

БОГАТИКОВ Валерий Николаевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН (г. Апатиты),

ТОИЧКИН Николай Александрович – аспирант Кольского филиала Петрозаводского государственного университета (г. Апатиты).

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЙ

Одним из важнейших направлений организации промышленного производства является обеспечение безопасности технологических процессов (ТП). В данной работе решение этой проблемы рассматривается с точки зрения создания информационной системы промышленной безопасности, где под технологической безопасностью понимается теоретико-множественное определение, предложенное в статье [1].

Современные информационные системы (ИС) технологической безопасности (ТБ) являются сложными иерархически организованными человеко-машинными системами, в которых можно выделить подсистему оценки состояний технологии и организационно-технологическую подсистему управления безопасностью. Одной из основных задач таких систем является своевременное обнаружение опасностей, которые приводят к внештатным ситуациям, причем, для их выявления еще на ранней стадии развития необходима количественная оценка технологической безопасности.

Методологические принципы построения системы диагностики состояний и управления технологической безопасностью, рассматриваемые в работе, опираются на дискретные математические модели, позволяющие прогнозировать выход ТП из области работоспособных состояний [2]. Причем, основная задача - это разработка методики количественной оценки безопасности, для решения которой применяется математический аппарат теории нечетких множеств [3,4].

Центр технологической безопасности

Функционирование любого ТП можно рассматривать как последовательность смены состояний на некотором интервале времени (t_0, t_k). Состояние ТП в каждый момент времени $t \in (t_0, t_k)$ характеризуется набором параметров: $Y = \{T_i, K_j, U_l\}$, где:

$\{T_i, i=1 \dots I\}$ – 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 ТП 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 ТП во внештатную ситуацию. Таким образом, эти ограничения разделяют пространство всех состояний, в которых может находиться ТП на два множества: множество опасных состояний и множество безопасных (работоспособных) состояний. Во множестве безопасных состояний наибольший интерес представляет область или точка, в которой функционирование ТП является наиболее безопасным – область центра технологической безопасности.

Рассмотрим методику определения центра безопасности (рис.1). Данная методика основывается на том, что информация о состояниях ТП, на основе которой принимается решение о выборе центра безопасности (ЦБ), представляется в виде нечеткого отношения предпочтения во множестве альтернатив выбора [5]. Нечеткость позволяет экспертам (операторам, технологам), с помощью которых выявляется данное отношение на множестве возможных состояний ТП, описывать степень своей убежденности в

предпочтениях числами из интервала $[0,1]$. Это является удобной формой представления исходной информации для процесса принятия решений, так как зачастую эксперты не имеют вполне четкого суждения о предпочтениях или их знания не могут быть формализованы в модели в силу чрезмерной сложности.

На первом шаге алгоритма определяется конечное множество альтернатив, на котором строится нечеткое отношение предпочтения. Для этого для каждого из технологических параметров в области его существования выделяются интервалы – диапазоны значений параметров, которые характеризуют определенные режимы работы технологии, то есть соответствуют определенным состояниям ТП. Таким образом, получаем ограниченное множество непересекающихся интервалов $\{X^{Tp_{kp}}\}$, 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 $\mu_R(x_1, x_2)$. Эта 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 ”. Далее, используя знания экспертов, проводится попарно нечеткое сравнение на множестве интервалов значений параметра с целью выявления между ними степени принадлежности к заданному отношению. Пару $(X, R(\mu_R))$ назовем моделью выбора наиболее безопасных интервалов технологических параметров.

Для того чтобы выделить те состояния, которые считаются недоминируемыми, выделим соответствующее отношению предпочтения R отношению строгого предпочтения R^D . Это отношение содержательно формулируется следующим образом: $(x_1, x_2) \in R^D$ в том случае, если интервал x_1 строго безопаснее интервала x_2 . Отношение строгого предпочтения получаем как разность отношения нестрогого предпочтения R и обратного к нему отношения R^{-1} , таким образом, функция принадлежности отношения R^D вычисляется через разность нечетких множеств [3].



Рис. 1. Обобщенная структура алгоритма определения центра безопасности

Далее выделяется нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив $X_R^{N.D.}$ в модели выбора $(X, R(\mu_R))$. Функция принадлежности этого множества показывает степень недоминируемости альтернативы x для любой альтернативы из X . Чем больше степень принадлежности альтернативы x нечеткому подмножеству недоминируемых альтернатив, тем более предпочтительной является данная альтернатива в заданной модели выбора. Далее из полученного подмножества $X_R^{N.D.}$ выделяется интервал, имеющий максимальную степень недоминируемости. Полученный интервал t^i_0 является наиболее предпочтительным для данного параметра с точки зрения безопасности.

