

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



6
2007

<http://www.mashin.ru>

регрессии аналогичны первому эксперименту.

В результате получены следующие коэффициенты регрессии:

0	135,2405701	2	0,92669
1	-6,14825	3	0,6247.

Уравнение регрессии имеет вид

$$y = 135,24 - 6,15x_1 + 0,93x_2 + 0,63x_3,$$

где x_2 — смещение адресователя в плоскости, перпендикулярной его перемещению.

Модель обеспечивает точность аппроксимации не хуже 5 %. Анализ коэффициентов эластичности ($\Theta = 0,14$, $\Theta = 0,06$, $\Theta = 0,72$) позволяет сделать вывод о наибольшем влиянии на расстояние записи информации массы магнита. При уменьшении этого параметра на 1 % расстояние увеличивается на 0,72 %.

Анализируя проведенные эксперименты, можно сказать, что наиболее существенно влияют на характеристику устройств записи информации с поворотными магнитами параметры магнита адресоносителя.

Проведенные теоретические и эксперимен-

тальные исследования легли в основу разработки и изготовления принципиально новых конструкций устройств записи информации. В табл. 3 приведены основные технические характеристики разработанных устройств в сравнении с одним из лучших зарубежных аналогов, изготовленным фирмой «Сименс» (Германия).

Таким образом, разработанные устройства обладают относительно низким энергопотреблением при записи информации, малыми габаритами блока записи и позволяют значительно увеличить зазор взаимодействия адресоносителя с адресователем и считывателем информации.

Список литературы

1. Антонец И.В. Модульный принцип построения транспортно-складских систем. Пенза: ПГТУ, 1996.
2. А. с. 609694 (СССР), И.В. Антонец, Н.П. Овчинников. Устройство для записи информации. 1978. № 14.
3. А. с. 821345 (СССР), И.В. Антонец, Э.Е. Васин, Е.Б. Штернгарц. Устройство для адресации грузов. 1981. № 14.
4. А. с. 923934 (СССР), И. В. Антонец, Э.Е. Васин. Устройство для записи информации преимущественно для конвейеров. 1982. № 16.

УДК 66.096.2.001.57

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Л.А.Русинов, И.В. Рудакова, В.В. Куркина

Рассмотрены критерии обнаружения нештатных ситуаций в системах диагностики и оперативного управления технологическими процессами, представляющих собой экспертные системы реального времени на базе продукционных или фреймово-продукционных моделей с нечеткими правилами. Показана целесообразность использования критерия, реализующего скалярное произведение векторов, и критерия на основе евклидова расстояния между векторами, отображающими текущую и зафиксированную в правиле ситуации.

Потенциально опасные процессы в химической промышленности характеризуются большим количеством нештатных ситуаций, которые, если их не обнаружить и устранить своевременно, развиваются в аварийные ситуации и вызывают срабатывание систем защиты. Это обычно приводит к останову технологического процесса, сбросу

реакционной массы и, соответственно, к большим материальным потерям. Поэтому важно обнаружить и идентифицировать нештатные ситуации на ранних стадиях их развития, что позволит управлять процессом в этих условиях и вернуть его в регламентный режим. Для этой цели используются интеллектуальные системы (ИС) [1], так как большинство потенциально опасных процессов не имеют адекватных математических описаний, которые можно было бы использовать в системе оперативного управления процессом в режиме реального времени. Более того, для этих процессов, как правило, характерно наличие нечеткой и неточной информации. Диагностические показатели (симптомы), по которым система управления может определить наличие нештатных ситуаций и идентифицировать их, часто нельзя измерить в реальном времени. Иногда диагностические показатели может оценить только оператор, что должно учитываться при выборе стратегии диагностики состояния процесса. В этих случаях мониторинг процесса и обнаружение нештатных ситуаций проводятся по ограниченной совокупности диагностических показателей (симптомов), а идентификация обнаруженной ситуации, выяснение причин, ее вызвавших, и их устранение (реализация оперативного управления) —

по полному набору симптомов. При этом диагностика состояния процесса в большинстве случаев осуществляется на основе продукционных или фреймово-продукционных диагностических моделей (ДМ) [2 – 4], а система оперативного управления фактически представляет собой экспертную систему реального времени.

