Глава 3. Представление знаний в интеллектуальных системах

3.1. Проблемы представления и моделирования знаний

Типы знаний, которые должны быть представлены в системах ИИ:

- структура, форма, свойства, функции и возможные состояния объекта
- возможные отношения между объектами, возможные события, в которых эти объекты могут участвовать
- физические законы
- возможные эффекты действий и состояний, причины и условия возникновения событий и состояний
- возможные намерения, цели, планы и т. д.

Типы знаний по Фейгенбауму

- об объектах и категориях окружающего мира; о событиях, определяющих временные последовательности и причинно-следственные связи
- о деятельности, т. е. о способности выполнять какие-либо действия
- метазнания, т. е. «знания о размере наших знаний или о границах наших способностей»

Аспекты, присущие всем СПЗ

- Все СПЗ имеют дело с двумя мирами – представляемым и представляющим
- Вместе они образуют основу для представления, если решены следующие вопросы:

  Чем является представляемый мир?
  Чем является представляющий мир?
  Какие аспекты представляемого мира смоделированы?
  Какие аспекты представляющего мира смоделированы?
  Каково соответствие между этими мирами?

Общие для всех СПЗ проблемы

- приобретения новых знаний и их взаимодействие с уже существующими
- организации ассоциативных связей
- выбора диапазона в размере элементов представления, связанной с тем, насколько «детально могут быть описаны объекты и события, и какая часть внешнего мира может быть представлена в конкретной системе»
- неоднозначности и выбора семантических примитивов
- модульности и понимания
- явности знаний и доступности
- выбора соотношения декларативной и процедурной составляющих представления, что влияет на экономичность системы, полноту, легкость кодировки и понимания

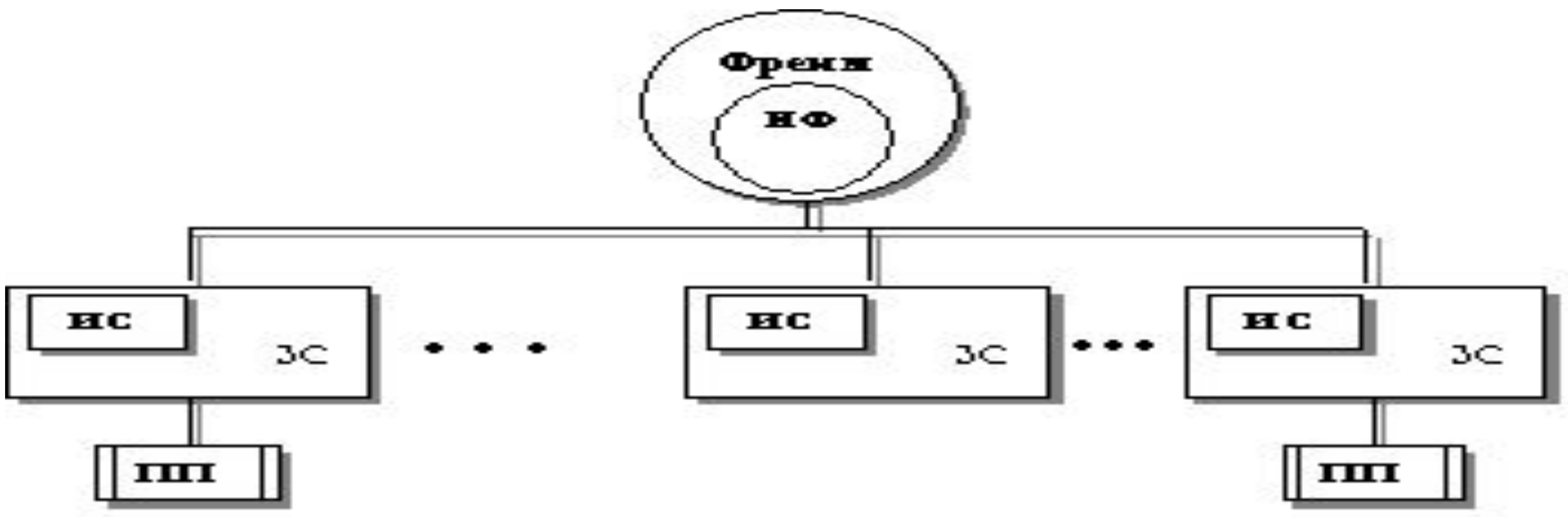
3.2. Представление знаний на основе фреймов и семантических сетей
3.2.1. Фреймы

Фреймы - это минимальные структуры информации, необходимые для представления класса объектов, явлений или процессов

<ИФ, (ИС, ЗС, ПП),…, (ИС, ЗС, ПП)>

где ИФ – имя фрейма, ИС – имя слота, ЗС – значение слота, ПП – имя присоединенной процедуры

Схема фрейма



Свойства фреймов

- ***Базовый тип*****.** Наиболее важные объекты запоминаются в виде базовых фреймов
- ***Процесс сопоставления*****.** Фрейм содержит условия, ограничивающие значения слота, а цель используется для определения, какое из этих условий, имея отношение к данной ситуации, является существенным
- ***Иерархическая структура.*** Информация об атрибутах, которую содержит фрейм верхнего уровня, совместно используются всеми фреймами нижних уровней, связанных с ним.
- ***Сети фреймов.*** Обеспечивают поиск подобного фрейма с помощью фреймовых соединений, описывающих объекты с небольшими различиями
- ***Отношение «абстрактное - конкретное».*** На верхних уровнях расположены абстрактные объекты, а на нижних – конкретные объекты, при чем объекты нижних уровней наследуют атрибуты объектов верхних уровней
- ***Отношение «целое - часть».*** *О*бъект нижнего уровня является частью объекта верхнего уровня

