

У ДК 621.396.6

## **Построение функций принадлежности параметров радиоэлектронной аппаратуры по экспериментальным данным**

**Заковряшин А.И.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*e-mail: [zai999@mail.ru](mailto:zai999@mail.ru)*

### **Аннотация**

Предложен способ построения функций принадлежности параметров радиоэлектронной аппаратуры по экспериментальным данным, рассмотрены три типа полей допусков, сформулированы требования к функциям принадлежности параметров, разработана процедура построения функций принадлежности параметров с различными типами полей допусков, приведены примеры построения.

**Ключевые слова:** радиоэлектронная аппаратура, типы полей допусков параметров, требования к функциям принадлежностей, построение функций принадлежностей параметров для различных типов полей допусков, примеры.

### **Введение**

В современных бортовых системах контроля летательных аппаратов [1] нечеткое управление успешно применяется, поэтому задача построения функции принадлежности нечеткого множества по экспериментальным данным является актуальной. Оценка работоспособности объекта радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) включает выбор технических параметров; подбор соответствующих средств диагностирования, определение методик контроля выбранных параметров, выполнение измерений параметров, обработку имеющейся измерительной и априорной информации по объекту с целью формирования рекомендаций лицу, принимающему решение по применению объекта.

Техническое диагностирование предполагает сопоставление результатов измерений с требованиями, содержащимися в технической документации. В диагностике различают два подхода. Первый подход предполагает сравнение значений параметров с заданными значениями границ полей допусков. Если результат измерения, хотя бы одного из параметров оказался вне соответствующего поля допуска, диагностируемую аппаратуру рассматривают как неработоспособную. В случае полного соответствия всех измеренных значений параметров требованиям технической документации, объект признается работоспособным и подлежит дальнейшей эксплуатации. В рассматриваемом подходе использована дискретная модель диагностирования, реализующая только критерий принадлежности [2]. Модель не позволяет обнаруживать приближение значений параметров к границам полей допусков.

Разработана непрерывная модель диагностирования [3], оценки которой помимо граничных значений «ГОДЕН» (единица), «НЕ ГОДЕН» (нуль) могут принимать множество промежуточных значений. В модели реализованы критерии принадлежности, оптимальности и превосходства. Обработка результатов измерений на основе непрерывной модели сводится к сравнению измеренных значений параметров с границами полей допусков с учетом соответствующих функций принадлежности. Это позволяет рассчитывать количественные оценки технических состояний, как параметров, так и структурных единиц объекта. Уровень работоспособности объекта в этом случае зависит от значений, как технических состояний параметров, так и коэффициентов значимости оценок состояний структурных единиц объекта на конечный результат.

### **Постановка задачи**

Задан объект РЭА, техническое состояние которого характеризуется положениями существенных параметров внутри соответствующих полей допусков. По каждому из параметров выполняются измерения с известной точностью в фиксированные моменты времени. По результатам измерений параметров находятся количественные оценки технических состояний в интервале  $[0,1]$ , где нулю соответствует состояние полной неработоспособности, единице – отличное работоспособное состояние. При нахождении количественных оценок необходимо учитывать не только измерительную и априорную информацию по параметрам, но и

статистические свойства процессов, протекающих в аппаратуре. Они могут быть учтены в функциях принадлежности. Поэтому ставится задача построения функций принадлежности параметров РЭА по экспериментальным данным, представляемым гистограммами. Решение ее предполагает формирование требований к функциям принадлежности (функциям работоспособного состояния) параметров и разработку процедур построения функций принадлежности для параметров с различными типами полей допусков. Традиционно функции принадлежности нечетких множеств строятся на основе усредненных оценок группы экспертов [4]. Особенностью такого подхода является субъективность используемой информации и некоторые допущения при преобразовании оценок в уровни принадлежности. Другое направление построения функций принадлежности предполагает использование обучающих выборок и нечетких моделей. Третье направление предполагает построение функций принадлежности по экспериментальным данным, ему уделяется значительно меньше внимания. В [5] использован вероятностный подход оценивания функции принадлежности, что существенно снижает его субъективность. В работе предложена методика построения функций принадлежности нечеткого множества на основе метода аппроксимации условной вероятности.

### **Способы задания полей допусков параметров РЭА**

Изучение технической документации по параметрам объектов РЭА показало наличие трех типов полей допусков. Первый тип поля допуска

задается в виде  $[X_{гр}, X_{мах}]$ , где  $X_{гр}$  - минимально допустимое значение левой границы поля допуска,  $X_{мах}$  - значение правой границы поля допуска (максимальное значение, встретившееся при обработке экспериментальных данных). Примером параметра с полем допуска первого типа является мощность передатчика.левой границей поля допуска является минимально допустимое техническими условиями значение мощности. Если измеренное значение выходного показателя оказалось ниже заданной границы, то передатчик бракуется на этапе выходного контроля завода изготовителя. При наличии  $N$  изделий величина  $X_{мах}$  становится максимальным значением мощности из выборки оговоренного объема.