Важным моментом, влияющим на качество работы системы, является механизм раннего обнаружения нештатных ситуаций. Это осуществляется оценкой степени близости текущей ситуации и ситуаций, декларированных в правилах ДМ с помощью различных критериев.

Для формализации нечеткости при обнаружении и распознавании ситуаций используется аппарат нечеткой логики, т.е. ДМ представляет собой совокупность взвешенных нечетких продукционных правил [5]. Варьирование весовыми коэффициентами предусловий в левых частях правил усиливает влияние основных условий относительно второстепенных (применительно к каждой конкретной ситуации). Однако необходимо ввести некоторые статические или динамические пороговые значения предусловий как отправные точки запуска алгоритмов поиска решений.

Ситуация представляется нечетким множеством $A(s_i)$, являющимся подмножеством универсального множества S , включающего в качестве элементов все возможные условия s_i ($s_i \in S$), степени проявления которых в данной ситуации (функции принадлежности $\mu_A(s_i)$)

входят в левые части базы правил в ДМ. Тогда ситуация для каждого продукционного правила будет описываться в ДМ вектором $S^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$, элементы которого $s_j^* = \mu_A(s_j)$ отражают, по мнению экспертов, «идеальное» для данного нарушения проявление симптомов. Наблюдаемая текущая (реальная) ситуация описывается вектором $S_m = (s_1, s_2, \dots, s_n)$, образованным наблюдаемыми значениями симптомов $s_j = \mu_A(s_j)$. При выполнении всех предусловий в левой части правила (наличии на объекте всех симптомов, определяющих данную ситуацию и учитываемых правилом) правило срабатывает. Это означает, что ситуация, описываемая правилом, имеет место, и тогда должно быть реализовано управление, содержащееся в правой части этого правила. Часто на практике соответствие векторов S^* и S неполное и можно говорить о некоторой степени уверенности в выводе $CF(A) \leq 1$.

Предложено достаточно много критериев для определения степени близости текущей и декларированной в правиле ситуаций (рис.1) [1, 4, 5]. Поэтому важно оценить их возможности для раннего обнаружения нештатной ситуации, так как выбор критерия существенно влияет на качество работы системы.

Для использования критериев близости ситуаций, приведенных на рис.1, необходимо учитывать, как определялись значения элементов векторов ситуаций S . Выделим следующие случаи оценки $\mu_A(s_i)$ при представлении нечеткой информации в правилах:



Рис. 1. Классификация критериев оценок степени близости ситуаций

1. Представление коэффициентами уверенности в соответствии со степенями проявления условия, декларированного в правиле. В этом случае если принять заложенную в правиле величину симптома за значение его функции принадлежности $\mu_A(s_i^*)=1$, то степень уверенности в его истинности в текущей ситуации $CF(A)$ можно принять за степень проявления условия и считать ее равной $\mu_A(s_i)$. Тогда рассматриваемые критерии могут быть применены.

2. Количественно нечеткие значения условий, входящих в левую часть правила, можно рассматривать как лингвистические переменные и представить их нечеткими множествами на некотором универсуме с соответствующими функциями принадлежности. В этом случае ситуация представляется нечетким подмножеством второго уровня [1], а критерии оценки степени эквивалентности ситуаций требуют модификации.

3. Нечеткие значения степеней проявления условий в левых частях правил могут быть представлены интервалами на соответствующих шкалах. Примером такого представления может служить шкала нечетких значений некоторой переменной (параметров технологического процесса, предварительно переведенных в безразмерную форму делением на номинальное значение), представленная в табл.1. Границы интервалов на шкале могут изменяться пользователем.

Анализ критериев (см. рис.1) по сложности получения информации, необходимой для их вычисления, показал, что более просто могут определяться и достаточно четко работают критерий с оценкой степени пересечения и критерии на основе мер расстояния (табл.2). Ниже приводятся результаты исследования качества работы этих критериев при обнаружении нештатных ситуаций на раннем этапе их развития.

