

и ограничений, которые используются при дальнейшей оценке состояний для целей диагностики ХТП.

Литература

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
2. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Построение модели управления технологической безопасностью на основе бинарных отношений // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2004. Вып. IV. С. 64–73.
3. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Алгоритм определения центра безопасности для оценки состояния технологического процесса // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2005. Вып. V. С. 68–72.
4. Вицентий А. В. Постановка задачи управления рисками непрерывных химико-технологических процессов как задачи оптимизации // Тоичкин Н. А., Охота С. В., Богатиков В. Н. Управление безопасностью природно-промышленных систем / Под ред. Путилова В. А. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. Вып. VI. 70 с.
5. Вицентий А. В. Информационные модели на основе CASE-средств промышленных объектов для информационной поддержки принятия решений // Вицентий А. В., Богатиков В. Н., Вент Д. П., Палюх Б. В. Международный научнотехническое приложение «Программные продукты и системы» к междунар. журн. «Проблемы теории и практики управления». 2003. № 4. С. 29–34.
6. Вицентий А. В. Алгоритмы оценки состояний в задачах управления технологической безопасностью // Охота С. В., Датьев И. О., Богатиков В. Н. Управление безопасностью природно-промышленных систем. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. Выпуск IV. С. 55–61.
7. Богатиков В. Н., Проектирование информационного обеспечения задач управления безопасностью технологических процессов // Вицентий А. В., Охота С. В., Палюх Б. В. Информационные ресурсы России. М.: Информационные ресурсы России, 2004. № 3(79). С. 5–8.
8. Вицентий А. В. Разработка метода оценки состояний технологических процессов и систем на основе нечетко определенных моделей. XIV-я Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Сборник трудов. М.: ИПУ, 2006. С. 477–479.
9. Тоичкин Н. А., Мартыненко И. Б. Метод оценки безопасности технологических процессов на основе индекса безопасности // Труды Новомосковского института Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева. Серия: Кибернетика, Автоматизация, Математика, Информатизация. Новомосковск, 2004. С. 244–247.
10. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Определение индекса безопасности технологического процесса для целей управления безопасностью // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2005. Вып. V. С. 73–75.

Исследование эксплуатационных режимов промышленных процессов для целей построения области безопасного функционирования

А. В. Вицентий, В. В. Саяпин

*Институт Информатики и Математического Моделирования
КНЦ РАН, Апатиты*

Возникновение отказов и разного рода нештатных ситуаций на современных крупных производствах характеризуется высокой стоимостью и риском развития аварий, которые могут привести к значительным материальным потерям, нанесению ущерба окружающей среде и обслуживающему персоналу. В настоящее время различают несколько видов мероприятий по повышению безопасности работы технологических систем — мероприятия, организуемые на этапе проектирования, и мероприятия, организуемые в процессе производства и эксплуатации.

Задача диагностики и выработки управляющих воздействий для удержания процесса в области безопасных состояний особенно актуальна для процессов с непрерывным характером производства, так как возникновение нештатных ситуаций в таких процессах наиболее сильно влияет на экономические показатели всего производства. Данная работа посвящена исследованию и разработке средств и методов повышения безопасности сложных химико-технологических систем (ХТС) на этапе их эксплуатации. В качестве примера сложной ХТС в данной работе рассматривается кислотное отделение по получению сернистой кислоты целлюлозно-картонного комбината (ЦКК).

На сегодняшний день трудно выделить единый, универсальный метод создания систем диагностики. Наиболее распространенными подходами в создании диагностических систем можно назвать: подход, основанный на количественных моделях и подход, позволяющий комбинировать

результаты экспертного (качественного) и количественного анализа состояния химико-технологического процесса (ХТП). Основная идея этого подхода состоит в том, что следует разрабатывать гибридные системы технической диагностики, в которых используются как формализованные, так и неформальные знания и процедуры.

Особое внимание при разработке диагностических систем, основанных на экспертных данных, уделяется вопросам учета неопределенности технологической информации при принятии диагностических решений. Это связано как с неточностью или невозможностью измерений отдельных характеристик технологического процесса, так и с неоднозначностью и многовариантностью интерпретаций имеющихся знаний о диагностических свойствах сложных ХТС.

