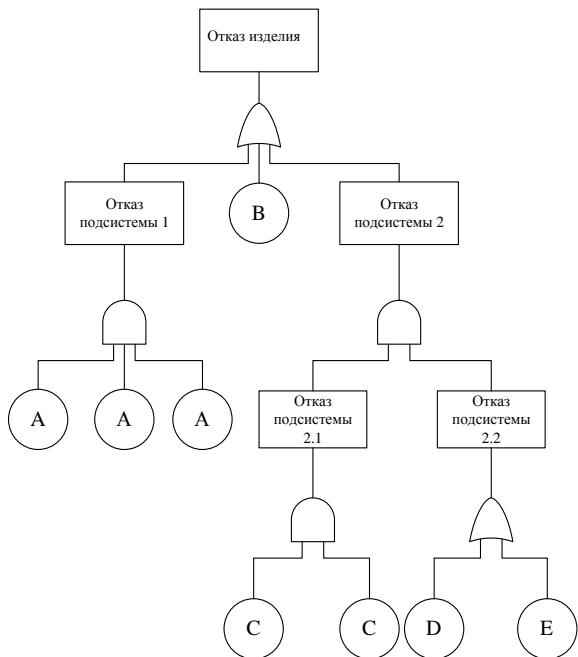


Рис. 12. Дерево отказов модуля

Считается, что все компоненты модуля имеют одинаковые номинальные значения характеристик надежности.

В результате вычислительного эксперимента были определены границы, в которых могут изменяться вероятности безотказной работы модуля  $P_0$ .

Статистические оценки тех же показателей надежности представлены на рис. 13 и 14.

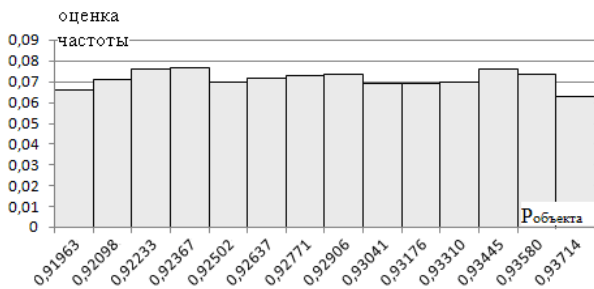


Рис. 13. Гистограмма характеристик надежности модуля при  $P=0,93 \Delta_k=1\%$  от  $P$

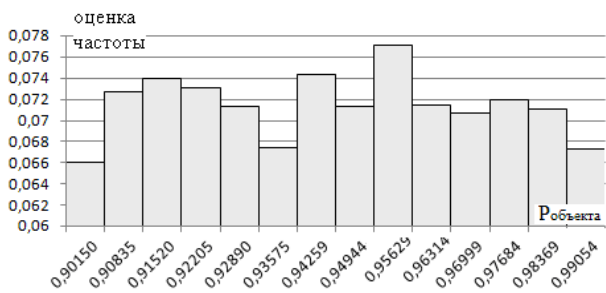


Рис. 14. Гистограмма характеристик надежности модуля при  $P=0,95 \Delta_k=5\%$  от  $P$

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные	Номинальные значения оценки надежности изделия	Интервал, характеризующий разброс оценок надежности изделия	Ширина интервала, характеризующего разброс оценок надежности изделия
$P=0,95$ $\Delta_k=5\%$ от $P$	0,9497	[0,901505; 0,997393]	0,095887
$P=0,93$ $\Delta_k=1\%$ от $P$	0,9291	[0,919637; 0,938496]	0,01886

На основе данных таблицы была построена пузырьковая диаграмма, представленная на рис. 15.

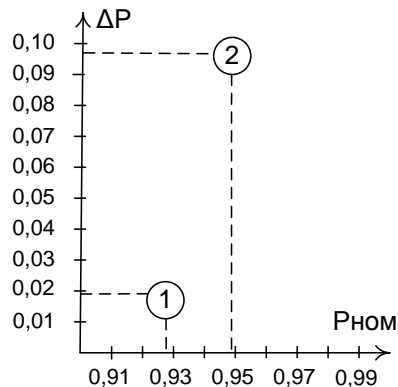


Рис. 15. Пузырьковая диаграмма альтернативных вариантов

Технология принятия решений на основе анализа пузырьковых диаграмм описана, например, в [15].

Таким образом, предлагаемый подход к интервальному исследованию характеристик надежности позволяет свести новую задачу к использованию известных технологий применения пузырьковых диаграмм.