Второй тип поля допуска параметра задается в виде  $[X_{мин}, X_{гр}]$ , где  $X_{мин}$  - значение левой границы поля допуска, являющееся минимальным значением параметра (определяется по экспериментальным данным),  $X_{гр}$  - заданное в соответствии с технической документацией значение правой границы поля допуска (максимально допустимое значение).

Третий тип поля допуска задается в виде  $[X_1, X_N, X_2]$ , где  $X_1$ ,  $X_2$  - в соответствии с технической документацией значения нижней и верхней границ поля допуска,  $X_N$  - номинальное значение параметра.

### **Требования, предъявляемые к функциям принадлежности**

Сформулируем требования к функциям принадлежности (функциям работоспособных состояний) с учетом общих рекомендаций по построению функций принадлежности нечетких множеств [6]:

1. Необходим учет характера неопределенностей, имеющих место при построении конкретных нечетких моделей;
2. С каждым нечетким множеством удобно связывать существенное свойство, характеризующее рассматриваемую совокупность объектов. В работе в качестве такого свойства выбрано работоспособное состояние параметра, которое может принимать не только значения ложь или истина, но и множество значений, принадлежащих отрезку  $[0,1]$ . При этом значению «истина» ставится в соответствие единица, а значению «ложь» - ноль.
3. При построении функции принадлежности параметров первого типа отрезок  $[X_{гр}, X_{мах}]$  размещается на оси абсцисс внутри единичного квадрата [3]. Функция принадлежности для значения абсциссы  $X_{гр}$  принимает нулевое, а для значения абсциссы  $X_{мах}$  - единичное значения.
4. При построении функции принадлежности параметров второго типа отрезок  $[X_{мин}, X_{гр}]$  размещается на оси абсцисс внутри единичного квадрата. Функция принадлежности принимает единичное значение при  $X=X_{мин}$  и нулевое значение при  $X=X_{гр}$ .
5. При построении функции принадлежности параметров третьего типа отрезок  $[X_1, X_N]$  размещается на оси абсцисс внутри левого единичного квадрата, правый край которого совпадает со значением абсциссы  $X_N$ . Отрезок  $[X_N, X_2]$  размещается на оси абсцисс внутри правого единичного квадрата, левый край которого совпадает со значением абсциссы  $X_N$ . Абсциссе  $X_N$  ставится в соответствие значение функции принадлежности, равное единице, поскольку  $X_N$  является номинальным значением параметра.

При изменении значений абсцисс параметра от  $X_N$  в сторону левой границы до значения  $X_1$  и от  $X_N$  в сторону правой границы до значения  $X_2$  функция принадлежности изменяется от единицы до нуля.

6. Если в результате обработки экспериментальных данных по параметру получена гистограмма с формой плотности распределения близкой к нормальной, то ее максимум, симметрично расположенный в поле допуска, должен получать координаты  $(0.5;0.5)$  центра единичного квадрата для полей допусков первого и второго типов. «Норму» будут характеризовать наиболее часто встречающиеся значения параметра. Выделяется некоторый интервал значений, внутри которого принято считать все значения нормальными. Если значения находятся левее этого интервала, они воспринимаются меньшими «нормы», если же значения находятся правее интервала, то они рассматриваются как превосходящие «норму».

7. Отметим особенности функций принадлежности, порождаемых гистограммами с нормальной формой плотности распределения. Для значений параметров, попадающих в интервал «норма», значения функции принадлежности незначительно меняются (этот участок функции принадлежности является относительно плоским). Для значений параметров, расположенных левее и правее «нормы», функции принадлежности изменяются существенно [7,8,9].

## **Процедура построения функций принадлежности параметров по экспериментальным данным**

При построении функции принадлежности исходной информацией является: параметр конкретного объекта, тип поля допуска, значения границ поля допуска, а также совокупность измеренных значений параметра.

Процедура построения функций принадлежности включает:

1. Построение гистограмм по экспериментальным данным. Параметры с полями допусков первого и второго типов представляются одной гистограммой. Параметр с полем допуска третьего типа представляется двумя гистограммами (первая для отрезка  $[X1, XN]$ , вторая - для отрезка  $[XN, X2]$ ).

2. Построение интегральной функции распределения. Для параметров с полем допуска первого типа интегральная функция распределения находится интегрированием гистограммы слева направо. Для параметров с полем допуска второго типа интегральная функция распределения находится интегрированием гистограммы справа налево. Для параметров с полем допуска третьего типа  $[X1, XN, X2]$  находятся две интегральные функции распределения. Первая формируется по гистограмме, расположенной левее значения абсциссы  $XN$ , вторая - по гистограмме, расположенной правее значения абсциссы  $XN$ .

