

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОИСКА ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ФОРМОВАНИИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

В.С. Домнич, В.А. Иващенко, Д.Ю. Петров

Предложен подход к построению системы автоматизированного поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла флоат-способом на основе причинно-следственных комплексов и продукционной базы знаний.

Ключевые слова: стекольное производство, листовое стекло, флоат-процесс, аварийная ситуация, причинно-следственные комплексы, продукционная база знаний.

ВВЕДЕНИЕ

Трудности полной формализации технологического процесса (ТП) производства листового стекла и идентификации аварийных ситуаций связаны со сложностью физико-химических процессов, многоуровневостью и многосвязностью факторов, влияющих на качество стекла [1, 2]. Задача построения математических моделей для таких процессов осложняется еще и тем, что решения по управлению должны приниматься оперативно, в режиме реального времени.

Среди работ, посвященных управлению ТП с использованием логико-лингвистических моделей, логического управления и экспертных систем, отметим работы [3–7], в которых предложены подходы к построению систем поддержки принятия решений по управлению в нестандартных ситуациях. Однако необходима разработка новых подходов, обеспечивающих оперативный поиск причин аварийных ситуаций и визуализацию причинно-следственных связей, приводящих к возникновению дефектов стекла, для принятия управленческих решений по обеспечению нормального функционирования ТП.

Один из таких подходов, предложенных А.Ф. Резчиковым и В.А. Твердохлебовым, основан на использовании причинно-следственных комплексов (ПСК), образуемых композицией функционально полного набора причинно-следственных звеньев (ПСЗ) [8, 9].

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть $S = S_1 \times \dots \times S_p$ — пространство возможных состояний ТП; $s(t) = (s_1(t), \dots, s_p(t)) \in S$ — вектор состояний ТП, где $t = i \cdot \Delta t$, $i = \overline{1, n}$, Δt — интервал дискретности по времени, $s_j(t)$, $j = \overline{1, p}$, — составляющие вектора, характеризующие ТП: оборудование, исполнители, энергетическое обеспечение и др.; $X = X_1 \times \dots \times X_q$ — пространство возможных внешних воздействий на ТП; $x(t) = (x_1(t), \dots, x_p(t)) \in X$ — вектор внешних воздействий на ТП; $F: S \times X \rightarrow S$ — функция, определяющая динамику ТП: $s(t_{i+1}) = F(s(t_i), x(t_i))$.

Информация об аварии задается в виде частично заполненных векторов (векторов, отдельные компоненты которых могут отсутствовать) состояний $\tilde{s}(t_{j_1}), \dots, \tilde{s}(t_{j_u})$ и внешних воздействий $\tilde{x}(t_{k_1}), \dots, \tilde{x}(t_{k_v})$, где $1 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_u \leq n$, $1 \leq u \leq n$, $1 \leq k_1 < k_2 < \dots < k_v \leq n$, $1 \leq v \leq n$.

Необходимо найти все возможные пары последовательностей $s^{(l)}(t_1), \dots, s^{(l)}(t_n)$ и $x^{(l)}(t_1), \dots, x^{(l)}(t_n)$, $l \in N$, такие, что при каждом l выполняются условия:

- $(\forall w, w = \overline{1, p}) s^{(l)}(t_{j_w})$ согласуется с $\tilde{s}^{(l)}(t_{j_w})$ (соответствующие составляющие векторов неразличимы);
- $(\forall w, w = \overline{1, q}) x^{(l)}(t_{k_w})$ согласуется с $\tilde{x}(t_{k_w})$;

- $(\forall w, w = \overline{1, n-1}) s^{(l)}(t_{w+1}) = F(s^{(l)}(t_w), x^{(l)}(t_w))$.