### ОЦЕНКА ОБЛАСТИ ПРИМЕНИМОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА

Предлагаемый подход ограничен возможностью исследования достаточно простых конструкций и практически не применим для крупных систем, содержащих большое число элементов. Однако возможным выходом из этой ситуации является разбиение объекта на блоки с тем, чтобы сначала определить интервальные оценки отдельных блоков, после чего по анало-

гичным схемам оценить надежность всего изделия.

Ограничением предлагаемого подхода является необходимость задания интервальных оценок характеристик надежности. При определении этих интервальных оценок могут возникать некоторые трудности, обусловленные тем, что в паспортах на компоненты отсутствует информация о границах, в которых могут изменяться характеристики надежности. Возможными способами получения необходимых для расчетов данных являются либо организация специальных испытаний, ориентированных на получение оценок граничных значений характеристик надежности [16], либо сбор данных о результатах подконтрольной эксплуатации. Проблемы, связанные с каждым из способов, описаны, например, в [17].

Отметим, что определение объемов испытаний является самостоятельной задачей и в рамках настоящей статьи не рассматривается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев В. И., Идрисов И. И., Макаров А. С.** Нейросетевые технологии в задачах управления и контроля авиационных двигателей // Системы управления и информационные технологии. 2011. № 1.1 (43). С. 122–126. [ V. I. Vasylyev, I. I. Idrisov, A. S. Makarov, "Neural network technology problems in the management and control of aircraft engines," (in Russian), in *Control Systems and Information Technology*, no. 1.1 (43), pp. 122-126, 2011. ]
2. **Гвоздев В. Е., Абдрафиков М. А.** Оценивание граничных значений характеристик надежности радиоэлектронных функциональных узлов систем коммутации по данным подконтрольной эксплуатации // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2012. Т. 5, № 157. С. 71-77. [ V. E. Gvozdev, M. A. Abdrafikov, "Estimation of boundary values of reliability characteristics of the functional units of electronic switching systems according to the controlled operation," (in Russian), *Scientific and technical statements of the St. Petersburg State Polytechnical University*, vol. 5, no. 157, pp. 71-77, 2012. ]
3. **Ураксеев М. А., Мунасыпов Р. А., Жернаков С. В., Чернышев В. Ю., Чепайкин А. С.** Методика обработки цифрового сигнала пирометра для измерения температуры лопаток ГТД на основе статистических и нейросетевых алгоритмов // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 3 (43). С. 112–116. [ M. A. Urakseev, R. A. Munasypov, S. V. Zhernakov, V. U. Chernyshov, A. S. Chepajkin, "Digital signal processing technique pyrometer for measuring the temperature of GTE blades based on statistical and neural network algorithms," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 3 (43), pp. 112-116, 2011. ]
4. **Ципачев А. М., Хакимова Р. Р., Черняховская Л. Р.** Прогнозирование характеристик усталости прочности металлов с учетом технологии обработки на основе нейро-нечеткого моделирования // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 146 № 2. С. 80–82. [ A. M. Shchipachev, R. R. Hakimova, L. R. Chernyachovskaya, "Prediction of fatigue strength characteristics of metals, taking into account processing technology based on neuro-fuzzy modeling," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 14, no. 2 (42), pp. 80-82, 2010. ]
5. **Варжапетян А. Г., Балашов В. М., Варжапетян А. А., Семенова Е. Г.** Менеджмент качества: Принятие решений о качестве, управляемом заказчиком. М.: Вузовская книга, 2007 [ *Quality Management: Decision-making about the quality, customer driven*. 2nd ed. (in Russian). Moscow: Vuzovskaya kniga, 2007. ]
6. **ГОСТ Р 51814.2-2001** Системы качества в автомобильном транспорте. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: Издательство стандартов, 2000. 19 с. [ *Quality systems in the automotive industry. Failure modes and effects analysis*. (in Russian), Federal standard R 51814.2-2001, Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2000. ]
7. **ГОСТ Р 51901.5-2005** Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М.: Стандартинформ, 2005. 71 с. [ *Risk management. Guide for application of analysis techniques for dependability*. (in Russian), Federal standard R 51901.5-2005, Moscow, Standartinform, 2005. ]
8. **ESA PSS-05-02** Guide to the user requirements definition phase, March 1995.
9. **ГОСТ Р 51901-2002** Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Стандартинформ, 2003. 22 с. [ *Dependability management. Risk analysis of technological systems*, (in Russian), Federal standard R 51901-2002, Moscow, Standartinform, 2003. ]
10. **Макконнелл С.** Сколько стоит программный проект. СПб.: Питер, 2007. 297с. [ S. Macconnell, *How much is a software project*, (in Russian). Saint Petersburg: Piter, 2007. ]
11. **ГОСТ Р 51901.13-2005** Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. М.: Стандартинформ, 2005. 9 с. [ *Dependability management. Fault tree analysis* (in Russian), Federal standard R 51901.13-2005, Moscow, Standartinform, 2005. ]
12. **Трусов П. В.** Введение в математическое моделирование. М.: Логос, 2004. 440 с. [ P.V. Trusov, *Introduction to Mathematical Modeling*, (in Russian). Moscow: Logos, 2004. ]
13. **Липаев В. В.** Надежность программного обеспечения. - М.: Энергоиздат, 1981. -241с. [ V. V. Lipaev, *Software Reliability*, (in Russian), Moscow, Energizdat, 1981. ]
14. **Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В.** Курс теории вероятностей и математической статистики. М.: Наука, 1969. 511 с. [ N. V. Smirnov, I. V. Dunin-Barkovskiy, *Course on probability theory and mathematical statistics*, (in Russian). Moscow: Nauka, 1969. ]
15. **Милошевич Д.** Набор инструментов для управления проектами. М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2008. 729 с. [ D. Milishevich, *Set of tools for project management* (in Russian), Moscow: Kompaniya AiTi: DMK Press, 2008. ]
16. **Гвоздев В. Е., Таназлы Г. И., Хасанов А. Ю., Абдрафиков М. А.** Анализ надежности технических систем на основе математико-статистического моделирования // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 22–28. [ V. E. Gvozdev, G. I. Tanazly, A. Y. Hasanov, M. A. Abdrafikov, "Reliability analysis of technical systems on the basis of mathematical –statistical modeling," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 2 (42), pp. 22-28, 2011. ]
17. **Дружинин Г. В.** Надежность автоматизированных систем. Изд. 3, перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 536 с. [ G. V. Druzhinin, *Reliability of automated systems*, (in Russian), Moscow: Energiya, 1977. ]

