

### 3.1 Область безопасности

Основной задачей промышленных систем диагностики является своевременное обнаружение нарушений, которые приводят к внештатным ситуациям. Для того чтобы иметь возможность выявить возможное нарушение еще на ранней стадии его развития, необходима количественная оценка безопасности.

Функционирование любого ХТП можно рассматривать как последовательность смены состояний на некотором интервале времени  $(t_0, t_k)$ . Состояние ХТП в каждый момент времени  $t \in (t_0, t_k)$  характеризуется набором параметров:  $Y = \{T_i, K_j, U_l\}$ , где:  $\{T_i, i=1..I\}$  – параметры состояния технологии процесса;  $\{K_j, j=1..J\}$  – параметры состояния оборудования процесса;  $\{U_l, l=1..L\}$  – параметры состояния систем управления процесса.

На ХТП могут быть наложены ограничения штатного функционирования  $\bar{\varphi}(\bar{T}, \bar{K}, \bar{U}) \leq 0$ , зависящие от множеств параметров  $\{T_i, K_j, U_l\}$ . Выход за эти ограничения означает переход ХТП во внештатную ситуацию. Таким образом, эти ограничения разделяют пространство всех состояний, в которых может находиться ХТП на два множества: множество опасных состояний и множество безопасных (работоспособных) состояний. Во множестве безопасных состояний наибольший интерес представляет область, в которой функционирование ХТП является наиболее безопасным – область центра технологической безопасности. Методика определения области безопасности для технологических параметров ХТП основывается на том, что информация о состояниях процесса представляется в виде нечеткого отношения предпочтения во множестве альтернатив выбора [76, 77].

На первом шаге определяется конечное множество альтернатив, на котором будем строить нечеткое отношение предпочтения. Для каждого из параметров в области его существования можно выделить интервалы (диапазоны) значений параметров, которые характеризуют определенные режимы работы технологии, то есть соответствуют определенным состояниям непрерывного технологического процесса. Таким образом формируется ограниченное множество непересекающихся интервалов  $\{x^{Tp_{K_p}}\}$ , где  $T_p = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$  – индекс технологического параметра,  $K_p = \{1, 2, \dots, K_p\}$  – индекс интервала.

На множестве непересекающихся областей некоторого параметра  $P$ ,  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  задается нечеткое отношение нестрогого предпочтения  $R(\mu_R)$  с функцией принадлежности  $\mu_R(x_1, x_2)$ . Функция принадлежности интерпретируется следующим образом: “интервал  $x_1$  значений параметра  $P$  не хуже (с точки зрения безопасности функционирования технологического процесса) интервала  $x_2$  значений параметра  $P$ ”. На основе экспертных знаний попарно проводится нечеткое сравнение на множестве альтернатив  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  с целью выявления между ними степени принадлежности к заданному отношению.

Для определения недоминируемых состояний выделяются соответствующее отношению предпочтения  $R(\mu_R)$  отношение строгого предпочтения  $R^D(\mu_{R^D})$ . Интервал  $x_1$  строго безопаснее интервала  $x_2$ , если выполняется условие  $(x_1, x_2) \in R$  и  $(x_2, x_1) \notin R$ . Отношение строгого предпочтения на  $X$  используется для определения и анализа свойств множества недоминируемых альтернатив. Пара  $(X, R(\mu_R))$  является моделью выбора, который представляет подмножество наиболее безопасных состояний.  $R^D = R \setminus R^{-1}$ , где  $R^{-1}$  – отношение обратное к  $R$ , описываемое функцией принадлежности:  $\mu_{R^{-1}}(s_1, s_2) = \mu_R(s_2, s_1)$ . Функция принадлежности разности нечетких множеств записывается в следующем виде:  $\mu_{A \setminus B}(x) = \max\{\mu_A(x) - \mu_B(x), 0\}$ . Тогда нечеткое отношение доминирования  $R^D$  описывается следующей функцией принадлежности:  $\mu_{R^D}(x_1, x_2) = \max\{\mu_{R^D}(x_1, x_2) - \mu_{R^D}(x_2, x_1), 0\}$ .

