

### 3.3. Индекс безопасности

Выделение центра технологической безопасности позволяет численно определять смещение рабочей точки ХТП от центра безопасности – наиболее безопасного состояния процесса. Количественная характеристика, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса  $s^*$  от точки, характеризующей центр безопасности  $s_0$ , покажет степень безопасности для данного состояния ХТП. Эту количественную характеристику будем называть *индексом безопасности*.

**Методика определения индекса безопасности.** Пусть  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$  – множество технологических параметров, которыми описывается некоторое состояние ХТП. Набор конкретных значений параметров, описывающих состояние в некоторый момент времени, назовем ситуацией. Множество всевозможных ситуаций, возникающих в результате функционирования ХТП, может использоваться для формирования «решающей таблицы», задающей соответствия между ситуацией и набором управляющих решений. Размер решающей таблицы определяется числом ситуаций, которое, в свою очередь зависит от степени конкретизации значений, набора параметров, характеризующих данный ХТП. Размерность решающей таблицы может быть уменьшена за счет выделения типовых ситуаций, на которых может быть сосредоточено внимание экспертов [76].

Поставим в соответствие каждому параметру ХТП лингвистическую переменную  $\langle \beta_i, E_i, D_i \rangle$ ,

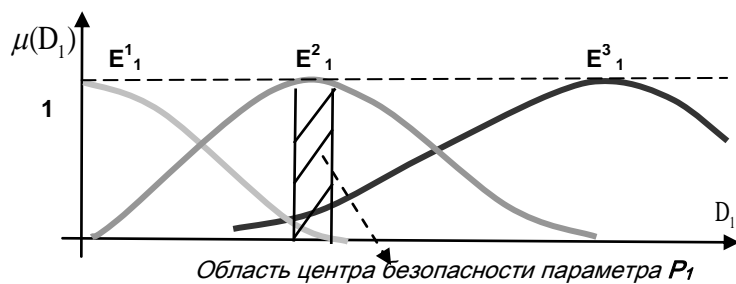


Рис.3.2 Функции принадлежности лингвистической переменной  $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$

где:  $\beta_i$  – название лингвистической переменной;  $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$  – терм-множество лингвистической переменной  $\beta_i$ ;  $D_i$  – базовое множество лингвистической переменной  $\beta_i$ . Каждому элементу терм-множества  $E_i$ , ставится в соответствие своя функция принадлежности (рис. 3.2).

Для описания термов  $E_i^j$ , соответствующих значениям  $\beta_i$ , используются нечеткие переменные.

Каждый терм описывается нечетким множеством в базовом множестве данной лингвистической переменной. Множество, состоящее из набора лингвистических переменных  $\beta_i$ , нечетко определяет некоторое состояние технологического процесса. Такое множество назовем нечеткой ситуацией.

Если каждый параметр  $T_i$  из множества  $T$  описывается соответствующей лингвистической переменной  $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$ , то нечеткой ситуацией  $\tilde{S}$  называется [76,77,78] нечеткое множество второго уровня:  $\tilde{S} = \{ \langle \mu_{\tilde{S}}(T_i) / T_i \rangle, T_i \in T_p \}$ , где  $\mu_{\tilde{S}}(T_i) = \{ \langle \mu_{\mu_{\tilde{S}}(T_i)}(E_i^j) / E_i^j \rangle, j = 1 \dots M_i; i = 1 \dots T_p \}$ .

Типовые нечеткие ситуации могут использоваться для идентификации некоторой входной нечеткой ситуации по степени их близости. В качестве меры близости между ситуациями рассматривается два критерия: степень нечеткого включения и степень нечеткого равенства.

Степень включения ситуации  $\tilde{S}_i$  в ситуацию  $\tilde{S}_j$  обозначается  $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j)$  и определяется выражением:  $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) = \& \nu(\mu_{\tilde{S}_i}(T), \mu_{\tilde{S}_j}(T))$ .

Где

$$\nu(\mu_{\tilde{S}_i}(T), \mu_{\tilde{S}_j}(T)) = \& (\mu_{\mu_{\tilde{S}_i}(T)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{\tilde{S}_j}(T)}(E_k))$$

$$\mu_{\mu_{\tilde{S}_i}(T)}(E_k) \rightarrow \mu_{\mu_{\tilde{S}_j}(T)}(E_k) = \max\{1 - \mu_{\mu_{\tilde{S}_i}(T)}(E_k), \mu_{\mu_{\tilde{S}_j}(T)}(E_k)\}$$

Для ограничения возможных вариантов альтернатив, возникающих при диагностике ХТП, будем считать, что ситуация  $\tilde{S}_i$  нечетко включается в  $\tilde{S}_j$ ,  $\tilde{S}_i \subseteq \tilde{S}_j$ , если степень включения  $\tilde{S}_i$  в  $\tilde{S}_j$  не меньше некоторого порога включения  $t_{inc} \in [0.6; 1]$ , определяемого условиями управления, то есть  $\nu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) \geq t_{inc}$ . Другими словами, ситуация  $\tilde{S}_i$  нечетко включается в ситуацию  $\tilde{S}_j$ , если нечеткие значения признаков ситуации  $\tilde{S}_i$  нечетко включаются в нечеткие значения

соответствующих признаков ситуации  $\tilde{S}_j$ . Фиксация порога включения в некоторой точке интервала  $[0.6;1]$  зависит от особенностей объекта управления, требований к качеству управляющих решений и т.д.