## ОБ АВТОРАХ

**ГВОЗДЕВ Владимир Ефимович**, зав. каф. автоматизации проектирования информационных систем. Дипл. инж. по электронике (УАИ, 1978). Д-р техн. наук по автоматизированным системам управления (УГАТУ, 2002). Иссл. в обл. мат. моделирования, прикладной статистики, управления сложными объектами.

**АБДРАФИКОВ Михаил Асхатович**, ст. преп. каф. автоматизации проектирования информационных систем. Дипл. инж. по системам автоматизированного проектирования (УГАТУ, 2009). Канд. техн. наук по системному анализу, управлению и обработке информации (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. мат. моделирования.

**АХУНЬЯНОВА Ксения Борисовна**, асп. каф. автоматизации проектирования информационных систем. Магистр-инж. по информатике и вычислительной технике (УГАТУ, 2013).

## METADATA

**Title:** Interval estimation of reliability parameters based on methodology FMEA.

**Authors:** V. E. Gvozdev, M. A. Abdrafikov, K.B. Akhunyanova.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>3</sup>akhunyanova.k@gmail.com

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 4 (65), pp. 91-98, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** In this paper the approach to the estimation of reliability of products based on the FMEA methodology and interval estimates reliability parameters of components is discussed. The characteristics of interval and statistical estimates for different structural schemes connection of components are analyzed. The restrictions on the scope of applicability of proposed approach are described.

**Key words:** interval estimates; reliability parameters; scheme connection of components; fault tree.

**About authors:**

**GVOZDEV**, Vladimir Efimovich, Prof., Dept. of Automation of Information systems design. Dipl. Electronic engineer (UGATU). Cand of Tech. Sci. (UGATU), Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2002)

**ABDRAFIKOV**, Mikhail Askhatovich, Dept. of Automation of Information systems design. Dipl. Engineer (UGATU, 2009), Cand of Tech. Sci. (UGATU, 2012)

**AKHUNYANOVA** Kseniya Borisovna, Postgrad. (PhD) Student, Dept. Automation of Information systems design. Master engineer of Computer Science and Computer engineering (UGATU, 2013).