

**Михеев Герман Андреевич**

**УДК: 62-112.5**

***ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В  
КОНСТРУИРОВАНИИ КОРПУСОВ ЭЛЕКТРОННОЙ  
АППАРАТУРЫ***

**А в т о р е ф е р а т**

магистерской диссертации по направлению **210200:**

**«Проектирование и технология электронных средств»**

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

**Научный руководитель:** доцент, кандидат технических наук Журавлева Л.В.

**Ведущее предприятие:** Московский центр SPARC технологий (ЗАО МЦСТ г. Москва)

Защита квалификационной работы магистра состоится \_\_\_ июня 2012 года на заседании Государственной квалификационной комиссии по направлению 210200: «Проектирование и технология электронных средств» в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана (ауд.278).

Ваши отзывы в двух экземплярах просьба высылать по адресу: 105005, г.Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5, кафедра «ИУ-4».

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь Государственной аттестационной комиссии по направлению 210200: «Проектирование и технология электронных средств» к.т.н., доцент Лавров А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность

При производстве электронной аппаратуры встает вопрос корпусирования устройств. Даже при производстве прототипов, их эксплуатация без корпуса затруднительна и опасна возможностью поражения электрическим током. Корпуса для приборов выполняют, в первую очередь, защитную функцию. Их основное предназначение — обеспечить должное нахождение внутри прибора электрических схем, механизмов и плат, уберечь устройство от таких дестабилизирующих факторов как вибрация, механические воздействия, пыль, влага, радиация, перепады температур.

Способность корпуса выполнять свои функции характеризуется показателями качества, которые могут сильно отличаться в зависимости от требований технического задания.

При конструировании корпусов электронной аппаратуры в техническом задании могут быть оговорены требования, которые нельзя оценить численно. Примерами таких требований могут быть «эстетичность», «удобство эксплуатации», «простота установки», «патентная чистота», «ремонтпригодность» и т.п. В этом случае возникает неопределенность и многокритериальность поставленных задач. При поиске рационального проектно-конструкторского решения неопределенность, присущую рассматриваемой нечетко определенной конструкторской задаче, надо сохранить, дабы не обеднить состав исходной информации.

Для того чтобы свести нечетко определенную конструкторскую задачу к формально разрешимым задачам надо тем или иным образом «снять неопределенности», т. е. либо ввести гипотезы, либо назначить оценки. Следовательно, при решении нечетко определенных конструкторских задач не обойтись без помощи эксперта, способного формально описать нечетко определенную проблемную ситуацию на языке, понятном вычислительным машинам.

Возрастающая сложность научного уровня конструирования сегодня требует тщательного анализа целей и задач, которые возлагаются на проектируемую конструкцию. Однако, сложность и недостаточная полнота и достоверность информации при решении технических задач требует применения методов экспертных оценок, необходимых для формирования и выбора решений. Для широкого круга недостаточно формализуемых проблем в научно-технической области человеческой деятельности экспертные процедуры являются эффективным, а в ряде случаев и единственным средством их решений.

В целях формализации процедур, связанных с неколичественными измерениями, применяются методы теории нечетких множеств. В классической теории множеств принадлежность элементов множеству оценивается в бинарных терминах в соответствии с четким условием — элемент либо принадлежит, либо нет данному множеству. Напротив, теория нечетких множеств разрешает градуированную оценку отношения принадлежности элементов множеству; то есть это отношение описывается при помощи функции принадлежности. На их основе вводятся лингвистические переменные, которые в наиболее естественной для человека-конструктора форме отражают особенности его неформальных операций и в то же время являются точными операндами для вычислительных систем.

Настоящая работа посвящена разработке методики выбора рациональной конструкторской альтернативы среди набора корпусов электронной аппаратуры основанной, на применении теории нечетких множеств и методах экспертного оценивания. Альтернатива должна удовлетворять не только четким численным и качественным характеристикам, заданным в техническом задании, но и критериям, заданным в неявном виде. Данный подход дает возможность учесть дополнительные требования заказчика, сделать продукт работы инженеров конкурентоспособным на современном рынке техники и технологий, учесть тенденции в сфере совершенствования визуального восприятия продукта.

**Цели и задачи работы.** Разработка методики применения теории нечетких множеств в конструировании корпусов электронной аппаратуры и построение модели специа-

листа инженера-конструктора с применением экспертного оценивания, выбор рационального конструкторского решения на основе разработанной методики.

#### **Решаемые задачи:**

1. Анализ возможностей теории нечетких множеств для формализации конструкторской информации.
2. Разработка методики по применению теории нечетких множеств при решении проектно-конструкторских задач конструирования корпуса радиоэлектронной аппаратуры.
3. Разработка методик построения технологического процесса производства корпуса радиоэлектронной аппаратуры с помощью средств автоматизированного проектирования
4. Разработка модели специалиста инженера-конструктора корпусов радиоэлектронной аппаратуры.
5. Применение теории нечетких множеств согласно разработанной методики для решения проектно-конструкторской задачи выбора рациональной альтернативы корпуса радиоэлектронной аппаратуры.