По данному описанию выявляются причины аварийных ситуаций, определенные компонентами вектора состояний ТП $s^{(l)}(t_1), \dots, x^{(l)}(t_n)$ и $x^{(l)}(t_1), \dots, x^{(l)}(t_n)$, и строятся причинно-следственные связи нарушений ТП, приводящих к аварийным ситуациям, и их последствий. На основе анализа причинно-следственных связей пользователем принимаются оперативные решения по устранению аварийных ситуаций.

2. ОПИСАНИЕ НА ОСНОВЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Процесс формования ленты стекла, заключающийся в придании стекломассе заданных физических характеристик (толщина, ширина, твердость, хрупкость, термостойкость и др.), представляется в виде композиции ПСЗ_k, $k = \overline{1, 4}$ (рис. 1).

Важной частью ПСЗ являются ядра, представляющие совокупность процессов: P_1 — процесс движения стекломассы по сливному лотку ванны расплава, P_2 — процесс движения стекломассы у заднего бруса ванны расплава, P_3 — процесс формирования ленты стекла и P_4 — процесс стабилизации формы ленты стекла, преобразующих причины α_k , обуславливающие эти процессы и условия β_k их протекания соответственно в следствия η_k реализации процессов и условия v_k после их реализации.

Каждому из выделенных процессов ставится в соответствие четверка терминалов $(\alpha_k, \beta_k, \eta_k, v_k)$, характеристиками которых служат классы объектов $o_i, i = i_1, \dots, i_r, r = 28$, описываемых количественными (измеряемыми) и качественными (номинальными) признаками, значениями которых является конечный набор их модальных значений, определяемых из опыта эксплуатации ТП.

Классы объектов позволяют для некоторых взаимодействий ТП сформировать универсальное представление, которое может быть использовано для описания взаимодействия на различных стадиях ТП. Иначе говоря, классы избавляют от необходимости создания дубликатов представления взаимодействий, различающихся лишь обозначениями взаимодействующих объектов.

Известные данные о состоянии конкретного объекта $o_i, i = i_1, \dots, i_r$, представляются в виде множества троек «объект — атрибут — значение»: $\{(o_i, a_{j_{il}}, v_{k_{il}}) | l = \overline{1, m}\}$, где $a_{j_{i1}}, \dots, a_{j_{im}}$ — атрибуты i -го объекта, а $v_{k_{i1}}, \dots, v_{k_{im}}$ — значения этих атрибутов. Для задания значений атрибута $a_{j_{il}}, 1 \leq l \leq m$ объекта o_i используется обозначение $(o_i, a_{j_{il}})$, а для атрибутов $a_{j_{i1}}, \dots, a_{j_{im}}$ объекта o_i — $(o_i; (a_{j_{i1}}, v_{k_{i1}}); (a_{j_{i2}}, v_{k_{i2}}); \dots; (a_{j_{im}}, v_{k_{im}}))$.

Аварийные ситуации, выделенные для ТП формования листового стекла, описываются с помощью 120—140 продукционных правил. Если предположить, что вычислительные операции имеют место при реализации каждого правила и возникающие при этом ошибки арифметически суммируются, то даже в этом случае результирующая ошибка будет несоизмерима с отклонениями параметров, обусловленных регламентом ТП. В общем случае при построении базы знаний (БЗ) эксперты должны оценить возможные отклонения значений параметров не только в каждом правиле, но и в любой последовательности правил, выводимых из него. Если ошибка превышает разность между ближайшими модальными значениями, то необходимо детализировать набор модальных значений параметра, а также условия и заключения правил. Для этого программные средства формирования БЗ дополнены специальным модулем, который анализирует значение ошибки для каждого правила и строит последовательность правил, для которых ошибка превышает допустимую величину.