3.2.2. Семантические сети

Семантическая сеть представляет собой направленный граф с помеченными вершинами и дугами, в котором вершины соответствуют конкретным объектам, а дуги, их соединяющие, отражают имеющиеся между ними отношения

Отношения, используемые в семантических сетях:

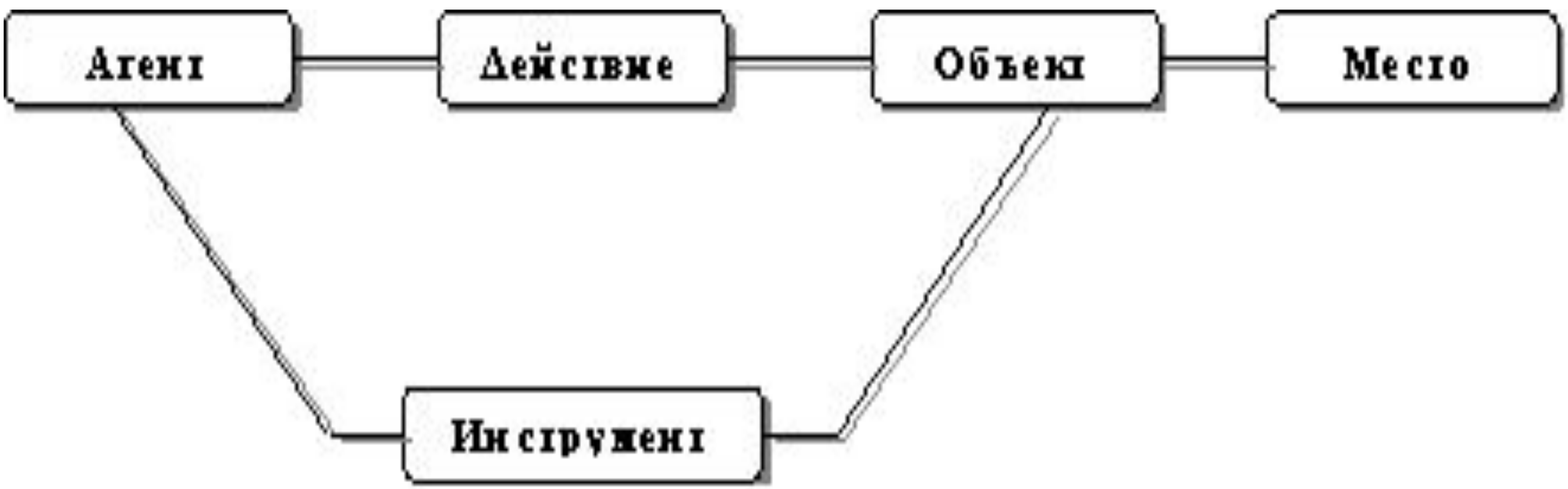
- **- Лингвистические**
- **- Атрибутивные**
- **- Логические**
- **- Квантифицированные**
- **- Теоретико-множественные**

Интенсиональная Семантическая сеть
описывает предметную область на обобщенном, концептуальном уровне

Если имеется конечное множество атрибутов ***A = {Ai, i= }*** и конечное множество отношений ***R={Rj,j=},*** то под интенсионалом отношения *Rj* понимают набор пар вида:

INT (Rj) = {…[Ai,DOM(Ai)],…},

в которых ***DOM (Ai)*** означает домен ***Ai,*** т. е. множество значений атрибута ***Ai*** соответствующего отношения ***Rj.***