Исследование критериев проводилось методом моделирования нештатных ситуаций, возникающих в процессе полимеризации этилена при

производстве полиэтилена высокого давления [3]. Были взяты две ситуации, которые имели несколько одинаковых симптомов, а потому трудны для распознавания (конкурирующие ситуации). Эти ситуации описаны в ДМ следующими правилами:

ситуация S1: Если $T_{ВХ} = \text{«нормальная»}$ & $\Delta P = \text{«высокое»}$ & $T_{ЭД} = \text{«повышенная»}$ & $I_{ЭД} = \text{«повышенный»}$, то причина – *«частичная потеря проходимости на входе вверху реактора»*;

ситуация S2: Если $T_{ВХ} = \text{«нормальная»}$ & $\Delta P = \text{«высокое»}$ & $G_{И} = \text{«пониженный»}$, то причина – *«частичная потеря проходимости на входе в среднюю точку реактора»*,

где $T_{ВХ}$ – температура этилена на входе в реактор; ΔP – перепад давления между выходом компрессора и реактором; $T_{ЭД}$ – температура электродвигателя мешалки; $I_{ЭД}$ – ток в цепи якоря электродвигателя мешалки; $G_{И}$ – расход инициатора.

Оценим значения элементов вектора ситуаций по табл.1. Тогда в правиле эти ситуации можно записать в виде: $S1^* = (0,5/T_{ВХ}; 0,85/\Delta P; 0,75/T_{ЭД}; 0,75/I_{ЭД})$, $S2^* = (0,5/T_{ВХ}; 0,85/P; 0,25/G_{И})$. Симптомы текущей ситуации формируются на основе оперативной информации, поступающей с датчиков. Их значения изменяются по мере развития нештатной ситуации.

Учитывая, что нештатные ситуации развиваются при отклонении от нормального протекания технологического процесса, можно предположить следующее:

приближение к декларированному образу нештатной ситуации S^* осуществляется со стороны нормального состояния процесса S^0 , т.е. $S^0 \rightarrow S^* = \{s_j^*\}$. Если ситуация разовьется до уровня большего зафиксированного в правиле, то значения критериев могут уменьшиться. Для предотвращения этого необходимо ввести следующие ограничения на степени проявления симптомов в критериях:

Таблица 1

Шкала для количественного представления нечеткости

Нечеткое значение	Интервал	Нечеткое значение	Интервал
Очень высокое	0,9 – 1	Немного пониженное	0,3 – 0,44
Высокое	0,8 – 0,89	Пониженное	0,2 – 0,29
Повышенное	0,7 – 0,79	Низкое	0,1 – 0,19
Немного повышенное	0,55 – 0,69	Очень низкое	0 – 0,09
Нормальное	0,45 – 0,54		

Т а б л и ц а 2

Критерии оценки близости ситуаций

Критерии SM	Алгоритмическое описание
Оценка степени пересечения множеств	$SM_1(S, S^*) = \frac{\sum_j \min(s_j, s_j^*)}{\sum_j s_j^*}$
Модифицированный критерий с расстоянием Хемминга	$SM_2(S, S^*) = \frac{1}{1 + d(S, S^*)} - \frac{d(S, S^*)}{2},$ где $d(S, S^*) = \frac{\sum_j w_j \mu_A(s_j) - \mu_A(s_j^*) }{J \sum_j w_j}$; J – число параметров в предусловии правила; w_j – весовые коэффициенты
Модифицированный критерий с евклидовым расстоянием	$SM_3(S, S^*) = \frac{1}{1 + d(S, S^*)} - \frac{d(S, S^*)}{2},$ где $d(S, S^*) = \sqrt{\frac{\sum_j w_j (\mu_A(s_j) - \mu_A(s_j^*))^2}{J \sum_j w_j}}$
Скалярное произведение векторов S и S^*	$SM_4(S, S^*) = \frac{\sum_j (\mu_A(s_j) \mu_A(s_j^*))^{1/w_j}}{\max \left(\sum_j (\mu_A(s_j) \mu_A(s_j))^{1/w_j}, \sum_j (\mu_A(s_j^*) \mu_A(s_j^*))^{1/w_j} \right)}$

$$\mu_S(s_i) = \begin{cases} \mu_S(s_i), & \text{если } \mu_{S^*}(s_i) \leq \mu_S(s_i) \leq \mu_{S^0}(s_i), \\ & \text{или } \mu_{S^*}(s_i) \geq \mu_S(s_i) \geq \mu_{S^0}(s_i) \\ \mu_{S^*}(s_i), & \text{если } \mu_S(s_i) \leq \mu_{S^*}(s_i) \leq \mu_{S^0}(s_i), \\ & \text{или } \mu_S(s_i) \geq \mu_{S^*}(s_i) \geq \mu_{S^0}(s_i). \end{cases}$$