Проделав эту процедуру для всех технологических параметров процесса, получим набор интервалов, которые характеризуют состояние области центра безопасности: $S_0 = \{t^1_0, t^2_0, \dots, t^n_0\}$, t^i_0 – центр безопасности для i -го параметра.

Выделение центра технологической безопасности позволяет численно определять смещение рабочей точки процесса от центра безопасности. В процессе работы ТП в

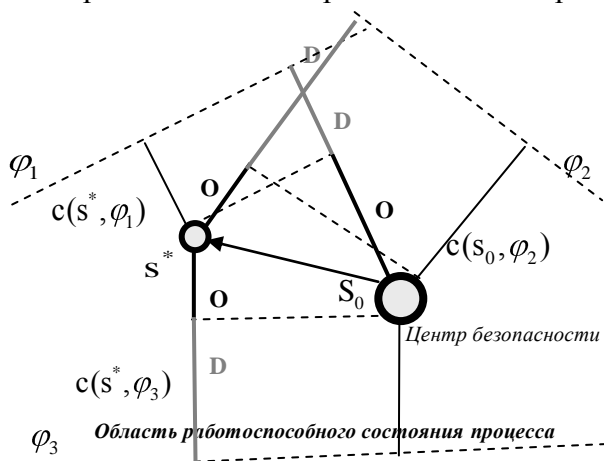


Рис. 2. Индекс безопасности

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_0 (рис. 2.), покажет степень безопасности для данного состояния ТП.

Индекс безопасности

Пусть $T = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ – множество технологических параметров, которыми описывается некоторое состояние ТП. Набор значений параметров, описывающих такое состояние в некоторый момент времени, назовем ситуацией. Множество всевозможных ситуаций, возникающих в результате функционирования ТП, может использоваться для формирования «решающей таблицы», 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 ТП. 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 ТП лингвистическую переменную $\langle \beta_i, E_i, D_i \rangle$, где:

- β_i - название лингвистической переменной;
- $E_i = \{E^1_i, E^2_i, \dots, E^{M_i}_i\}$ - терм-множество лингвистической переменной β_i ;
- D_i - базовое множество лингвистической переменной β_i ;

Каждому элементу терм-множества E_i ставится в соответствие своя функция принадлежности (рис. 3).

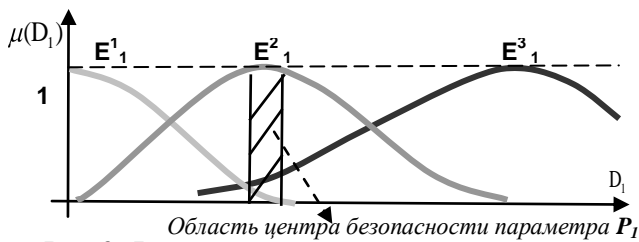


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистической переменной $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$

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. То есть нечеткой ситуацией является множество, состоящее из лингвистических переменных, представляющих параметры ТП. Например, возможна следующая нечеткая ситуация, возникшая в процессе функционирования некоторого типового ТП:

$\{ \langle 0,8 \rangle \text{ "Хорошая"} \rangle, \langle 0,18 \rangle \text{ "Плохая"} \rangle, / \text{ "Концентрация раствора на входе в аппарат"} \rangle, \langle 0,7 \rangle \text{ "Хорошая"} \rangle, \langle 0,25 \rangle \text{ "Плохая"} \rangle, / \text{ "Концентрация раствора на выходе из аппарата"} \rangle, \langle 0,9 \rangle \text{ "Нормальное"} \rangle, \langle 0,15 \rangle \text{ "Плохое"} \rangle, \langle 0,01 \rangle \text{ "Опасное"} \rangle, / \text{ "Давление пара на входе в аппарат"} \rangle, \dots \}$.

В работе [6] показано, что 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. Эти понятия базируются на определении степени нечеткого включения и степени нечеткого равенства нечетких множеств [6]. Две ситуации являются нечетко равными, если они нечетко включаются друг в друга со степенью принадлежности большей 0,5.

Для целей определения индекса безопасности в качестве типовой достаточно иметь одну нечеткую ситуацию, которая характеризует центр технологической безопасности. Обозначим эту ситуацию \tilde{s}_0 .

Для определения индекса безопасности необходимо сравнить на нечеткое равенство нечеткую ситуацию текущего состояния процесса \tilde{s}^* с типовой нечеткой ситуацией, характеризующей центр безопасности \tilde{s}_0 . Степень нечеткого равенства покажет индекс безопасности данного процесса — $In(\tilde{s}^*)_{\tilde{s}_0}$.

Качественная модель развития опасностей

Рассмотрим методику качественного анализа развития опасностей, используемую для поиска и идентификации первичной неисправности: технологии, оборудования, систем управления.