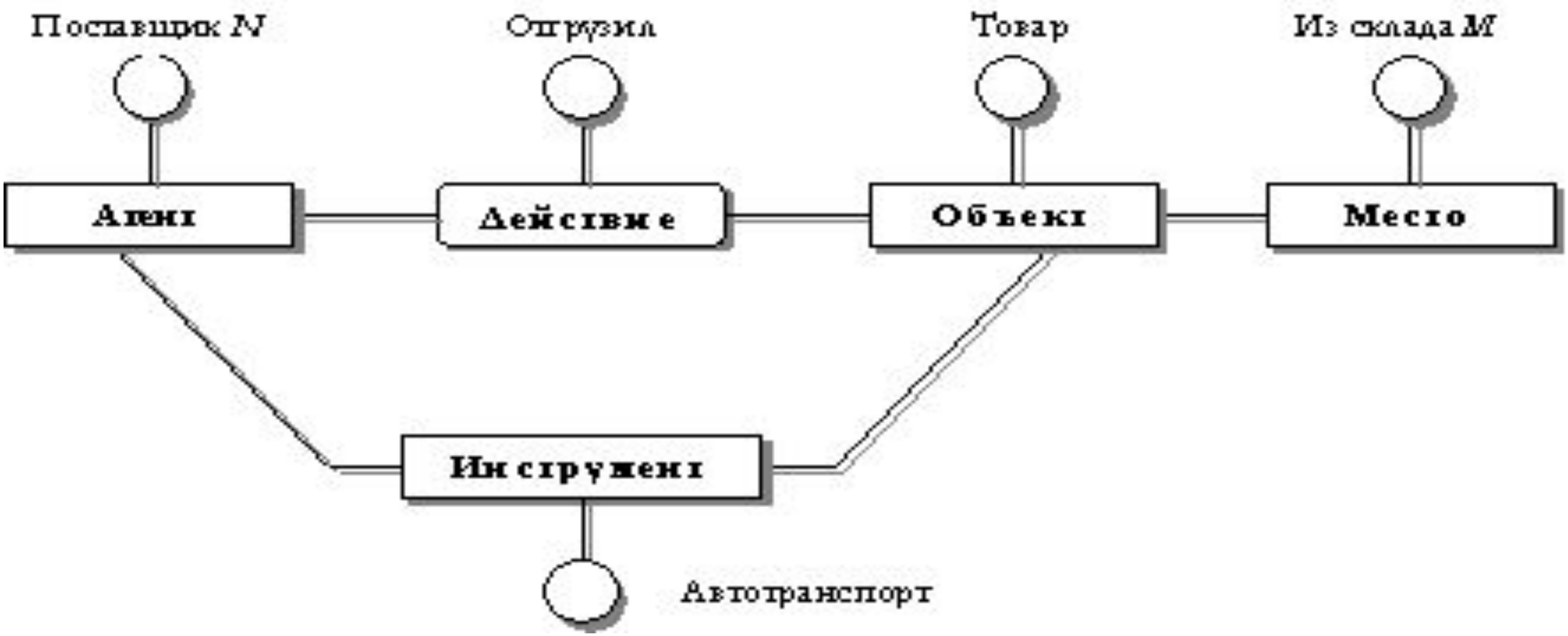


В экстенсиональной семантической сети производятся конкретизация и наполнение фактическими данными

Под экстенсионалом отношения ***Rj*** понимают множество

EXT (Rj) = {F1,…,Fp},

где ***Fk -*** факт отношения ***Rj,*** задаваемый в виде совокупности пар вида «атрибут» — «значение»



3.3. Продукционные и логические модели представления знаний

3.3.1. Продукционные модели

Продукционные модели — это набор правил вида «условия — действие», где условиями являются утверждения о содержимом некой базы данных, а действия представляют собой процедуры, которые могут изменять содержимое БД

В продукционных системах можно выделить три основные компоненты:

1. Неструктурированная или структурированная БД

2. Некоторое число продукционных правил или просто продукций.

Каждая продукция состоит из двух частей:

* условий (антецедент)
* действий (консеквент)

3. Интерпретатор

3.3.2. Логические модели представления знаний. Исчисление предикатов

Логические модели являются формой представления знаний о проблемных областях с небольшим пространством поиска решений и определенными фактами и знаниями

Предикат – переменное высказывание, истинность и ложность которого зависят от значений его переменных

Высказывание есть утвердительное предложение, которое либо истинно (И), либо ложно (Л).

В логике высказываний символы *P*, *Q*, *R* и т.д., используемые для обозначения высказываний, называются **атомарными формулами**

Составные высказывания строятся из высказываний с помощью логических операторов **¬ (не), ∧ (и), ∨ (или), → (если..., то...), ↔ (тогда и только тогда, равнозначность)**

Правильно построенная формула (ППФ) – выражение, которое представляет высказывание или составное высказывание

Если P и Q – ППФ, то (¬*P*), (*P*∧*Q*), (*P*∨*Q*), (*P*→*Q*) и (*P*↔*Q*) – ППФ

Истинность и ложность формул

Пусть *G* – пропозициональная формула и A1, A2,...,An – ее атомарные формулы

Интерпретацией формулы *G* является такое приписывание истинностных значений атомарным формулам *A1…An,* при котором каждому *Ai* приписано либо И, либо Л (но не оба вместе).

Если формула истинна при всех возможных интерпретациях, то говорят, что она является общезначимой формулой (тавтологией).

Обозначим ее □.

Если формула ложна при всех своих интерпретациях, то говорят, что она является противоречивой (противоречием). Противоречивая формула невыполнима. Обозначим ее □.

Кванторы общности ∀ или существования ∃

“для любого *x* истинно *P(x)*” $\forall x\, P(x)$

“существует такое *x*, для которого истинно *P(x)*” $\exists\, x\, P(x)$

Использование обоих кванторов - не обязательно. Например:

Выражение $\overline{\forall x P(x)}$ обозначает «∀*x P(x)* ложно».

«∀*x P(x)* ложно» равносильно высказыванию

«существует элемент *x*, для которого *P(x) ложно»*,

или «существует элемент x, для которого $\overline{P(x)}$ истинно»

Следовательно,

$\overline{\forall x P(x)}$ **равносильно** $\exists x \overline{P}(x)$ **:** $\overline{\forall x P(x)}$ **=** $\exists x \overline{P}(x)$

3.4. Представление и формализация нечетких знаний
Основные определения нечетких множеств

Есть универсальное множество ***U={u}***

Нечетким подмножеством *A* на множестве *U*

называется совокупность пар ***A={<μa (u), u>}***
Где ***μa: U*→ [0,1]** – отображение множества *U* в единичный отрезок [0,1], называемое ***функцией принадлежности нечеткого подмножества A***
Значение функции принадлежности ***μa (u)*** для элемента ***u∈U*** называется ***степенью принадлежности***

$$A = \bigcup_{u \in U} \mu_A(u)/u = \bigcup_{u \in U} \mu_a^A / u = \bigcup_{u \in U} \mu_u / u$$

*Переменная **u** называется **базовой***

Основные определения нечетких множеств (продолжение)

Интерпретацией* степени принадлежности *μA(u) является субъективная мера того, насколько элемент $u \in U$ соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством *A*.