#### **Методы исследования.**

1. При разработке методики применены элементы теории нечетких множеств.
2. При анализе собранных мнений экспертов применены элементы методики экспертного оценивания
3. Для построения трехмерных моделей и разработке маршрута технологического процесса производства деталей корпусов применялись системы автоматизированного проектирования SolidWorks® и TFlex®.

#### **Научная новизна работы состоит в следующем:**

Предложена методика применения теории нечетких множеств для решения проектно-конструкторских задач проектирования корпусов радиоэлектронной аппаратуры, позволяющая учитывать неявно определенные требования заказчика и технического задания, которые не оценены численно.

**Достоверность полученных научных результатов, выводов и рекомендаций диссертационной работы** подтверждена:

практическим применением на предприятии ЗАО МЦСТ в конструкторском отделе. Результатом применения является корпус радиоэлектронной аппаратуры, выбранный с учетом требований технического задания, заданных неявно.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанная методика выбора конструкторской альтернативы позволяет при поиске инженерного решения учитывать требования заказчика, заданные неявно.
2. Разработанная методика позволяет создать модель специалиста для подбора персонала на должность инженера-конструктора.

**Практическая ценность работы** состоит в том, что ее результаты позволяют:

1. Увеличить число возможных требований заказчика, дополнив требования технического задания, выраженные численно, заданными неявно.
2. Учесть мнение экспертов с опытом работы в области конструирования корпусов электронной аппаратуры при решении проектно-конструкторских задач.

#### **Реализация результатов.**

Методика применения теории нечетких множеств в конструировании корпусов электронной аппаратуры была применена при проектировании корпуса в рамках работ конструкторского отдела ЗАО МЦСТ, г. Москва.

**Апробация работы.** Результаты работы были представлены на Международной молодежной научно-технической конференции "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы", (Москва, 2011, 2012).

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем работы - 67 страницы текста, 46 рисунков и список использованных источников из 8 наименований.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснована актуальность разработки методики применения теории нечетких множеств для решения нечетко определенных конструкторских задач при конструировании приборных корпусов радиоэлектронной аппаратуры, сформулирована цель и задачи исследования, обоснована научная новизна и изложена структура диссертации.

**Первая глава** диссертации посвящена рассмотрению объекта исследования - приборных корпусов радиоэлектронной аппаратуры, а также проблематики и общим вопросам их конструирования.

При производстве электронной аппаратуры встает вопрос корпусирования устройств. Даже при производстве прототипов, их эксплуатация без корпуса затруднительна и опасна возможностью поражения электрическим током. Корпуса для приборов выполняют, в первую очередь, защитную функцию. Их основное предназначение — обеспечить должное нахождение внутри прибора электрических схем, механизмов и плат, уберечь устройство от таких дестабилизирующих факторов как вибрация, механические воздействия, пыль, влага, радиация, перепады температур.

Согласно определениям, принятым в междуведомственной нормали «Система чертежного хозяйства», устанавливаются восемь классов изделий.

Деталь (классы 7 и 8) есть предмет, изготовленный без применения сборочных операций; например: валик, выточенный из одного куска материала; корпус, отлитый из металла или сплава.

Узел (классы 5 и 6) есть предмет, состоящий из разъемных или неразъемных соединенных друг с другом двух или более деталей, оформленный сборочным чертежом с целью выделения промежуточного этапа сборки более сложного изделия.

Прибор (классы 2, 3 и 4) есть устройство, имеющее самостоятельное конструктивное или эксплуатационное назначение и состоящее из соединенных между собой деталей и узлов. В состав прибора могут входить также другие более простые приборы. В отдельных случаях прибор может состоять только из деталей.

К классу 2 относятся приборы радио- и проводной связи, приборы управления, сигнализации, решающие, регистрирующие, автоматизации, управления и навигации, контрольноизмерительные.

К классу 3 относятся решающие электрические блоки, электрические машины, электротехнические устройства, электровакуумные изделия, химические источники тока, электроугольные изделия, оптические, акустические и тепловые приборы.

К классу 4 относятся механические приборы, ящики приборные, укладочные и упаковочные, арматура, скобяные и крепежные изделия, электроустановочные изделия, реле, конденсаторы, сопротивления, трансформаторы, дроссели.

К этому классу также относятся не имеющие самостоятельного эксплуатационного назначения детали, узлы и приборы, объединенные по условиям эксплуатации или иным признакам.