Для уверенного срабатывания правила и снижения ошибок ложных обнаружений требуется, чтобы значение критерия $SM(S, S^*)$ было больше некоторого порога γ ($SM(S, S^*) \geq \gamma$; $1 > \gamma > 0$). Чем меньше порог, тем быстрее будет обнаружена си-

туация, но тем больше вероятность ложных обнаружений. Примем значение порога, например, равным 0,5.

Развитие нештатной ситуации $S1$ было смоделировано вводом линейно нарастающих возмущений в систему с использованием ускоренного масштаба времени. На рис. 2, а представлены результаты изменения рассогласований δ между симптомами развивающейся ситуации $S1$ и декларированного в правиле ее образа $S1^*$ в относительных единицах.

Влияние системы управления на изменение симптомов отражено колебательным переходным процессом по переменной ΔP . Для остальных симптомов, характеризующих ситуацию $S1$,

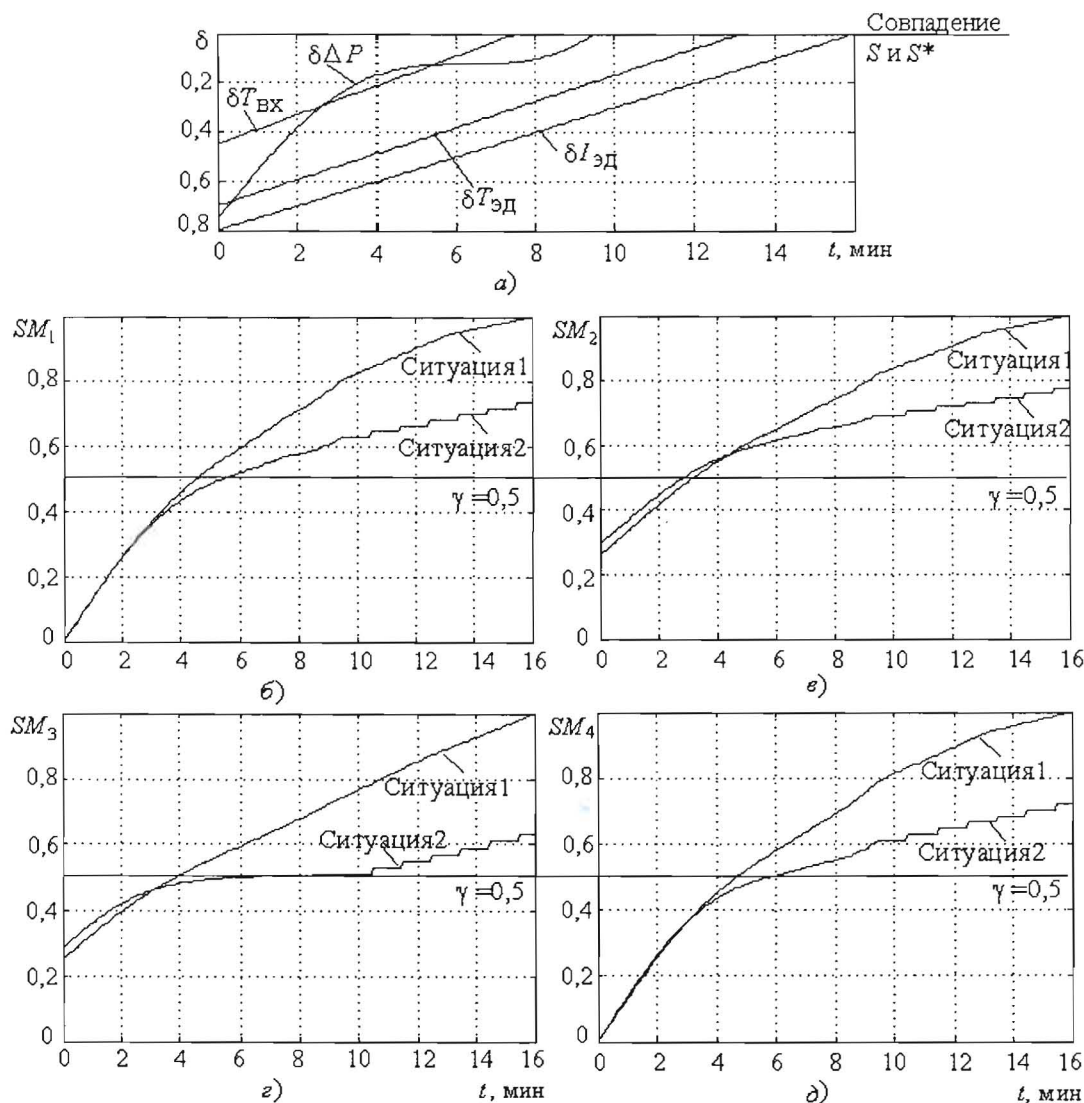


Рис. 2. Результаты работы критериев для обнаружения конкурирующих ситуаций $S1$ и $S2$:

a – изменение симптомов при развитии ситуации $S1$; $б - д$ – результаты обнаружения ситуаций критериями $SM_1 - SM_4$ (см. табл.2).

варьировались скорости и амплитуды возмущений по переменным. Весовые коэффициенты w_j в критериях на первом этапе исследования принимались равными единице ($w_j=1$).