Нечеткое множество A области рассуждений U характеризуются функцией принадлежности, $\mu A : U \to [0,1]$ *которая каждому элементу u множества U ставит в соответствие число* $\mu A(u)$ *из отрезка [0,1], описывающее степень принадлежности элемента u подмножеству A.*

Носителем *нечеткого подмножества Ф называется множество таких элементов U, для которых* $\mu_A(u)$ *положительна.*

Точкой перехода A *называется такой элемент множества U, Степень принадлежности которого множеству A равна 0,5.*

Пример 3.1.
Нечеткое множество *А3*, соответствует нечеткому понятию “небольшой запас деталей на складе”

Носителем мн-ва А3 является мн-во: S = {10,11,…,40}, каждый элемент которого представляет собой определенное количество деталей

А3={0.05/10; 0.1/11; 0.2/12; 0.3/13; 0.4/14;0.5/15;0.7/16; 0.8/19; 1.0/20; … 1.0/33; 0.9/34; 0.8/35;0.6/36; 0.4/37; 0.3/38; 0.2/39; 0.1/40}

понятию “небольшой запас деталей на складе” ***полностью соответствует*** *запас объемом от 20 до 33 деталей,*
в меньшей степени *– запасы от 10 до 19 и от 34 до 40 деталей.*
Запас объемом меньше 10 и больше 40 деталей понятием “небольшой” охарактеризован быть не может.

Одноточечным нечетким **множеством** называется множество, носитель которого состоит из единственной точки.
Если *А* – одноточечное нечеткое множество, носителем которого является точка *u*, то записывается это как: **А = *μ*** / *u*
Где *μ* - степень принадлежности *u* множеству *А*.

Пример 3.1. (продолжение)

Нечеткое множество можно рассматривать как объединение составляющих его одноточечных множеств:

$$A = \int_U \mu_A(u)/u,$$

где символ ∫(интегрирование) обозначает операцию объединения одноточечных нечетких множеств
Если носитель *A* состоит из конечного числа элементов, то интегрирование в можно заменить суммированием:

$$A = \mu_1/u_1 + \ldots + \mu_n/u_n$$

или

$$A = \sum_{i=1}^{n} \mu_i/u_i,$$

где число $\mu_i(i=\overline{1,n})$ **- степень принадлежности элемента *Ui* множеству *A*. Знак плюс обозначает объединение, а не арифметическое суммирование.**

Пример 3.2.

Если универсальное множество состоит из чисел от 1 до 10, т.е. ***U=1+…+10,***
То нечеткое множество ***A*** **множества** ***U*****, описываемое понятием «несколько» можно определить в виде**

$$\textit{несколько} \overset{\Delta}{=} 0.5/3 + 0.8/4 + 1/5 + 1/6 + 0.8/7 + 0.5/8$$

(символ $\overset{\Delta}{=}$ обозначает равенство по определению)

Пример 3.3.

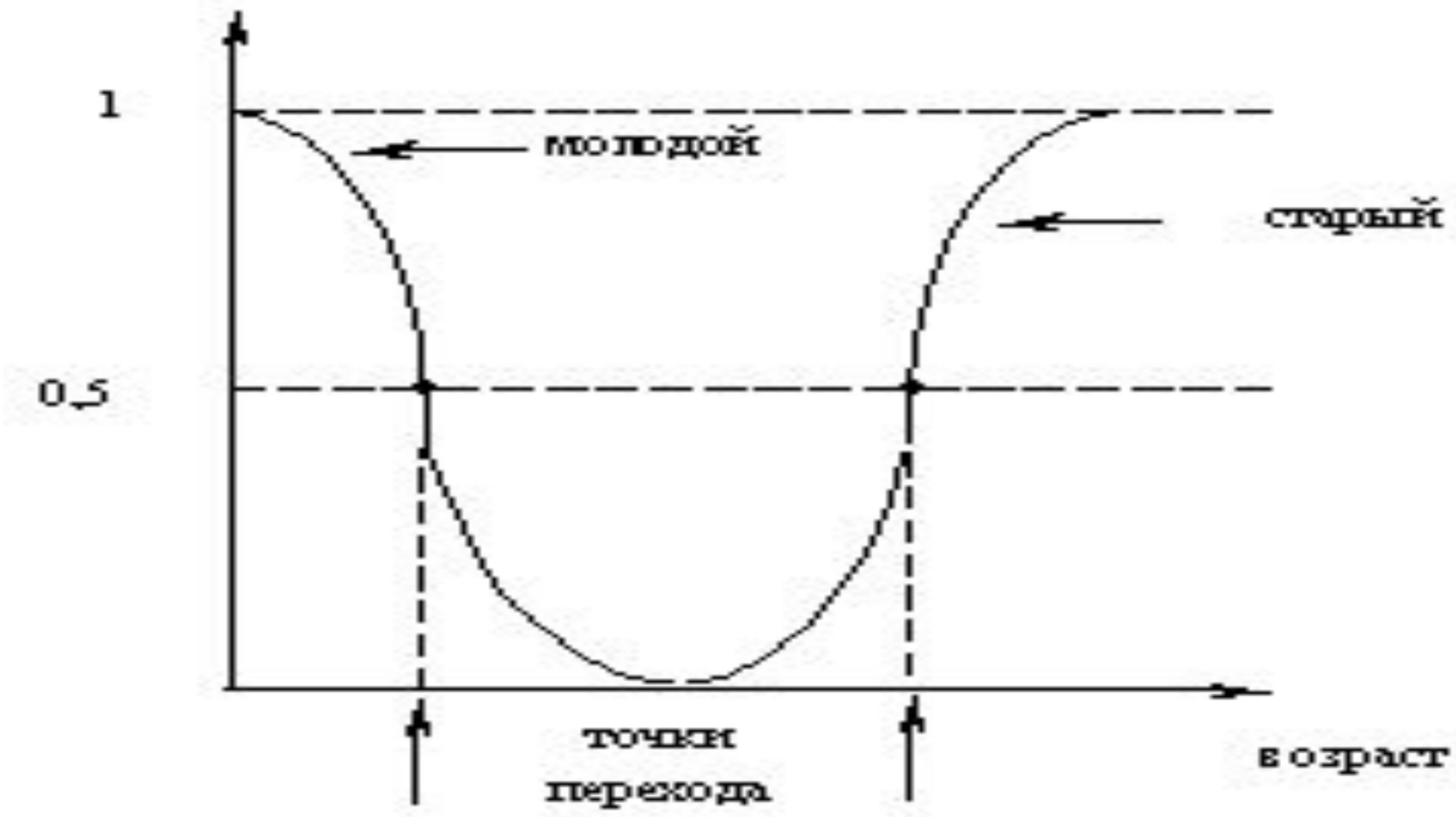
Если *U* интервал с элементами [0,100] и $\triangleq$ - возраст, то нечеткие подмножества, описываемые понятиями «молодой» и «старый» можно представить в виде