Система (класс 1) есть комплекс отдельных приборов, не связанных между собой на заводе-изготовителе сборочными и монтажными операциями, но имеющих общее эксплуатационное назначение.

Общие технические требования на разработку радиоэлектронной аппаратуры по своему характеру делятся на общие эксплуатационные, общие конструктивные и специальные технические.

На рисунке 1 представлены примеры полевой аппаратуры переносного типа.

Применительно к компоновке радиоэлектронной аппаратуры различают следующие основные конструктивные составляющие:

Модуль (конструктивный модуль или, как его часто называют, ячейка) есть простейшая законченная конструкция, состоящая из элементов и имеющая стандартные размеры, принятые за эталон для данной модульной системы (трехразмерной эталонированной системы, используемой при конструировании).

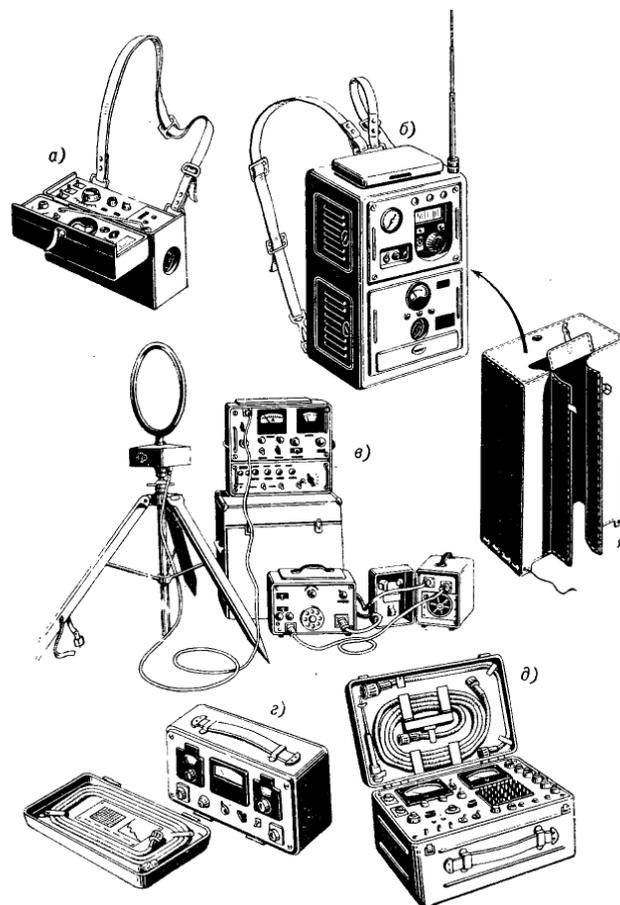


Рисунок 1 – Полевая аппаратура переносного типа: а – прибор, переносимый на ремне через плечо; б – многоблочный прибор, переносимый за плечами, и чехол к нему; в – комплекс приборов с укладочным ящиком; г – переносимый прибор чемоданного типа; д – переносимый прибор чемоданного типа с откидной крышкой.

Узел есть законченная конструкция, состоящая из модулей, элементов, объединительной платы и электрического монтажа и имеющая размеры, подчиненные нормализованному ряду типоразмеров данной модульной системы.

Блок (конструктивный блок) есть законченная конструкция, состоящая из конструктивных узлов, модулей, отдельных элементов и электрического монтажа, установленных на общем шасси (каркас, рама, плата и т. п.) и имеющая размеры, подчиненные нормализованному ряду типоразмеров, принятых для данной модульной системы.

Стойка (рис. 2) есть законченная конструкция, состоящая из двух или более конструктивных блоков (установленных один над другим) и крупногабаритных элементов, имеющая размеры, подчиненные ряду типоразмеров, принятых для данной модульной системы, и удовлетворяющая другим конструктивным требованиям.

Прибор может состоять из деталей, элементов узлов и блоков, размещенных в корпусе, а также из стойки, имеющей законченную функцию.

Устройство есть законченная конструкция, состоящая из двух или более стоек, объединенных по функциональному признаку, и представляющая собой самостоятельную систему или часть станции; например: счетная машина, усилительный тракт, пульт управления, крупногабаритная вращающаяся антенна.

Станция есть комплекс приборов и устройств, имеющих общую электрическую кабельную связь и предназначенный для решения одной или нескольких самостоятельных тактико-технических задач.

Шкаф (контейнер) есть разновидность стойки в сочетании с блоками, у которых отсутствуют лицевые панели, органы управления, контроля и измерительные элементы.