Первоначально построим нечеткое бинарное отношение порождения опасностей на множестве опасностей $O = \{o_i\}$, где o_i — i -я опасность возникновения внештатной ситуации для данного ТП. Это отношение

обозначается через \tilde{R}_1 и интерпретируется следующим образом: "опасность o_i порождает опасность o_j " со степенью принадлежности $\mu_{\tilde{R}_1}(o_i, o_j)$. Данное

отношение задается на множестве опасностей с помощью экспертного опроса и представляется в виде нечеткого графа развития опасностей \tilde{G}_{R_1} , в котором вес дуги, направленной от o_i к o_j , равен

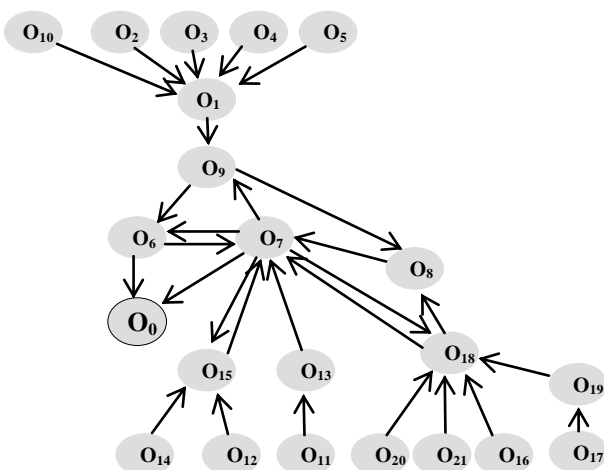


Рис. 4. Фрагмент нечеткого графа развития опасностей для МВУ

$\mu_{R_1}(o_i, o_j)$. На рисунке (4) приводится пример такого графа для типового ТП. В качестве внештатной ситуации выступает опасность O_0 – «Нарушение работы аппарата». Остальные опасности, например, O_1 – «Неисправность регулятора расхода пара»; O_2 – «Неисправность датчика расхода пара» и т.д., являются возможными причинами возникновения нарушения O_0 .

Далее проводится анализ и преобразование нечеткого графа развития опасностей, целью которого является выделение в нем иерархической структуры, позволяющей проводить процедуру диагностирования внештатных ситуаций на множестве опасностей.

Для построения, иерархической диаграммы диагностирования, $D_{\tilde{G}_{R_1}}$ в графе развития опасностей \tilde{G}_{R_1} убираются транзитивно замыкающие дуги и вершины графа \tilde{G}_{R_1} разностятся по уровням.

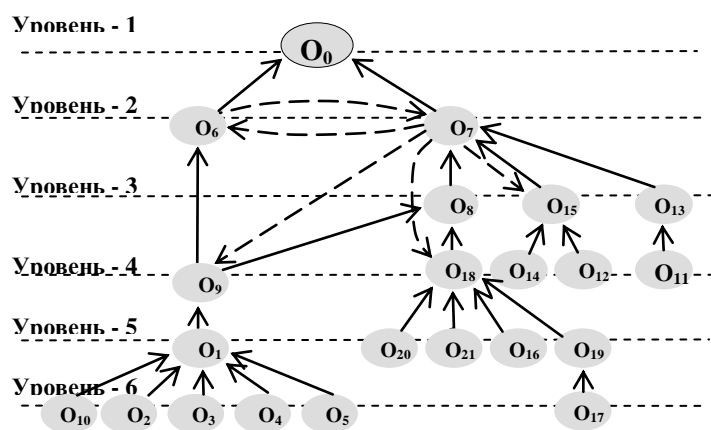


Рис. 5. Иерархическая диаграмма диагностирования внештатных ситуаций

При этом на верхнем, первом уровне иерархии располагаются вершины, из которых не выходит ни одной дуги. На втором уровне иерархии располагаются вершины, из которых выходят дуги, инцидентные только вершинам первого уровня. На некотором i -м уровне иерархии ($i \leq n$) располагаются вершины, из которых выходят дуги, инцидентные вершинам, расположенным на уровнях с первого по i -й (рис.5).

На диаграмме также отображаются циклические связи между опасностями, которые показывают взаимовлияние опасностей друг на друга, непосредственно или через цепочку опасностей. Эти связи не оказывают существенного влияния на дальнейшую процедуру определения первопричины внештатной ситуации, так как главной целью является достижение терминальных узлов диаграммы $D_{\tilde{G}_{R_1}}$, то есть тех узлов, из которых не исходит дуг и проверка условий работоспособности или наличия неисправностей. И поэтому мы можем исключить циклические связи из диаграммы $D_{\tilde{G}_{R_1}}$, что не повлияет на изменение пространства поиска возможных нарушений. В итоге получаем иерархическую древовидную диаграмму, показывающую возможные сценарии развития внештатных ситуаций $Scen = \{Sc_i\}$.