$$молодой = \int_0^{25} 1/u + \int_{26}^{100} \left(1 + \left(\frac{u-25}{5} \right)^2 \right)^{-1} \Big/ u$$

$$старый = \int_{51}^{100} \left(1 + \left(\frac{u-50}{5} \right)^{-2} \right)^{-1} \Big/ u$$

Пример 3.3. (продолжение)

Графическое представление понятий «молодой» и «старый»



Пример 3.4.

Если есть множество ***U = Юлия + Анна + Мария + Настя***
и А - нечеткое множество ***«привлекательная»,****то можно написать:*
«привлекательная»=
= средне/Юлия+мало/Анна+сильно/Мария+мало/Настя

Нечеткие степени принадлежности «мало», «средне» и «сильно» являются при этом нечеткими подмножествами полного множества V, определяемого следующим образом:

V=0+0.1+0.2+…+0.9+1

Сами эти подмножества определяются так:
мало=0.5/0.2+0.7/0.3+1/0.4+0.7/0.5+0.5/0.6
средне=0.5/0.4+0.7/0.5+1/0.6+0.7/0.7+0.5/0.8
сильно=0.5/0.7+0.7/0.8+0.9/0.9+1/1

Операции с нечеткими множествами

- **Дополнение** нечеткого множества *A* обозначается символом $\neg A$ и определяется следующим образом:

$$\neg A = \int_U \left(1 - \mu_A(u)\right) / u$$

Операция дополнения соответствует логическому отрицанию.

- **Объединение** нечетких множеств *A* и *B* обозначается *A*+*B* (или $A \cup B$) и определяется:

$$A + B = \int_U (\mu_A(u) \vee \mu_B(u)) / u$$

Объединение соответствует логической связке «или». Например, если A и B – названия нечетких множеств, то запись «A или B» понимается как A+B.

Операции с нечеткими множествами (продолжение)

- ***Пересечение*** *A* и *B* обозначаются *A*∩*B* и определяется следующим образом: $A \cap B = \int_U \left(\mu_A(u) \wedge \mu_B(u)\right) / u$

Пересечение соответствует логической связке «*и*», т.е.

A и B = *A*∩*B*

- **Произведение** *A* и *B* обозначается *AB* и определяется формулой $AB = \int_U \mu_A(u)\mu_B(u) / u$

если $\alpha \geq 0$, т $\alpha \mathrm{A} \overset{\Delta}{=} \int_U \alpha\mu_A(u) / u$

Пример 3.5. – Пример произведения

Если $U=1+2+\ldots+10$

$A=0.8/3+1/5+0.6/6$

$B=0.7/3+1/4+0.5/6,$

То $\neg A=1/1+1/2+0.2/3+1/4+0.4/6+1/7+1/8+1/9+1/10$

$A+B=0.8/3+1/4+1/5+0.6/6$

$A\cap B=0.7/3+0.5/6$ ***(берется min из 2-х значений μ)***

$AB=0.56/3+0.3/6$

$0.4A=0.32/3+0.4/5+0.24/6$

Декартово произведение

Декартово произведение нечетких мн-в *A1, …, An* универсальных мн-в *U1,…,Un* соответственно обозначается *A1*×…×*An* и определяется как нечеткое подмножество множества *U1*×…×*Un* с функцией принадлежности.

$$\mu_{A_1 x \dots x A_n}(u_1, \dots, u_n) = \mu_{A_1}(u_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(u_n)$$

Таким образом $A_1 \times \dots \times A_n = \int_{U_1 \times \dots \times U_n} (\mu_{A_1}(u_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_n}(u_n)) / (u_1, \dots, u_n)$

Пример 3.6.