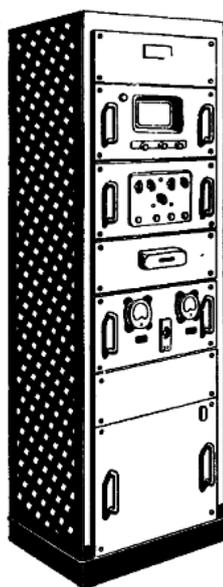


Рисунок 2 –Простейшая компоновка блоков в стационарной стойке шкафного типа

Пульт управления есть прибор или устройство с блоками, узлами и элементами, имеющими органы управления, шкалы считывания информации, контрольные, сигнальные и измерительные элементы. Типичный пульт управления показан на рис. 3.

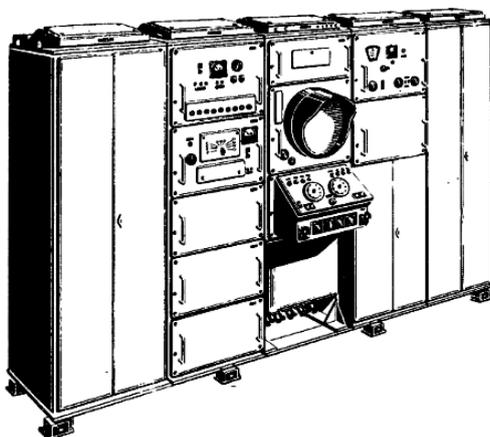


Рисунок 3 – Моноблочная станция с пультом управления

Приборный корпус есть несущая конструкция и защитная часть прибора, при комплектации которой блоками, узлами, элементами и монтажной схемой образуется прибор, стойка или устройство, отвечающее общим или специальным требованиям эксплуатации. При этом термины стойка или устройство уточняют конструктивные особенности отдельных приборных корпусов.

Показатели качества продукции машиностроения и радиоэлектронного приборостроения весьма разнообразны. Поэтому применительно к каждому виду продукции должна быть выбрана соответствующая номенклатура показателей, наиболее полно характеризующая ее качество. Так, для продукции машиностроения и приборостроения может быть установлена следующая номенклатура показателей качества. Номенклатура показателей, наиболее полно характеризующая качество корпусов электронных устройств, представлена в таблице 1.

Определение значений показателей качества продукции традиционным методом осуществляется должностными лицами специализированных экспериментальных и расчетных подразделений предприятий, учреждений или организаций.

Таблица 1 – показатели качества корпусов электронной аппаратуры



Определение значений показателей качества изделия экспертным методом осуществляется группой специалистов-экспертов, например, товароведов, дизайнеров, дегустаторов, инженеров. При конструировании корпусов электронной аппаратуры в техническом задании могут быть оговорены требования, которые нельзя оценить численно. Примерами таких требований могут быть «эстетичность», «удобство эксплуатации», «простота установки», «патентная чистота», «ремонтпригодность» и т.п. В этом случае возникает неопределенность и многокритериальность поставленных задач.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические основы теории нечетких множеств, принципы обработки информации, заданной в неявном виде. Приведены основные характеристики нечетких множеств, порядок выполнения операций над нечеткими множествами. Особое внимание уделено операциям объединения нечетких множеств и алгебраическим операциям над ними, ввиду того, что эти операции применяются а разрабатываемой методике.

Пусть  $E$  - универсальное множество,  $x$  - элемент  $E$ , а  $R$  - некоторое свойство. Обычное (четкое) подмножество  $A$  универсального множества  $E$ , элементы которого удовлетворяют свойству  $R$ , определяется как множество упорядоченных пар  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ , где  $\mu_A(x)$  - характеристическая функция, принимающая значение 1, если  $x$  удовлетворяет свойству  $R$ , и 0 - в противном случае.

Нечеткое подмножество отличается от обычного тем, что для элементов  $x$  из  $E$  нет однозначного ответа "да-нет" относительно свойства  $R$ . В связи с этим, нечеткое подмножество  $A$  универсального множества  $E$  определяется как множество упорядоченных пар  $A = \{\mu_A(x)/x\}$ , где

$\mu_A(x)$  - характеристическая функция принадлежности (или просто функция принадлежности), принимающая значения в некотором вполне упорядоченном множестве  $M$  (например,  $M = [0,1]$ ). Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности элемента  $x$  подмножеству  $A$ . Множество  $M$  называют множеством принадлежностей.

Если  $M = \{0,1\}$ , то нечеткое подмножество  $A$  может рассматриваться как обычное или четкое множество.

Пусть, например  $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ ,  $M = [0,1]$ ;  $A$  - нечеткое множество, для которого  $\mu_A(x_1)=0,3$ ;  $\mu_A(x_2)=0$ ;  $\mu_A(x_3)=1$ ;  $\mu_A(x_4)=0,5$ ;  $\mu_A(x_5)=0,9$ .