Одной из важных задач при построении области безопасного функционирования (ОБФ) технологического процесса на множестве всех возможных состояний ХТП является задача выбора методики формализации знаний экспертов. Для этой цели в работе использовалась методика формализации экспертных знаний при помощи трапециевидных функций принадлежности. Химико-технологическая система при таком подходе может быть представлена как некоторый объект типа «черного ящика» с одним выходом и n входами [1]. С учетом этого утверждения строится логико-лингвистическая модель объекта диагностики (отдельного аппарата или ХТС в целом) в условиях неполноты и неопределенности информации на основе знаний экспертов.

В рамках разработанной модели, объект может быть охарактеризован одним выходом и n ($n \leq 7$) входами. В общем случае входная переменная x_i , $i \in [1..n]$, может принадлежать одному из двух типов:

- x_i — «четкая» переменная, количественно описывает состояние входа i . Для четкой переменной можно определить диапазон численных значений $x_i \in [x_i^{min}, x_i^{max}]$. На практике к четким переменным можно отнести любую переменную, численное значение которой можно измерить или рассчитать с достаточной точностью (физический параметр, количество и т. п.).
- x_i — «нечеткая» переменная, качественно описывает состояние входа i . Для нечеткой переменной можно определить множество состояний, выраженных терминами ограниченного естественного языка (ОЕЯ) $\{X_i^1, \dots, X_i^j, \dots, X_i^{p_i}\}$, где p_i — размерность множества состояний i -го входа. На практике к нечетким переменным можно отнести любую переменную, значение которой либо невозможно выразить численно, либо невозможно измерить или рассчитать ее численное значение (например, состояние и пробег катализатора можно опреде-

лить следующим множеством терминов на ОЕЯ {очень изношенный, изношенный, нормальный, новый}).

Для решения данной задачи использовалась логико-лингвистическая модель на основе продукционных правил. При данном подходе совокупность частных утверждений экспертов реализуется в виде базы правил, которая имеет следующий вид:

(ЕСЛИ [посылка 1], ТО [заключение 1]) ИЛИ ...
 (ЕСЛИ [посылка j], ТО [заключение j]) ИЛИ ...
 (ЕСЛИ [посылка m], ТО [заключение m]),

где m — число качественно различных, по мнению эксперта, состояний, к которым может принадлежать количественное значение выходного параметра; заключение j — лингвистическое описание j -го состояния выходного параметра; посылка j — лингвистическое описание всех наборов состояний входных параметров, определяющих заключение j .

Далее, с помощью представления знаний экспертов через определенные функции принадлежности, производилась формализация знаний [1]. После представления экспертных знаний в формализованном виде в области безопасного функционирования ХТП выделялось состояние, называемое центром безопасности (ЦБ) — нечеткое состояние \tilde{S}_0 — наиболее предпочтительное состояние ведения ХТП с точки зрения безопасности [2–4].

Определение центра технологической безопасности. Для определения уровня безопасности формируется область центра технологической безопасности — область наиболее безопасного функционирования ТП в штатном режиме

Процесс функционирования любого ХТП можно рассматривать как последовательность смены состояний на некотором интервале времени (t_o, t_k) . Состояние ХТП в каждый момент времени $t \in (t_o, t_k)$ характеризуется набором параметров: $Y = \{T_i, K_j, U_l\}$, где:

$\{T_i, i = 1 \dots I\}$ — параметры состояния технологии данного процесса;
 $\{K_j, j = 1 \dots J\}$ — параметры состояния оборудования;
 $\{U_l, l = 1 \dots L\}$ — параметры состояния систем управления.

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 в штатную 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 может представлять область, в которой функционирование ХТП является наиболее безопасным — область центра безопасности. Рассмотрим методику

определения центра безопасности для технологических параметров ХТП. Данная методика основывается на том, что информация о состояниях ХТП, на основе которой принимается решение о выборе центра безопасности (ЦБ) представляется в виде нечеткого отношения предпочтения во множестве альтернатив выбора.

На первом шаге определяется конечное множество альтернатив, на котором строится нечеткое отношение предпочтения (н. о. п.). Для этого, для каждого из технологических параметров ХТП в области его существования выделяются интервалы — диапазоны значений параметров, которые характеризуют определенные режимы работы технологии, то есть соответствуют определенным состояниям ХТП. Таким образом, получаем ограниченное множество непересекающихся интервалов $\{x_{K_p}^{T_p}\}$, здесь T_p — индекс технологического параметра, K_p — индекс интервала данного технологического параметра.