Если U1=U2 =3+5+7

A1=0.5/3+1/5+0.6/7

A2=1/3+0.6/5, **то**

A1×A2=0.5/3.3+1/5.3+0.6/7.6+0.5/3.5+0.6/5.5+0.6/7.5

Нечеткие отношения

Нечеткое отношение *R*: *X*→*Y* представляет собой нечеткое множество декартова произведения *X*×*Y*.

R описывается с помощью функции принадлежности 2-х переменных:

$$R \stackrel{\Delta}{=} \int_{X\times Y} \mu_R(x,y)/(x,y)$$

Нечетким отношением на множестве X×Y называется совокупность пар

$$R \stackrel{\Delta}{=} \int_{X_1\times\ldots\times X_n} \mu_R(x_1,\ldots,x_n)/(x_1,\ldots,x_n)$$

$$x_i \in X_i, \quad i=1,\ldots n$$

Где $\mu_R : X\times Y \to [0,1]$ -функция принадлежности нечеткого отношения *R*

Примеры нечетких отношений:

«*X* примерно равен *Y*», «*X* значительно больше *Y*»,

«*A* существенно предпочтительнее *B*».

Пример 3.7. – пример нечеткого отношения

Предположим, что ***X={Юрий, Сергей}***, ***Y={Максим, Михаил}***.

Тогда **бинарное нечеткое отношение «сходства»** м/у элементами множеств X и Y можно записать в виде:

сходство=0.8/(Юрий,Максим)+0.6/(Юрий,Михаил)+
+0.2/(Сергей,Максим)+0.9/(Сергей, Михаил)

Помимо этого, данное отношение можно представить в виде ***матрицы отношений.***

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cc} \text{Максим} & \text{Михаил} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{Юрий} \\ \text{Сергей} \end{array} & \begin{bmatrix} 0.8 & 0.6 \\ 0.2 & 0.9 \end{bmatrix} \end{array}$$

В которой (i,j)-й элемент равен значению функции $\mu_R(x,y)$ для *i*-го значения *x* и j-го значения *y*.

Если *R* –отношение *X→Y* , а *S* –отношение *Y→Z*, то композицией *R* и *S* является нечеткое отношение *X→Z*, обозначаемое *R° S*

$$R \circ S = \int_{X \times Z} \vee_y (\mu_R(x,y) \wedge \mu_s(y,z))/(x,z)$$

где $\circ$ *- знак композиции, знаки V и Λ обозначают соответственно max*
и min, Vy – верхняя грань по области значений y

Пример 3.7. (продолжение)

Выражение $$R \circ S = \int\limits_{X \times Z} \vee_y \left(\mu_R(x,y) \wedge \mu_s(y,z)\right) / (x,z)$$

является **композицией отношений**

Оно определяет **максминное произведение *R* и *S*.**

Так, для действительных чисел *a* и *b*:

$$a \vee b = \max(a,b) = \begin{cases} a, \text{ при } a \geq b \\ b, \text{ при } a < b \end{cases} \qquad a \wedge b = \min(a,b) = \begin{cases} a, \text{ при } a \leq b \\ b, \text{ при } a > b \end{cases}$$

Если *X,Y,Z* – конечные множества, то матрица отношения *R*° *S* есть максминное произведение матриц отношений *R* и *S*. В максминном произведении матриц вместо операции сложения и умножения используются операции $\vee$ и $\wedge$.

Пример максминного произведения

Количество строк должно равняться количеству столбцов. Строка умножается на столбец и берется макс. значение из минимальных значений пар.

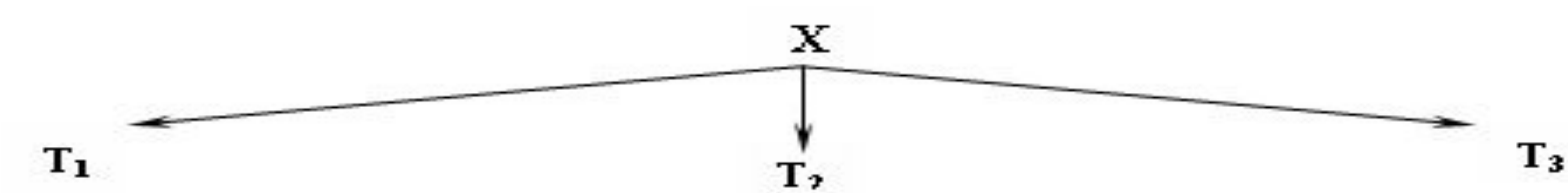
$$\begin{array}{ccccc} R & & S & & R \circ S \\ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.8 \\ 0.6 & 0.9 \end{bmatrix} & \circ & \begin{bmatrix} 0.5 & 0.9 \\ 0.4 & 1 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 0.4 & 0.8 \\ 0.5 & 0.9 \end{bmatrix} \end{array}$$

Нечеткая и лингвистическая переменные

Нечеткая пер. определяется кортежем $< X, U, \widetilde{X} >$
где **X**- наименование нечеткой переменной
***U* = {*u*}** - область ее определения или универсальное множество

$\widetilde{X} = \bigcup_{u \in U} \mu_u / u$ - нечеткое множество на U, описывающее ограничения на возможные числовые значения нечеткой пер-й

Лингвистическая пер. определяется кортежем $\langle X, T, U, G, M \rangle$
где ***X*** - наименование лингвистической переменной
T – множество ее значений или термов, представляющее собой наименования нечетких пер-х, областью определения каждой из которых является *U*.