Тогда  $A$  можно представить в виде:

$A = \{0,3/x_1; 0/x_2; 1/x_3; 0,5/x_4; 0,9/x_5\}$  или

$A = 0,3/x_1 + 0/x_2 + 1/x_3 + 0,5/x_4 + 0,9/x_5$

Здесь знак "+" не является обозначением операции сложения, а имеет смысл объединения.

Для нечетких множеств можно строить визуальное представление. Рассмотрим прямоугольную систему координат, на оси ординат которой откладываются значения  $\mu_A(x)$ , на оси абсцисс в произвольном порядке расположены элементы  $E$ . Если  $E$  по своей природе упорядочено, то этот порядок желательно сохранить в расположении элементов на оси абсцисс. Такое представление делает наглядными простые операции над нечеткими множествами.

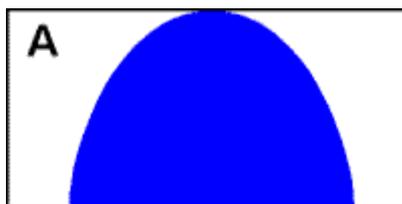


Рисунок 4 – Графическое представление нечеткого множества  $A$

На рисунке 4 части заштрихованная часть соответствует нечеткому множеству  $A$  и изображает область значений  $A$  и всех нечетких множеств, содержащихся в  $A$ . На рисунках 5, 6, 7 показаны множества  $\bar{A}$ ,  $A \cap \bar{A}$  и  $A \cup \bar{A}$  соответственно.

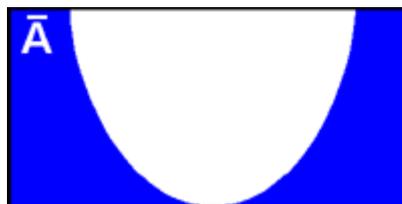


Рисунок 5 – Графическое представление множества  $\bar{A}$

Пусть  $A, B, C$  - нечеткие множества, тогда выполняются следующие свойства:

Коммутативность:

$$\begin{cases} A \cap B = B \cap A \\ A \cup B = B \cup A \end{cases}$$

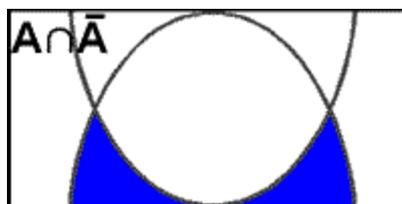


Рисунок 6 – Графическое представление множества  $A \cap \bar{A}$

Ассоциативность:

$$\begin{cases} (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C) \\ (A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C) \end{cases}$$

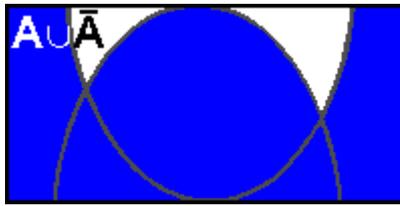


Рисунок 7 – Графическое представление множества  $A \cup \bar{A}$

Объединение двух отношений обозначается  $R_1 \cup R_2$  и определяется выражением:  
 $\mu_{R_1 \cup R_2}(x,y) = \mu_{R_1}(x,y) \vee \mu_{R_2}(x,y)$

На рисунках 8, 9, 10 приведены графические представления отношений действительных чисел, содержательно означающие:  $xR_1y$  - "числа  $x$  и  $y$  очень близкие" (рис. 12),  $xR_2y$  - "числа  $x$  и  $y$  очень различны" (рис. 13) и их объединение  $xR_1 \cup R_2y$  (рис. 14) - "числа  $x$  и  $y$  очень близкие или очень различные". Функции принадлежности отношений заданы на  $|y-x|$ .

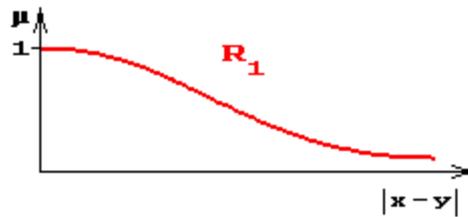


Рисунок 8 – Графическое представление отношения «числа  $x$  и  $y$  очень близки»

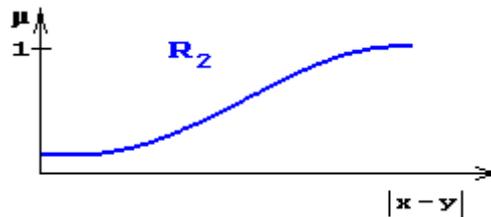


Рисунок 9 – Графическое представление отношения «числа  $x$  и  $y$  очень различны»



Рисунок 10 – Графическое представление отношения «числа  $x$  и  $y$  очень близки или очень различны»

Нечеткие числа ( $L-R$ )-типа - это разновидность нечетких чисел специального вида, то есть задаваемых по определенным правилам с целью снижения объема вычислений при операциях над ними.