Величина  $1 - \mu_{R^D}(y, x)$ , для любой альтернативы  $x$  является значением функции принадлежности дополнения отношения  $R^D$  и показывает степень, с которой альтернатива  $x$  недоминируется альтернативой  $y$ . Величина  $\min_{y \in X} (1 - \mu_{R^D}(y, x))$  показывает степень недоминируемости альтернативы  $x$  для любой альтернативы из  $X$ . Это позволяет сформулировать понятие нечеткого множества  $X_R^{f.A.}$ , определяемого функцией принадлежности вида:

$$\mu_R^{H.D.}(x) = \min_{x \in X} (1 - \mu_{R^D}(x, y)) = \min_{y \in X} (1 - \max\{\mu_R(y, x) - \mu_R(x, y), 0\}), y \in X, \text{ заданное множество}$$

называется нечетким множеством недоминируемых альтернатив в модели выбора  $(X, R(\mu_R))$ .

Область безопасного функционирования ХТП представляет собой подмножество состояний

на конечном множестве диапазонов значений параметров, характеризующих определенные режимы работы ХТП. В это множество будут входить те состояния, которые являются безопасными с точки зрения ведения технологического процесса, но не совпадают с центром безопасности.

Рассмотрим методику нахождения области безопасного функционирования ХТП. Пусть для некоторого объекта технологического процесса определен центр безопасности по всем технологическим параметрам ( $S_0 = \{t_0^1, t_0^2, \dots, t_0^n\}$ ,  $t_0^i$  – центр безопасности для  $i$ -го параметра), и существует набор нечетких типовых состояний  $s_i \in S$  ( $i \in 1, 2, \dots, N$ ), определенных при помощи экспертного опроса по разработанным алгоритмам [79].

Тогда из множества всех типовых состояний ХТП можно выделить некоторое подмножество состояний  $s_{bj} \in S$ , которые принадлежат к безопасным состояниям функционирования ХТП, но не совпадают полностью с определенным центром безопасности. Существование таких состояний обусловлено тем, что данные состояния могут отклоняться от центра безопасности только по одному или нескольким значениям технологических параметров, или отклонения по технологическим параметрам могут быть незначительными (т.е. в пределах значения порога нечеткого включения состояний  $t_{inc} \in [0.6; 1]$ ). Выявленный набор таких состояний будет представлять собой область безопасного функционирования (ОБФ) ХТП.

Таким образом, в ОБФ, кроме самого центра безопасности, войдут все состояния  $s_{bj} \in S$ , для которых значение степени принадлежности определяющих их интервалов нечеткому множеству  $X_R^{н.д.}$  будет не менее установленного порога  $t_{inc}$  в модели выбора  $(X, R(\mu_R))$ . Для каждого интервала  $x$ , определяющего состояние, входящее в ОБФ должно выполняться неравенство  $\mu_R^{j.a.}(x) \geq t_{inc}$ , где  $\mu_R^{j.a.}(x) = 1 - \min(\max_{d \in X} \{ \mu_R(d, x) - \mu_R(x, d), 0 \})$ .

Следуя этой методике можно выделить подмножество состояний  $S_{bj} = \{t_j^1, t_j^2, \dots, t_j^n\}$ , где  $t_j^i$  - интервалы  $i$ -го параметра  $j$ -го состояния ( $j=1..k$ ), удовлетворяющие условию  $\mu_R^{j.a.}(t_j^i) \geq t_{inc}$ .

Методика практического нахождения состояний, удовлетворяющих описанным выше условиям для конкретного объекта ХТП, состоит из следующих этапов:

1. Выявить набор параметров, по которым будет оцениваться центр безопасности для данного объекта ХТП.

2. Построить функции и определить степени принадлежности соответствующим лингвистическим переменным для каждого из выявленных параметров для дальнейшего вычисления степеней нечеткого включения и нечеткого равенства состояний.

3. Вычислить степени нечеткого включения значений технологических параметров типового состояния в центр безопасности.

4. Вычислить степени нечеткого включения значений технологических параметров центра безопасности в типовое состояние.

5. Рассчитать степень нечеткого равенства между типовым состоянием и центром безопасности на основе полученных степеней включения.

6. Состояния, степень нечеткого равенства которых будет удовлетворять определенному условию ( $t_{inc} \in [0.6; 1]$ ) будут представлять собой область безопасного функционирования объекта. Для определения центра безопасности состояния оборудования и систем управления технологического процесса проводится динамический анализ статистических данных о наработке на отказ оборудования и систем управления, по которым строится вероятностная оценка отказов оборудования и систем управления. Вероятность отказа в пределах от 0 до 5 процентов определяется как область безопасности.