Распределение терм-множеств лингвистической переменной X

Для лингвистической переменной, представленной на рис.(далее)

$T=\{T1,T2,T3\}$, $u0<u2<u1<u4<u3<ut$, $U=[u0,ut]$

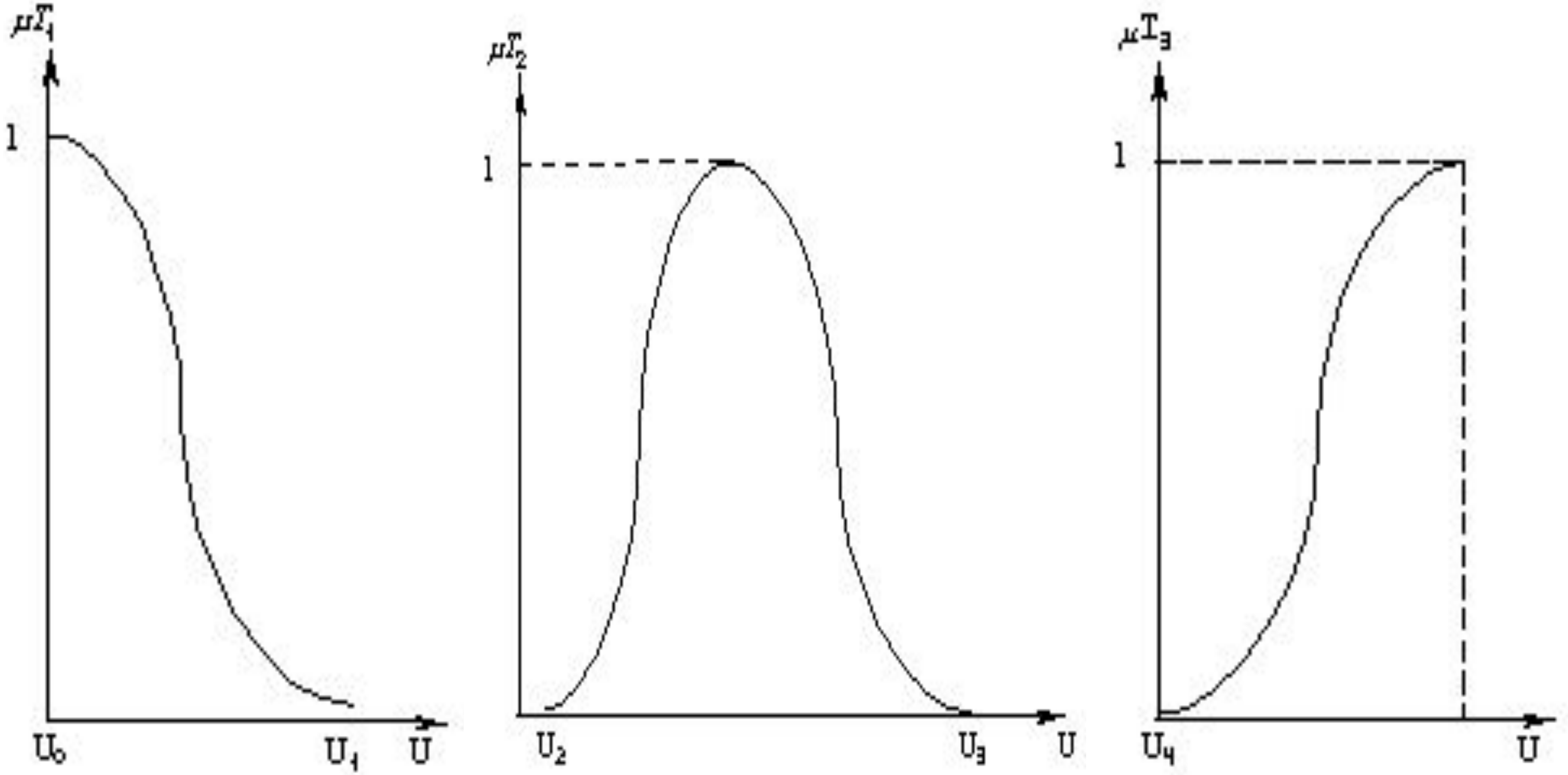
Пара точек (u0,ut) - граничная пара. *Множество T будем называть базовым терм-множеством лингвистической переменной;*

G – синтаксическая процедура, *описывающая процесс образования из множества T новых, осмысленных для данной задачи принятия решений значений лингвистической переменной.*

Множество $T^*=T\cup G(T)$ *назовем* ***расширенным терм-множеством лингвистической переменной.***

M - семантическая процедура, *позволяющая приписать каждому новому значению, образуемому процедурой G, некоторую семантику путем формирования соответствующего нечеткого множества, т.е. отобразить новое значение в нечеткую переменную.*

Графическое представление распределения терм-множеств лингвистической пер-й X



Пример лингвистической переменной

Пусть ЛПР оценивает посадочную скорость летательных аппаратов с помощью понятий
“малая”, “небольшая”, “средняя”, “невысокая”.