3. Построение зеркальных отображений интегральных функций распределения. Результатом являются ломаные линии. Все построения выполняются в единичных квадратах. Причем для параметров с полями допусков первого типа используются диагонали единичного квадрата, расположенные в нечетных квадрантах. Для параметров с полями допусков

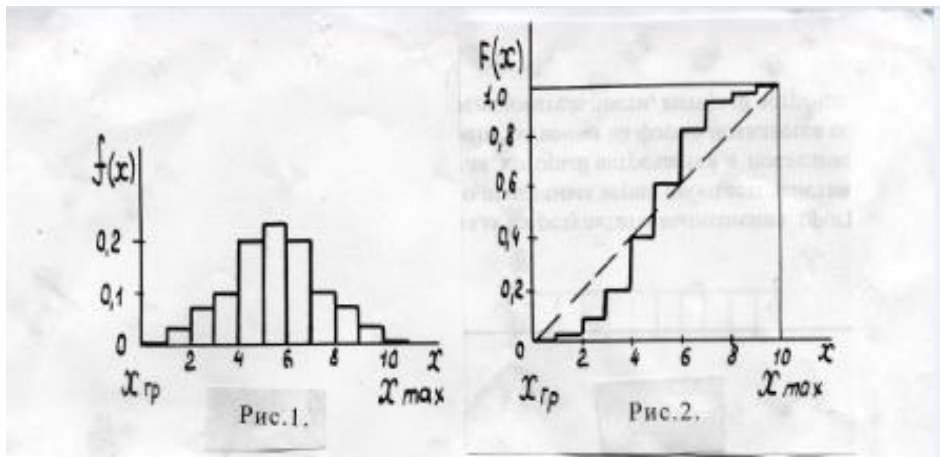


второго типа используются диагонали единичного квадрата, расположенные в четных квадрантах. Функция принадлежности для абсциссы  $XN$  принимает единичное значение.

4. Сглаживание ломаной линии, представляющей искомую функцию принадлежности.

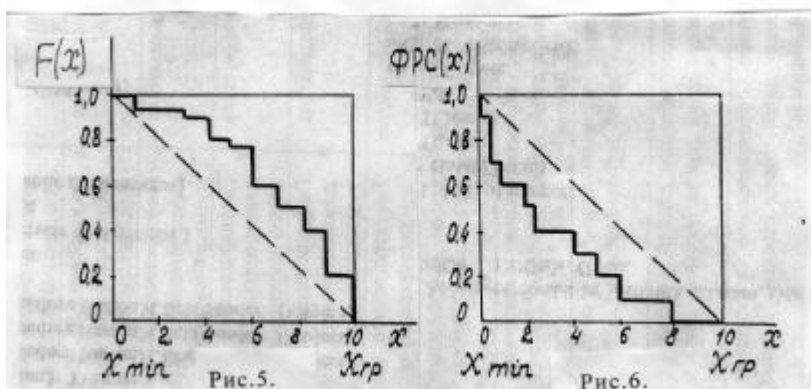
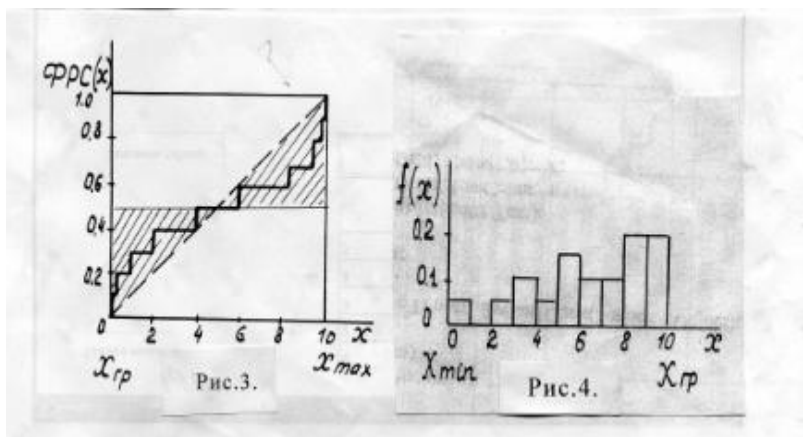
### Примеры построения функций принадлежности

Пример 1. Требуется построить функцию принадлежности параметра с полем допуска первого типа. Гистограмма параметра изображена на рис.1, интегральная функция распределения - на рис.2, а функция принадлежности (функция работоспособного состояния) параметра – на рис.3.



Пример 2. Требуется построить функцию принадлежности для параметра с полем допуска второго типа. Гистограмма параметра представлена на рис.4, интегральная функция распределения - на рис. 5, а функция принадлежности (функция работоспособного состояния) параметра - на рис. 6.