Далее на множестве непересекающихся интервалов значений технологического параметра P , задается нечеткое отношение нестрогого предпочтения $R(\mu_R)$, с функцией принадлежности $\mu_R(x_1, x_2)$ показывающее какой из двух интервалов более предпочтителен с точки зрения безопасности x_1 или x_2 . Это отношение, выявляется с помощью знаний экспертов (технологов, операторов), которые проводят попарно нечеткое сравнение на множестве интервалов значений параметра, и определяют степень принадлежности $\mu_R(x_1, x_2)$, интерпретируемое следующим образом: «интервал x_1 значений параметра P не опаснее интервала x_2 значений параметра P ».

Для того чтобы выделить те интервалы параметров, которые считаются недоминируемыми, выделим соответствующее отношению предпочтения R , отношению строгого предпочтения R^D . Будем говорить, что интервал x_1 строго безопаснее интервала x_2 , если одновременно $(x_1, x_2) \in R$ и $(x_2, x_1) \notin R$. Совокупность таких пар назовем отношением строгого предпочтения на X , и будем использовать его для определения и анализа свойств множества недоминируемых альтернатив, то есть таких альтернатив, выбор которых является наилучшим в заданном множестве, пару $(X, R(\mu_R))$ назовем моделью выбора. Этот выбор представляет подмножество наиболее безопасных интервалов для некоторого технологического параметра.

Отношение строгого предпочтения получаем как разность отношения нестрогого предпочтения R и обратного к нему отношения R^{-1} : $R^D = R \setminus R^{-1}$. Тогда R^D описывается следующей функцией принадлежности:

$$\mu_{R^D}(x_1, x_2) = \max\{\mu_R(x_1, x_2) - \mu_R(x_2, x_1), 0\}.$$

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 не доминируется альтернативой y . Тогда 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 $x_R^{N.D.}$, определяемого функцией принадлежности вида:

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

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

Таким образом, нечеткое множество $x_R^{N.D.}$ ставит в соответствие каждой альтернативе $x \in X$ степень ее недоминируемости, принимающую значения от 0 до 1. Чем больше степень принадлежности альтернативы x нечеткому множеству $x_R^{N.D.}$, тем более предпочтительной является данная альтернатива [6, 7].

Выделим из полученного подмножества $x_R^{N.D.}$ тот интервал, который имеет максимальную степень недоминируемости $\sup_{x \in X} \mu_{R^{N.D.}}(x)$. По-

лученный интервал t_0^i является наиболее предпочтительным для данного параметра с точки зрения безопасности. Прделав эту процедуру для всех технологических параметров процесса, получим набор интервалов, которые характеризуют состояние области центра безопасности: $S_0 = \{t_0^1, t_0^2, \dots, t_0^n\}$, t_0^i — наиболее благоприятный интервал для i -го параметра (см. рис. 1).

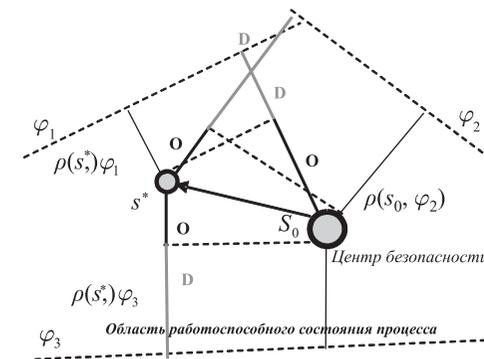


Рис. 1. Центр безопасности

Индекс безопасности. Выделение центра технологической безопасности позволяет численно определять смещение рабочей точки процесса от центра безопасности — наиболее безопасного состояния процесса. В процессе работы ХТП, в результате изменения значений его параметров происходит постоянная смена состояний, вследствие чего происходит выход из области центра безопасности. Оценить этот выход можно с помощью определения смещения от центра безопасности. Количественная характеристика, характеризующая удаленность текущей рабочей точки процесса s^* от точки характеризующей центр безопасности s_o (см. рис. 1) покажет степень безопасности для данного состояния ХТП. В табл. 1 представлены обозначения, используемые на рис. 1 и соотношения между ними.