Из графиков результатов работы критериев 1 – 4 (см. табл.2), приведенных на рис. 2, $б - д$, видно, что критерии 1, 4 и 2, 3 попарно имеют близкие результаты, но вторая пара более чувствительна. Однако дифференцирующие свойства критериев 2 и 3 по различению ситуации $S1$ на фоне конкурирующей ситуации $S2$ значительно хуже, чем у критериев 1 и 4. Из рис. 2, $б - д$ видно, что два общих (для ситуаций $S1$ и $S2$) симптома ($T_{ВХ}$ и ΔP), вышедших за граничные значения, существенно влияют на результирующее значение критериев близости для ситуации $S2$. И

хотя отличительный ее симптом G_{II} находится в норме, общее значение критериев таково, что ситуацию $S2$ следует рассматривать как возможную.

Это пример ложного обнаружения. Для уменьшения вероятности ложного обнаружения целесообразно ввести весовые коэффициенты для усиления степени значимости основных симптомов, определяющих данную ситуацию. Далее рассматривались только критерии SM_3 и SM_4 .

Для рассматриваемого примера были приняты следующие множества весовых коэффициентов показателей $W = \{w_j\}$:

для ситуации 1 $W = \{w_1(T_{ЭД}), w_2(I_{ЭД}), w_3(T_{ВХ}), w_4(\Delta P)\} = \{0,8; 1; 0,5; 0,5\}$;