Пример 3. Требуется построить функцию принадлежности для параметра с полем допуска третьего типа. Измеренные значения параметра представлены гистограммами на отрезках  $[X1, XN]$  и  $[XN, X2]$ , изображенных на рис. 7. Интегральная функция распределения, построенная по первой гистограмме, изображена в левой части рис.8, соответствующая ей функция принадлежности (функция работоспособного состояния) параметра - в левой части рис. 9. Интегральная функция распределения параметра, построенная для второй гистограммы, изображена в правой части рис. 8, а порождаемая ею функция принадлежности (функция работоспособного состояния) параметра - в правой части рис. 9. Сглаженная кривая является искомой функцией принадлежности.



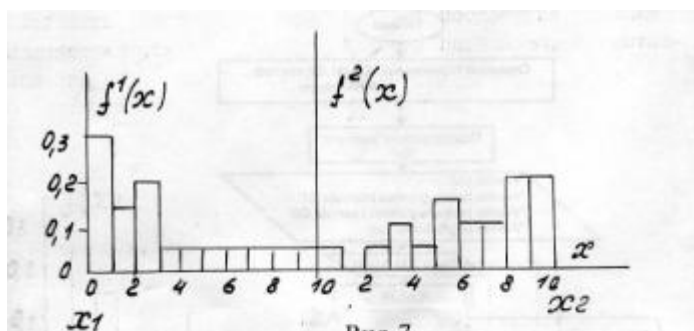


Рис.7.

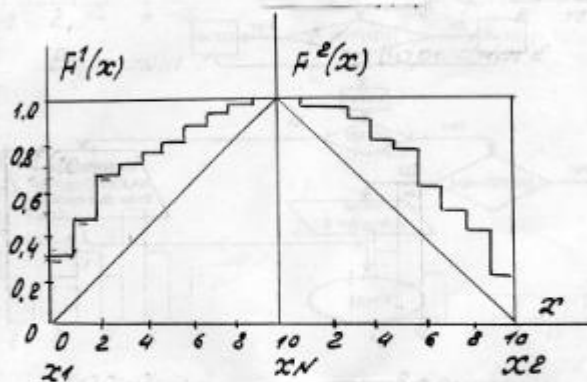


Рис.8.

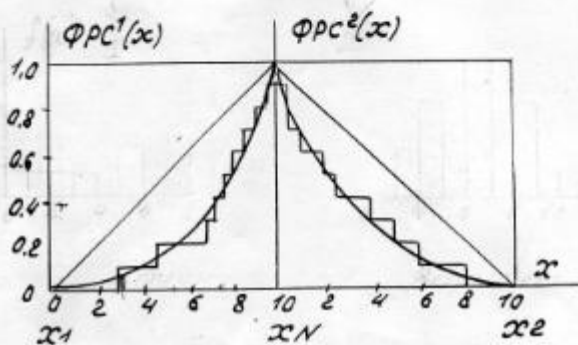


Рис.9.

## Выводы

1. Изучение технической документации по объектам РЭА показало, что поля допусков параметров аналогового типа можно представить тремя типами.
2. Сформулированы требования, предъявляемые к функциям принадлежности (функциям работоспособного состояния) параметров с полями допусков каждого из трех типов.

3. Разработана процедура построения функций принадлежности параметров РЭА для трех типов полей допусков по экспериментальным данным. Приведены примеры.

### **Библиографический список**

1. На МАКС-2017 представили «нервную систему» для истребителя Т-50, URL: <http://aviation21.ru/na-maks-2017-predstavili-nervnuyu-sistemu-dlya-istrebitelya-t-50/>
2. Элементы теории испытаний и контроля технических систем. Городецкий В.И., Дмитриев А.К., Марков В.М. и др. - Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
3. Заковряшин А.И. Метод количественных оценок технических состояний сложных систем // Труды МАИ. 2014. № 72. URL: <http://trudy.mai.ru/published.php?ID=47270>
4. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику.– Винница, УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. - 756 с.
5. Дубов И.Р., Диаб Т.О. Оценивание функции принадлежности нечеткого множества по экспериментальным данным // Материалы конференции «Новые технологии проектирования изделий микроэлектроники». Владимир, Владимирский государственный университет, 2002. С.146-147.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH/ - СПб: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.

7. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика.  
– М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986, - 288 с.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц.  
Под ред. С.И. Травкина. – М: Радио и связь, 1982. – 432с.
9. Дж. Ван Гиг. Прикладная общая теория систем: – М.: Мир, 1981. Т.1,  
2. – 734 с.
10. Терентьев М.Н. Обзор публикаций, посвященных самоорганизации  
беспроводных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2017. № 94. 2017. URL:  
<http://trudymai.ru/published.php?ID=81149>