В пределах достоверности, ограничиваемых порогом нечеткого равенства  $t$ , все ситуации одного класса эквивалентности  $\tilde{A}_i$  можно считать одной ситуацией, которая получается нечетким объединением ситуаций, принадлежащих классу  $\tilde{A}_i$ . Полученная ситуация может использоваться при идентификации входной ситуации  $\tilde{S}^*$  посредством сравнения ее с ситуациями из  $S$  на нечеткое равенство.

Для целей определения индекса безопасности в качестве типовой нечеткой ситуации достаточно иметь одну нечеткую ситуацию, которая характеризует центр технологической безопасности, обозначим эту ситуацию  $\tilde{S}_0$ .

Таким образом, для определения индекса безопасности для текущего состояния процесса необходимо сравнить на нечеткое равенство входную нечеткую ситуацию  $\tilde{S}^*$  с нечеткой ситуацией, которая характеризует центр безопасности  $\tilde{S}_0$ . При этом степень нечеткого равенства:

$$In(\tilde{S}^*)_{\tilde{S}_0} = \nu(\tilde{S}^*, \tilde{S}_0) \& \nu(\tilde{S}_0, \tilde{S}^*) \quad (3.3)$$

и покажет величину, определенную как индекс безопасности ХТП.

**Расчет индекса безопасности для группы аппаратов.** Пусть ХТС состоит из  $R$  аппаратов, для каждого из которых рассчитан свой индекс безопасности  $D_i$ , который показывает степень удаленности рабочей точки процесса от центра безопасности. Рассмотрим множество  $\{D_1, D_2, D_3, \dots, D_R\}$  состоящее из индексов безопасности для каждого из процессов ХТС. Совокупность этих индексов определяет состояние всей системы.

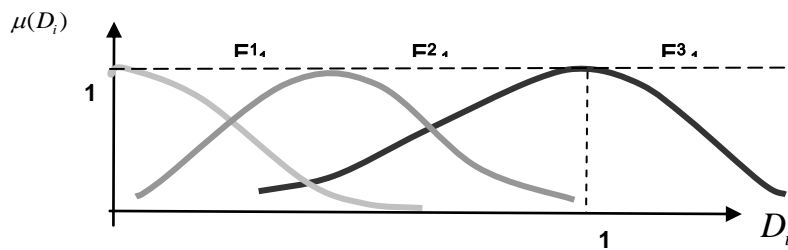


Рис. 3.3 Функции принадлежности для лингвистической переменной «оценка состояния i-го аппарата»

Для расчета индекса безопасности для группы аппаратов применим следующую методику.

Поставим каждому индексу безопасности  $D_i$  ( $i \in I = \{1, 2, \dots, R\}$ ) в соответствие лингвистическую переменную  $\langle \lambda_i, E_i, X_i \rangle$ , где  $\lambda_i$  - название переменной - «оценка состояния i-го аппарата»;  $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$  - терм-множество

лингвистической переменной  $\lambda_i$ ;  $X_i$  - базовое множество лингвистической переменной  $\lambda_i$ .

Таким образом, перейдем от индекса безопасности  $D_i$  для i-го аппарата к оценке состояния этого аппарата по его индексу безопасности, для этого необходимо построить терм-множества лингвистической переменной  $\lambda_i$  (рис. 3.3).

Для описания термов  $T_j^i$  ( $j \in H = \{1, 2, \dots, M_i\}$ ), соответствующих значениям  $\beta_i$ , используются нечеткие переменные  $\langle T_j^i, X_i, Q_j^i \rangle$ , то есть  $T_j^i$  описывается нечетким множеством  $\tilde{Q}_j^i$  в базовом множестве  $D_i$ :  $\tilde{Q}_j^i = \{ \langle \mu_{\tilde{Q}_j^i}(x) / x \rangle \}$ ,  $x \in X_i$ .

где  $\mu_{\tilde{Q}_j^i}(d)$  - степень принадлежности элемента  $d$  нечеткому множеству  $\tilde{Q}_j^i$ .

Далее применяем методику аналогичную рассмотренной выше.

Пусть  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_R\}$  - множество индексов безопасности, значениями которых описывается состояние всей технологической системы. Каждый индекс безопасности описывается соответствующей лингвистической переменной  $\langle \lambda_i, E_i, X_i \rangle$ .

Индекс безопасности для группы аппаратов рассчитывается как степень нечеткого равенства некоторой текущей ситуации  $\tilde{Z}^*$  - определяющей состояние всей системы с ситуацией, которая определяет центр безопасности для всей системы  $\tilde{Z}_0$ . Степень нечеткого равенства  $\mu(\tilde{Z}^*, \tilde{Z}_0) = \nu(\tilde{Z}^*, \tilde{Z}_0) \& \nu(\tilde{Z}_0, \tilde{Z}^*)$  покажет индекс безопасности всей системы.



Рис. 3.4 Обобщенная структура алгоритма определения области центра безопасности.