При этом максимальная посадочная скорость равна 300 км/час.
Формализация такого описания может быть приведена с помощью лингвистической пер-й

< скорость, {малая, небольшая, средняя, высокая}, [0,300], G,M>

где *G* – процедура перебора элементов базового терм- множества,
***M* – процедура экспертного опроса.**

Нечеткие числа и функции

В зависимости от характера множества *U* лингвистические переменные могут быть разделены на числовые и нечисловые.

Числовой называется лингвистическая переменная, у которой

$U \subset R^1$ где $R^1 = (-\infty, \infty)$

и которая имеет измеримую базовую переменную

Нечеткие переменные, соответствующие значениям числовой лингвистической пер-й, называются ***нечеткими числами*.**

Если $|U| < \infty$ то нечеткие числа будем считать дискретными,

если же $|U| = |R1|$ - то непрерывными.

Лингвистическая пер. СКОРОСТЬ является числовой, а нечеткие пер. из ее терм-множества – непрерывными нечеткими числами.

Пример нечисловой лингвистической переменной:

Пер. СЛОЖНОСТЬ, формализующая понятие “сложность разработки”,

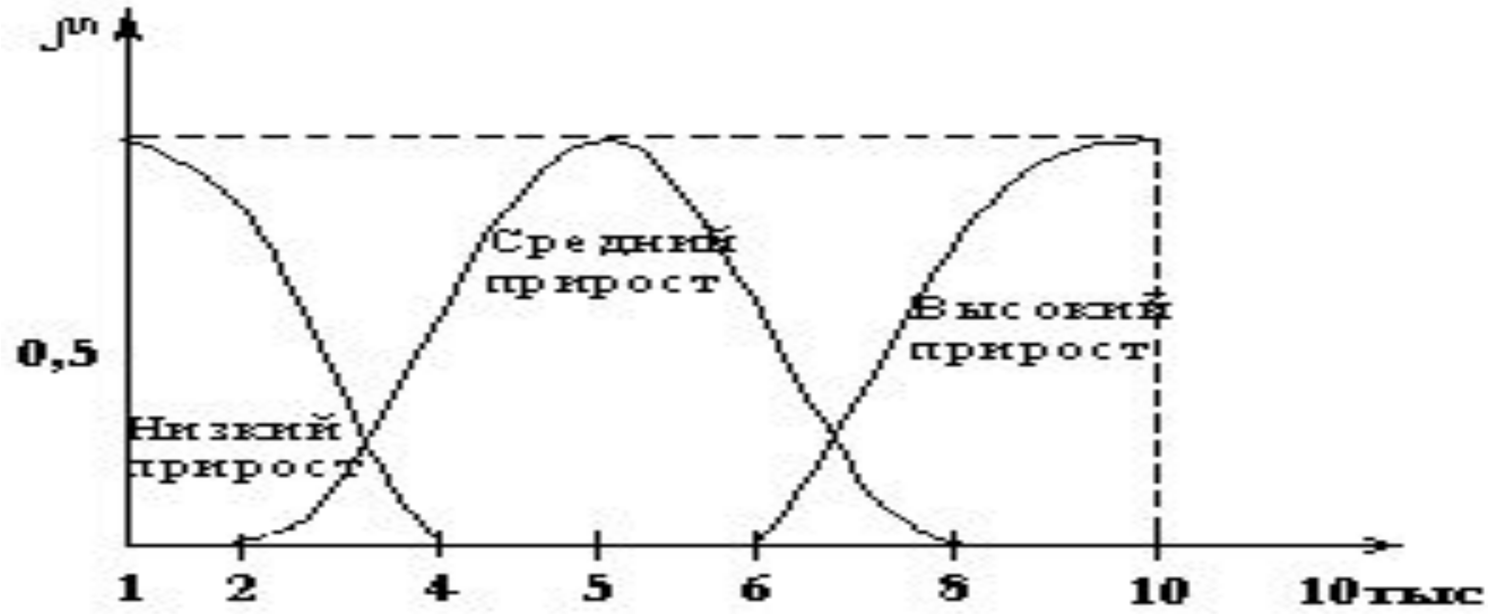
со значениями НИЗКАЯ, СРЕДНЯЯ, УМЕРЕННАЯ, ВЫСОКАЯ.

Лингвистические критерии и отношения предпочтения

Лингвистический критерий *K* – такой критерий, оценки по шкале которого являются значениями одноименной лингвистической пер-й <*K, T(K), UK, GK, MK*>
Согласно этому критерию обеспечивается переход от словесного к числовому описанию лингвистического критерия.
Лингвистические критерии можно подразделить на:

* **числовые,** или с измеримой базовой переменной,
* **нечисловые,** не имеющие физически определенной базовой переменной

Пример1. Нечисловой лингвистический критерий:
Критерий профессиональной пригодности со значениями ХОРОШО, ПЛОХО, НЕДОСТАТОЧНО СООТВЕТСТВУЕТ.
В данном случае точно неизвестно как выражается профессиональная пригодность в виде функции тех или иных физических величин.



Пример2. Функции принадлежности нечетких множеств, формализующие лингвистические значения критерия

Рассмотрим критерий прироста прибыли как лингвистический со шкальными значениями НИЗКИЙ, СРЕДНИЙ, ВЫСОКИЙ прирост и числовой областью определения *Uk= [10, 100]* тыс. руб. Величина *μ низкий*(20) представляет субъективную оценку того, насколько числовое значение прироста прибыли, равное 20т.р., соответствует идеальному лингвистическому значению НИЗКИЙ прирост