Функции принадлежности нечетких чисел ( $L-R$ )-типа задаются с помощью невозрастающих на множестве неотрицательных действительных чисел функций действительного переменного  $L(x)$  и  $R(x)$ , удовлетворяющих свойствам:

- $L(-x)=L(x)$ ,  $R(-x)=R(x)$ ;
- $L(0)=R(0)$ .

Очевидно, что к классу ( $L-R$ ) функций относятся функции, графики которых имеют вид, представленный на рисунке 11.

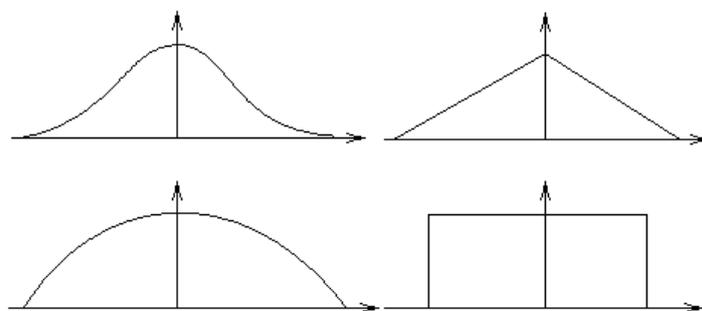


Рисунок 11 – Вид нечетких функций типа (L-R)

Нечеткие множества, которыми приходится оперировать в большинстве задач, являются, как правило, унимодальными и нормальными. Одним из возможных методов аппроксимации унимодальных нечетких множеств является аппроксимация с помощью функций (L-R)-типа.

**Третья глава** посвящена разработке методики применения алгоритмов теории нечетких множеств для решения нечетко определенных конструкторских задач. Разработанная методика позволяет, основываясь на измерении нечеткого содержания требований заказчика или технического задания, с помощью лингвистических переменных и функций принадлежности проводить выбор рациональной конструкторской альтернативы в процессе конструирования приборных корпусов РЭА. Этот метод представляет собой обобщение известного метода экспертных оценок. В условиях ограниченных временных и прочих ресурсов, наиболее подходящим является вид метода индивидуального опроса – анкетирование.

При поиске рационального проектно-конструкторского решения неопределенность, присущую рассматриваемой НПКЗ, надо сохранить, дабы не обеднить состав исходной информации, например, посредством балльного шкалирования параметров, не содержащих в своей основе количественных характеристик. Таким образом, при поиске решения НПКЗ надо стремиться к наиболее достоверному выражению уровня присущей этой задаче неопределенности в формально фиксируемом виде с тем, чтобы сохранить ее как неотъемлемую часть НПКЗ. Если поиск решения НПКЗ ведется при условии сохранения имеющегося уровня неопределенности, то и окончательную цель не имеет смысла точно фиксировать. В соответствии с этим формальное описание цели (ТЗ), параметров разрешаемой проблемной ситуации, а также значений качественных факторов, выражаемых в терминах цели, можно представить в виде нечетко определенных предпочтений, например, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ хорошая, ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ простая и т. д.

Способ формализованного описания параметров НПКЗ, являясь более общим по своей природе и в то же время более простым с логической точки зрения, позволяет при использовании специальных нечетких метрик получать формально обоснованные решения, учитывающие влияние и количественных и качественных факторов.

В общем случае формализованное описание нечеткой проблемной ситуации может быть представлено в виде структуры типа < «дано . . . », «требуется найти . . . »> (слева от вертикальной черты расположены символы, обозначающие известные, а справа — неизвестные элементы, характеризующие решаемую НПКЗ):

$$\langle P, T, C \mid A^{TЗ}, A, O, X, L, Y \rangle,$$

где

$P = (P_1, \dots, P_i)$  — множество условий (ситуаций), определяющих характер решаемой НПКЗ;

$T$  — время, отводимое для решения НПКЗ;

$C = (C_1, \dots, C_j)$  — средства (расчетные процессы и методы), необходимые для решения НПКЗ;

$A^{TЗ} = (A_1^{TЗ}, \dots, A^{TЗ})$  — множество целей, предусматриваемых при решении НПКЗ (ТЗ, параметры функции полезности);

$A = (A_1, \dots, A_n)$  — совокупность характеристик, отражающих служебные свойства и потребительские качества альтернативных вариантов проектно-конструкторских решений;

$O = (O_1, \dots, O_n)$  — множество ограничений на характеристики  $A$ ;  
 $X = (X_1, \dots, X_n)$  — множество альтернативных вариантов проектно-конструкторских решений;  
 $L = \Phi(\Omega, X)$  — обобщенный критерий эффективности (потери относительно требований ТЗ);  
 $\Omega = f(A^{ТЗ}, Y)$  — функция связи между характеристиками проектно-конструкторских решений и целями (оценка предпочтений, весовые коэффициенты);  
 $Y = (Y_1, \dots, Y_n)$  — множество факторов, определяющих назначение проектно-конструкторских решений.