для ситуации 2 $W = \{w_1(G_{II}), w_2(T_{ВХ}), w_3(\Delta P)\} =$

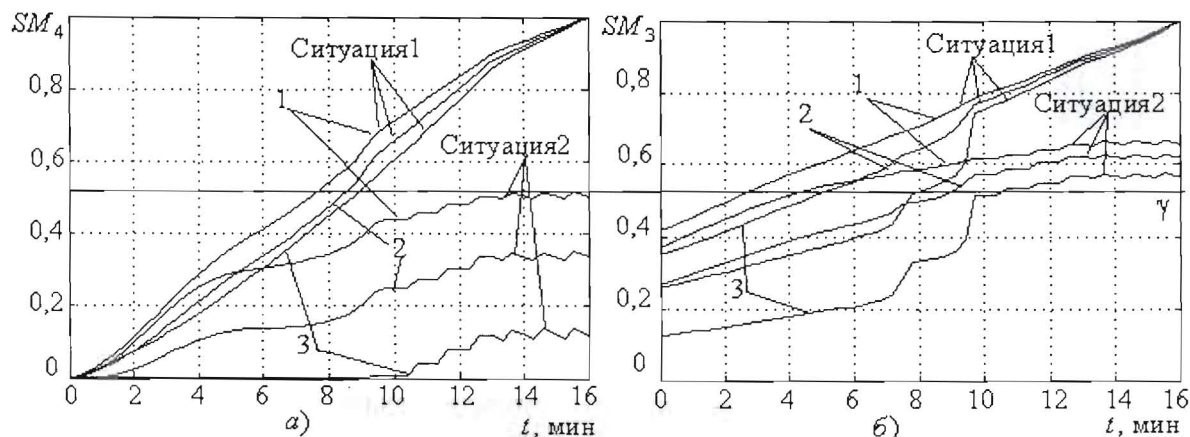


Рис. 3. Работа критериев SM_3 (а) и SM_4 (б) при распознавании ситуаций $S1$ и $S2$ при различных комбинациях весовых коэффициентов основных симптомов (кривые: 1 – $w_2(T_{BX}) = w_3(P) = 0,5$; 2 – $w_2(T_{BX}) = w_3(P) = 0,3$; 3 – $w_2(T_{BX}) = w_3(P) = 0,1$)

{1; 0,5; 0,5}.

При моделировании весовые коэффициенты для основных симптомов варьировались. Результаты моделирования представлены на рис. 3.

Анализ полученных данных показал, что менее чувствительный критерий SM_4 вернее оценивает всю ситуацию. Повышенная чувствительность критерия SM_3 отрицательно сказывается на моментах распознавания конкурирующих ситуаций, поэтому необходимо повысить порог срабатывания правила γ выше 0,5. При этом даже существенное снижение значений весовых коэффициентов у симптомов T_{BX} и ΔP , общих для обеих ситуаций, не влияет на результаты работы критериев.

Расхождение по времени обнаружения ситуации между критериями SM_3 и SM_4 достаточно значительно. Однако преимущество более раннего обнаружения у критерия SM_3 теряется при повышении порога γ для лучшего отсеивания конкурирующих ситуаций. Поэтому в плане практического применения более надежные результаты достигаются при использовании критерия SM_4 . Этот критерий был применен для системы диагностики состояния водно-химического режима атомной энергетической установки [6].

Критерий SM_3 можно использовать при введении иерархической структуры в базу правил, например посредством фреймово-продукционной модели [2, 3]. В этом случае основные показатели будут использоваться для обнаружения факта возникновения макроситуации, включающей группу нештатных ситуаций, имеющих один или несколько общих симптомов. На нижнем уровне модели будут использоваться только отли-

чительные признаки конкретных ситуаций, входящих в макроситуацию, по которым можно распознать конкретную причину текущей ситуации. Этот подход применен для решения задач диагностики и управления технологическими процессами биосинтеза лимонной кислоты и полимеризации этилена при высоком давлении в автоклавном реакторе [3, 7].

Список литературы

1. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. Минск: ТетраСистемс, 1997.
2. Русинов Л.А., Куркина В.В., Панов Г.Д. Диагностика и управление периодическими технологическими процессами на примере биосинтеза лимонной кислоты. *Автоматизация и современные технологии*. 1997. №5.
3. Русинов Л.А., Рудакова И.В. Оперативное управление процессом получения полиэтилена высокого давления. *Автоматизация и современные технологии*. 2003. №7.
4. An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical processes / Y. Qian, X. Li, Y. Jiang, Y. Wen. *Expert Systems with Applications*. 2003. Vol. 24.
5. Yeung D.S., Tsang E.C. Weighted fuzzy production rules. *Fuzzy sets and systems*. 1997. Vol. 88.
6. Крицкий В.Г., Русинов Л.А., Бенуа С.В. Система функциональной диагностики и мониторинга состояния теплоносителя АЭС с реакторами РБМК. *Теплоэнергетика*. 2000. №5.
7. Русинов Л.А., Александрова Н.А., Рашковский П.В. и др. Повышение безопасности процесса получения пероксида водорода на основе диагностики его текущего состояния. *Химическая промышленность*. 2003. №4