Пусть $T = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ — множество технологических параметров, которыми описывается некоторое состояние ХТП. Набор значений

Таблица 1

Количественная оценка безопасности

Обозначения	Пояснение
S	множество всевозможных состояний процесса
S_p	множество работоспособных состояний процесса
$\varphi_i, i = 1, \dots, N_{Lim}$	множество границ области работоспособного состояния
s_o	центр безопасности для данного процесса
s^*	текущая рабочая точка процесса
$\rho_i = \min(s^*, \varphi_i), i = 1, \dots, N_{Lim}$	расстояние от рабочей точки процесса s^* до границ области работоспособного состояния
$\Delta^* = \min \rho(s^*, s_o)$	расстояние от рабочей точки процесса s^* до центра безопасности s_o
$\delta_i = \min \rho(s_o, \varphi_i), i = 1, \dots, N_{Lim}$	расстояние от центра безопасности s_o до границ области работоспособного состояния
$O_i = \delta_i - \rho_i $	степень опасности для данного состояния s^* ХТП относительно границ
$D_i = \delta_i - \Delta^* $	степень безопасности для данного состояния s^* ХТП относительно границ

параметров, описывающих такое состояние в некоторый момент времени, назовем ситуацией. Множество всевозможных ситуаций, возникающих в результате функционирования ХТП, может использоваться для формирования «решающей таблицы» [6], т. е. соответствия между ситуацией и набором управляющих решений. Размер такой 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.

При описании таких ситуаций эксперту наиболее удобно пользоваться словесными значениями параметров. Для формализации такого представления используется понятие лингвистической переменной, которая задается на некоторой количественной шкале и принимает значения являющиеся словами естественного языка. Такие переменные служат для качественного, словесного описания некоторой количественной величины, с их помощью формализуется качественная информация, представленная в словесной форме. Поставим в соответствие каждому параметру ХТП лингвистическую переменную $\langle \beta_i, E_i, D_i \rangle$, где: β_i — название лингвистической переменной; $E_i = \{E_i^1, E_i^2, \dots, E_i^{M_i}\}$ — терм-множество лингвистической переменной β_i ; D_i — базовое множество лингвистической переменной β_i .

Каждому элементу терм-мноества E_i ставится в соответствие своя функция принадлежности (см. рис. 2).

Для описания термов E_j^i , соответствующих значениям β_i , используются нечеткие переменные, то есть каждый терм описывается нечетким множеством в базовом множестве данной лингвистической переменной. Множество, состоящее из набора лингвистических переменных β_i , нечетко определяет некоторое состояние технологического процесса. Такое множество назовем нечеткой ситуацией. Т. е. нечеткой ситуацией является

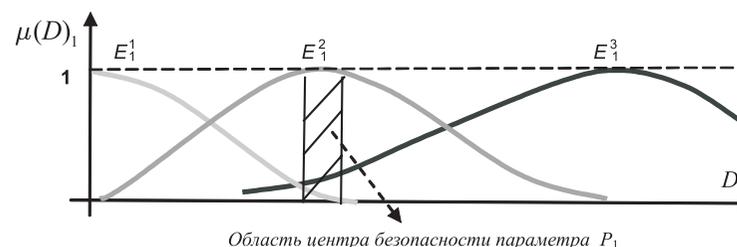


Рис. 2. Функции принадлежности лингвистической переменной $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$

множество, состоящее из лингвистических переменных представляющих параметры ХТП.

Например, возможна следующая нечеткая ситуация, возникшая в процессе функционирования некоторого типового ХТП:

{<<0,8/"Хорошая">, <0,18/"Плохая">, /
"Концентрация раствора на входе в аппарат">},

<<0,7/"Хорошая">, <0,25/"Плохая">, /
"Концентрация раствора на выходе из аппарата">},

<<0,9/"Хорошее">, <0,2/"Нормальное">, <0,01/"Опасное">, /
"Давление пара на входе в аппарат">, ... }.