Итоговая формулировка постановки поисковой задачи зависит от вида критерия эффективности и функций, характеризующих ограничения.

Структуру иерархических связей между лингвистической переменной ВЕЛИЧИНА, ее первичными терминами МАЛАЯ, СРЕДНЯЯ, БОЛЬШАЯ с нечеткими ограничениями на их смысл и значениями некоторой базовой переменной можно представить графически (рисунок 12).

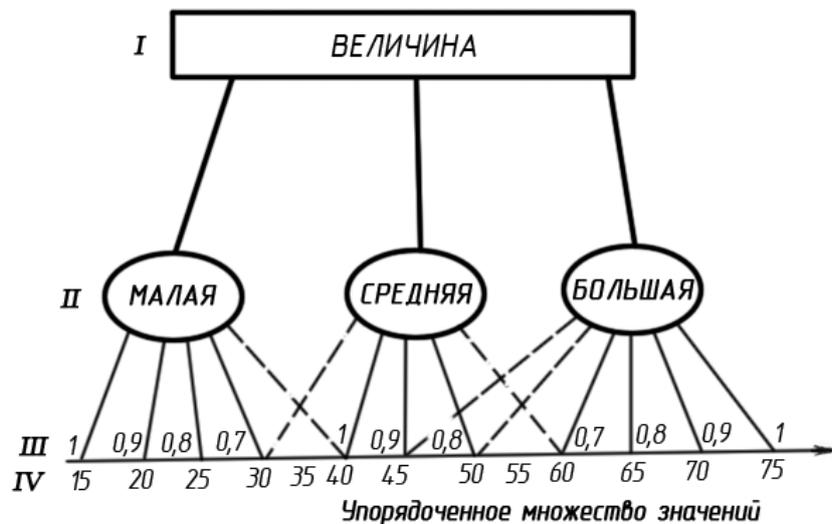


Рисунок 12 - Иерархическая структура лингвистической переменной ВЕЛИЧИНА:  
 I — лингвистическая переменная; II — нечеткое ограничение;  
 III — степень совместимости; IV — базовая переменная

Методы экспертных оценок - это комплекс логических и математико-статистических методов и процедур, направленных на получение от специалистов информации, необходимой для принятия того или иного решения. Методы экспертных оценок позволяют выявить информацию, содержащуюся в скрытом виде у специалистов.

В условиях ограниченных временных и прочих ресурсов, наиболее подходящим видом опроса является анкетирование.

**Анкетирование** - это процедура проведения опроса в письменной форме с помощью заранее подготовленных бланков.

#### Достоинства метода:

- Высокая оперативность получения информации;
- Возможность организации массовых обследований и сбора большого объема данных;
- Сравнительно малая трудоёмкость процедур подготовки и проведения исследований, обработки их результатов;
- Отсутствие влияния личности и поведения опрашиваемого на работу респондентов;
- Невыраженность у исследователя отношений субъективного пристрастия к кому-либо из отвечающих.

#### Недостатки метода:

- Отсутствие личного контакта не позволяет изменять порядок и формулировки вопросов в зависимости от ответов или поведения респондентов;
- Влияние вопросов на ответы;
- Пристрастность респондентов;
- Достоверность ответов анкет не всегда достаточна, т.к. респонденты желают выглядеть в более выгодном свете, сознательно приукрашивают реальное положение дел или просто лгут.

Определение компетентности экспертов и обобщенной оценки объектов.

Пусть  $m$  экспертов произвели оценку  $n$  объектов. Результаты оценки представлены в виде величин  $x_{ij}$ , где  $j$  - номер эксперта,  $i$  - номер объекта. Эти величины могут быть заданы с использованием баллов либо чисел, принадлежащих некоторому отрезку числовой оси.

Коэффициент компетентности экспертов и обобщенные оценки объектов для тех случаев, когда проводится непосредственное числовое оценивание альтернатив, можно вычислить по апостериорным данным, т. е. по результатам оценки объектов.