Каждый сценарий представляет собой множество переходов (дуг) из o_i в o_j , где каждой дуге приписана функция принадлежности, показывающая степень влияния одной опасности на другую. Возьмем для некоторого сценария среднее значение всех функций принадлежности, входящих в него дуг. В результате для некоторого сценария развития опасности получим величину, характеризующую степень его возможности, что позволит ранжировать множество сценариев в процессе процедуры диагностирования.

Алгоритм технической диагностики состояний и управления технологической безопасностью

Алгоритм диагностики включает три уровня (рис.6). На первом шаге производим определение состояний по дискретным моделям [2], которые дают возможность прогнозировать поведения процесса, и определять область, в которой процесс будет находиться через некоторое время. Если дискретная модель показывает, что процесс попадает в область нормального функционирования, тогда в этом случае решается задача

управления обычным режимом. Если дискретная модель показывает, что возможны нарушения, то проводится определение индекса безопасности для технологического процесса, систем управления и оборудования. Вычисленный индекс безопасности дает указание о направлении проведения диагностических мероприятий, поиска первичной неисправности.

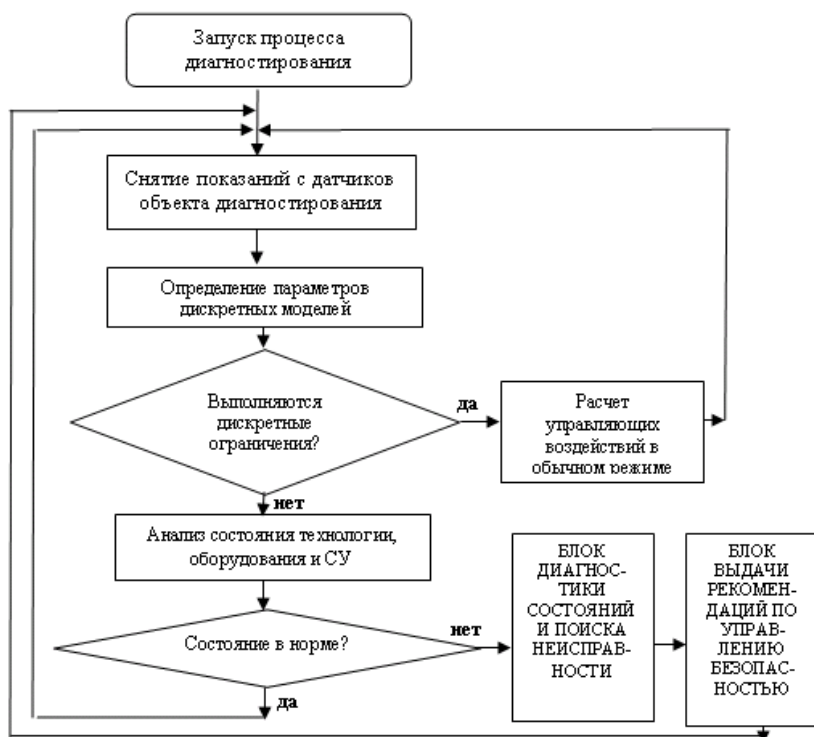


Рис. 4. Обобщенная структура алгоритма технической диагностики состояний и управления технологической безопасностью

Заключение

В представленной работе рассмотрена методика создания информационной системы безопасности технологических процессов с использованием индекса безопасности.

Предложено понятие области центра технологической безопасности и разработан алгоритм поиска центра безопасности путем выбора наиболее безопасных интервалов функционирования технологических параметров на основе нечетких бинарных отношений предпочтения. Разработан метод количественной оценки безопасности на основе индекса безопасности, показывающего смещение рабочей точки процесса от области центра технологической безопасности.

Использование выше описанной системы позволяет разрабатывать комплекс мероприятий, нацеленных на управление безопасностью промышленных технологий и, соответственно, на снижение потерь и повышение эффективности работы обслуживающего персонала за счет улучшения состояния работоспособности и прогнозирования отказов технологии, оборудования и систем управления.

Литература:

1. В. Богатиков, А. Вицентий, С. Охота, Б. Палюх. Проектирование информационного обеспечения задач управления безопасностью технологических процессов// Информационные ресурсы России. - 2004. - №3. - С 5 – 8.
2. Богатиков В. Н. Диагностика состояний и управление технологической безопасностью непрерывных химико-технологических процессов на основе дискретных моделей. Дис. докт. техн. наук: 05.13.07. – Апатиты, 2002. – 337 с.
3. Кофман Ф. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 433с.

4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
5. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. - М.: Наука, 1981. - 208 с.
6. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.