Таким образом, нечеткой ситуацией будет следующее нечеткое множество:

$$\tilde{s} = \{ \langle \mu_s(y_i) / y_i \rangle, \quad y_i \in Y,$$

где

$$\mu_s(y_i) = \{ \langle \mu_{\mu_s(y_j)}(T_j^i) / T_j^i \rangle, \quad j \in H, \quad i \in G.$$

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

Понятие степени нечеткого включения ситуации базируется на определении степени включения нечетких множеств. Пусть

$$\tilde{s}_i = \{ \langle \mu_{s_i}(y) / y \rangle, \quad y \in Y (i, j \in K = \{1, 2, \dots, N\}, i \neq j)$$

есть некоторые ситуации. Степень включения ситуации \tilde{s}_i в ситуацию \tilde{s}_j обозначается $\nu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j)$ и определяется выражением:

$$\nu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \&_{y_p \in Y} \nu(\mu_{s_i}(y_p), \mu_{s_j}(y_p)).$$

Величина $\nu(\mu_{s_i}(y_p), \mu_{s_j}(y_p))$ является степенью включения нечеткого множества $\mu_{s_i}(y_p)$ в нечеткое множество $\mu_{s_j}(y_p)$ и определяется по формуле:

$$\nu(\mu_{s_i}(y_p), \mu_{s_j}(y_p)) = \&_{T_k^p \in T_p} \nu(\mu_{\mu_{s_i}(y_p)}(T_k^p) \Rightarrow \mu_{\mu_{s_j}(y_p)}(T_k^p)).$$

Для ограничения возможных вариантов альтернатив, возникающих при диагностике ХТП, считается, что ситуация \tilde{s}_i нечетко включается в \tilde{s}_j , $\tilde{s}_i \in \tilde{s}_j$, 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 $\nu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \geq t_{inc}$.

Если множество текущих ситуаций S содержит такие ситуации \tilde{s}_i и $\tilde{s}_j (i, j \in K = \{1, 2, \dots, N\}, i \neq j)$, что \tilde{s}_i нечетко включается в \tilde{s}_j , а \tilde{s}_j нечетко включается в \tilde{s}_i , то ситуации \tilde{s}_i и \tilde{s}_j нужно воспринимать как одну ситуацию. Такое сходство ситуаций называется нечетким равенством, при этом степень нечеткого равенства равна:

$$\mu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) = \nu(\tilde{s}_i, \tilde{s}_j) \& \nu(\tilde{s}_j, \tilde{s}_i).$$

Множество типовых ситуаций $\tilde{S}_s = \{ \tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_n \}$ может использоваться при идентификации входной ситуации \tilde{s}^* посредством сравнения ее с ситуациями из S на нечеткое равенство.

Для определения индекса безопасности ХТП в качестве типовой нечеткой ситуации необходимо определить нечеткую ситуацию, которая характеризует центр 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: $ln(\tilde{s}^*)_{\tilde{s}_0} = \nu(\tilde{s}^*, \tilde{s}_0) \& \nu(\tilde{s}_0, \tilde{s}^*)$ и покажет величину, определенную как индекс безопасности ХТП.

Область безопасного функционирования. После определения центра безопасности для технологического процесса можно построить область его безопасного функционирования, которая является наиболее предпочтительной областью ведения ТП с точки зрения безопасности.

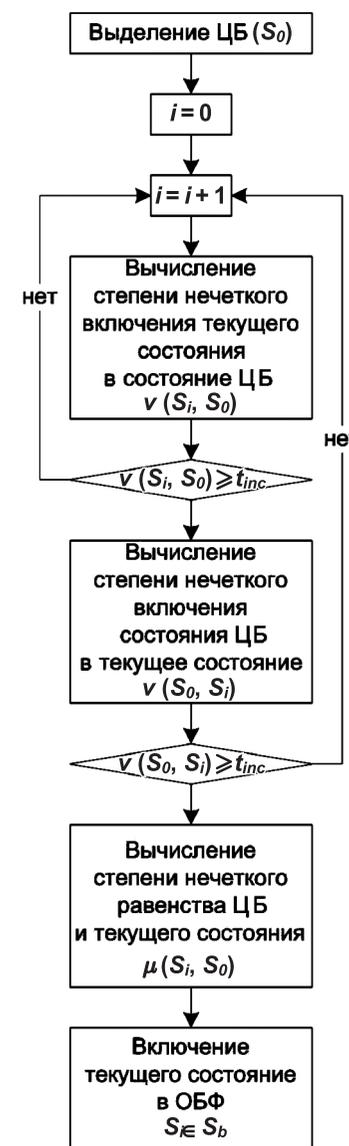


Рис. 3. Блок-схема выделения ЦБ

Пусть для объекта диагностики определен центр безопасности — наиболее предпочтительное состояние ведения ТП с точки зрения 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. Тогда, при помощи экспертного опроса, на основе разработанных алгоритмов, может быть построен набор нечетких типовых состояний ХТП $s_i \in S$, ($i \in 1, 2, \dots, N$).