Алгоритм вычисления коэффициентов компетентности экспертов и обобщенной оценки объектов сводится к расчетам по следующим рекуррентным формулам:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t, \quad t = 1, 2, \dots, m,$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Вычисления начинаются с  $t = 1$ . Начальные значения компетентности принимаются одинаковыми и равными  $k_j^0 = \frac{1}{m}$ . Указанные уравнения после преобразования в векторно-матричной форме примут вид

$$\vec{x}^t = \frac{1}{\lambda^{t-1}} B \vec{x}^{t-1}, \quad \vec{k}^t = \frac{1}{\lambda^t} C \vec{k}^{t-1},$$

где матрицы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{C}$  имеют соответственно размерности  $(n \times n)$  и  $(m \times m)$ :

$$\mathbf{B} = \mathbf{X}\mathbf{X}^T, \quad \mathbf{C} = \mathbf{X}^T\mathbf{X}, \quad \mathbf{X} = \|x_{ij}\|.$$

Если матрицы  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  неотрицательны и неразложимы, то при  $t \rightarrow \infty$  векторы  $\vec{x}^t$ ,  $\vec{k}^t$  сходятся к собственным векторам матриц  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{C}$ , соответствующим максимальным собственным числам этих матриц. Предельные значения векторов  $\vec{x}$ ,  $\vec{k}$  вычисляются при решении следующих уравнений:

$$\mathbf{B}\vec{x} = \lambda_B \vec{x}, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1,$$

$$\mathbf{C}\vec{k} = \lambda_C \vec{k}, \quad \sum_{j=1}^m k_j = 1,$$

где  $\lambda_B$ ,  $\lambda_C$  - максимальные собственные числа матриц  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$ .

На практике условия неразложимости и неотрицательности  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$  практически всегда выполняются. При оценке объектов эксперты обычно расходятся во мнениях по решаемому вопросу. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки степени согласия экспертов. Оценка согласованности мнений экспертов основывается на использовании понятия компактности. Оценка каждого эксперта представляется как точка в некотором пространстве, в котором введено понятие расстояния.

При использовании количественных шкал измерения и оценке объекта всего по одному критерию мнения группы экспертов можно представить как точки числовой оси. Эти значения можно рассматривать как реализации случайной величины. При измерении объектов в порядковой шкале согласованность оценок экспертов в виде ранжировок или парных сравнений объектов также основывается на понятии компактности. Для этого обычно используется мера согласованности мнений экспертов - дисперсионный коэффициент конкордации (коэффициент согласия).

Сущность данного подхода заключается в следующем.

Рассмотрим матрицу результатов ранжировки  $n$  объектов  $m$  экспертами  $\|r_{ij}\|$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ , где  $r_{ij}$  — ранг, присваиваемый  $j$ -м экспертом  $i$ -му объекту. Составим суммарный ранг для каждого объекта по всем экспертам:

$$r_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Будем рассматривать величины  $r_i$  как реализацию некоторой случайной величины и найдем оценку ее дисперсии

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2,$$

где  $\bar{r}$  - оценка математического ожидания, равная

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i.$$

Дисперсионный коэффициент конкордации определяется как отношение оценки дисперсии к максимальному значению этой оценки:

$$W = \frac{D}{D_{max}}.$$

1-й случай - отсутствие связанных рангов в матрице ранжировок.

Данное условие характеризуется отсутствием совпадающих рангов объектов, устанавливаемых экспертами. Полное согласие экспертов определяется следующей структурой матрицы  $\|r_{ij}\|$  при соответствующей перенумерации строк

$$\|r_{ij}\| = \begin{vmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n & n & \dots & n \end{vmatrix}$$

Указанной матрице соответствует максимальная дисперсия, значение которой вычисляется по следующей формуле с учетом того, что  $r_i = im$ :

$$D_{max} = \frac{m^2 n(n+1)}{12}.$$

Введем обозначение  $S = \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2$ , тогда  $D = \frac{1}{n-1} S$ . Запишем окончательное выражение для коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} S.$$

Коэффициент конкордации изменяется от 0 до 1. В случае полного совпадения ранжировок  $W = 1$ , в случае полного расхождения мнений экспертов  $W = 0$ .

В настоящее время складывается ситуация, когда повышение нечетко заданных показателей качества все чаще определяет направление развития даже тех областей производства, где еще относительно недавно эти характеристики продукции вообще не принимались во внимание. Поэтому актуально модернизировать приборный корпус РЭА в сторону повышения неявно заданных показателей качества. Это является нечетко определенной и не полностью схематизированной (нешаблонной) НПКЗ.

**В четвертой главе** изложены результаты экспериментальной апробации разработанной методики по применению теории нечетких множеств для решения вопроса выбора рациональной конструкторской альтернативы при конструировании приборных корпусов электронной аппаратуры.

<...>

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

1. Разработанная методика выбора конструкторской альтернативы позволяет при поиске инженерного решения учитывать требования заказчика, заданные неявно.

2. Разработанная методика позволяет создать модель специалиста для подбора персонала на должность инженера-конструктора.

<...>

### **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

1. Михеев Г.А. Применение нечеткой логики для проектирования корпусов электронных средств// 13-ая Молодежная международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2010». 28 апреля 2011г., г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С.158-163.

2. Михеев Г.А. Методика подбора компетентных специалистов-конструкторов электронных средств// **Естественные и технические науки, 2012**

3.

4.