В этом случае, из множества нечетких типовых состояний ХТП можно выделить некоторое подмножество состояний $s_{bj}^{\sim} \in S^{\sim}$, где состояния s_{bj}^{\sim} ($j \in 1, 2, \dots, K$) являются безопасными с точки зрения функционирования ХТП, но не совпадают полностью с центром безопасности. Существование таких состояний обусловлено тем, что они могут иметь отклонения от центра безопасности по некоторым значениям технологических параметров, причем, отклонения по этим параметрам могут быть незначительными (т.е. в пределах значения порога нечеткого включения состояний $t_{inc} \in [0,6; 1]$). Множество всех состояний ХТП, удовлетворяющих этому условию будет представлять собой область безопасного функционирования. 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 $\mu_{R^i}^{i,\tilde{a}}(t_j^i) \geq t_{inc}$, где $\mu_{R^i}^{i,\tilde{a}}(t_j^i)$ — степень недоминируемости параметра i состояния j [3, 4].

Для нахождения состояний, удовлетворяющих описанным выше условиям необходимо провести следующие действия:

1. Выявить набор параметров и интервалов, по которым оценивается центр безопасности для диагностируемого объекта и рассчитать значения степеней принадлежности этих интервалов соответствующим лингвистическим переменным для каждого из параметров.
3. Вычислить значения степеней нечеткого включения интервалов технологических параметров текущего состояния в центр безопасности и, наоборот, значения степеней нечеткого включения интервалов технологических параметров центра безопасности в текущее состояние.
5. Рассчитать значение степени нечеткого равенства текущего состояния и центра безопасности на основе степеней включения, полученных на предыдущем шаге.
6. Включить состояния, степень нечеткого равенства которых будет удовлетворять заданному условию ($t_{inc} \in [0, 6; 1]$), в область безопасного функционирования диагностируемого объекта.

В общем виде описанная выше методика нахождения ОБФ представлена на рис. 3.

На основе описанной выше методики была разработана система диагностики состояний технологического процесса в условиях неопределенности исходных данных [8, 9].

Литература

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
2. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Построение модели управления технологической безопасностью на основе бинарных отношений // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2004. Вып. IV. С. 64–73.
3. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Алгоритм определения центра безопасности для оценки состояния технологического процесса // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2005. Вып. V. С. 68–72.
4. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. К вопросу определения центра безопасности технологического процесса. Проблемы управления безопасностью сложных систем: // Труды тринадцатой международной конференции. Москва, декабрь 2005 г. / Под. ред. Н. И. Архиповой и В. В. Кульбы. М.: РГГУ, 2005. С. 300–305.
5. Вицентий А. В. Алгоритмы оценки состояний в задачах управления технологической безопасностью // Вицентий А. В., Охота С. В., Датьев И. О., Богатиков В. Н. Управление безопасностью природно-промышленных систем. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2003. Выпуск IV. С. 55–61.
6. Тоичкин Н. А. Модель управления технологической безопасностью промышленных процессов // Управление безопасностью природно-промышленных систем. Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2004. Вып. V. С. 13–17.
7. Тоичкин Н. А., Мартыненко И. Б. Метод оценки безопасности технологических процессов на основе индекса безопасности // Труды Новомосковского института Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева. Серия: Кибернетика, Автоматизация, Математика, Информатизация. Новомосковск, 2004. С. 244–247.
8. Вицентий А. В. Разработка метода оценки состояний технологических процессов и систем на основе нечетко определенных моделей. XIV-я Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Сборник трудов. М.: ИПУ, 2006. С. 477–479.
9. Вицентий А. В. Использование нечетко определенных ситуаций для оценки состояния потенциально опасных технологических процессов и систем // Комплексность использования минерально-сырьевых ресурсов — основа повышения экологической безопасности региона. Сборник материалов II школы молодых ученых и специалистов (24–26 ноября 2004). 2004. С. 5–10.