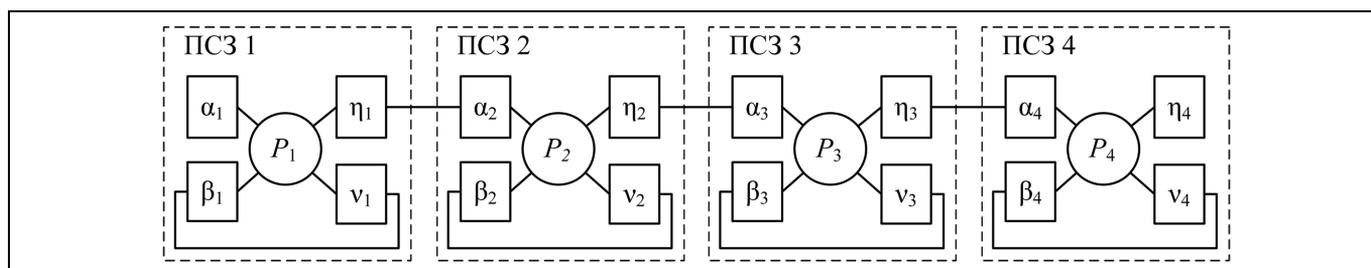


Рис. 1. Структура причинно-следственного комплекса

Оценка сложности построения ПСК определяется числом взаимодействующих атрибутов объектов, входящих в его состав. Поскольку в каждом ПСЗ значение атрибута может измениться не более одного раза, то для изменений состояния терминалов согласно регламенту ТП число правил не должно превышать $n_p = \sum_{i=1}^4 n_i$, где n_1 — число атрибутов, характеризующих стекломассу, n_2 — оборудование, n_3 — энергообеспечение и n_4 — исполнителей. Для отражения нарушений, связанных с отклонением указанных атрибутов от допустимых регламентом ТП границ, потребуется дополнительно $n_n = \sum_{j=1}^m k_{d_j}$ правил, где d_j — дефекты, которые могут возникать на соответствующем звене фрагменте ТП, а k_{d_j} — число вариантов возникновения дефекта d_j . Таким образом, общая оценка сложности составит $n_p + n_n$ правил.

Функционирование ПСК осуществляется на данных, размещенных в рабочей памяти, обновляемой в режиме реального времени. В ней содержится текущая информация, получаемая с помощью средств сбора данных о состоянии объекта диагностирования и с помощью логики, порожденной совокупностью правил, заложенных в БЗ.

Классические способы логического вывода и вывода, заложенного в серийно выпускаемые оболочки экспертных систем [10], не обеспечивают оперативного поиска причин аварийных ситуаций. Поэтому предложен алгоритм поиска, основанный на:

- представлении ТП в виде ПСК;
- прямом выводе по блокам правил, сгруппированных по ПСЗ;
- использовании гипотез для доопределения неизвестных значений атрибутов.

Последовательность реализаций продукционных правил при известных и (или) доопределенных значениях атрибутов ПСЗ определяется однозначно, поэтому не приводит к росту вычислительной сложности. В алгоритме поиска используется механизм согласования ПСЗ, основанный на структуризации БЗ. Согласно этому механизму для каждого ПСЗ строится множество OVP , характеризующее условия сохранения регламентных значений атрибутов. Это множество образуется парами вида $((o_i, a_j), (A_1, \dots, A_m))$, где (o_i, a_j) — атрибут, а A_1, \dots, A_m — множества троек «объект — атрибут — значение», представляющих условия на входе ПСЗ, которые обеспечивают сохранение регламентного значения атрибутом при реализации правил ПСЗ.

Пусть D — множество, описывающее нарушения ТП (отклонения параметров ТП от допустимых по регламенту значений), а DOV — множество, образуемое парами вида $(d_i, \{(D_1, A_1), \dots, (D_k, A_k)\})$, где d_i — нарушение, которое может возникнуть на выходе данного ПСЗ; $D_j, j = \overline{1, k}$ — наборы нарушений на входе ПСЗ, вызывающих нарушение d_i ; $A_j, j = \overline{1, k}$ — условия (в виде регламентных значений атрибутов), обуславливающие появление нарушения d_i при наличии нарушения D_j .

Для каждого нарушения ТП на выходе ПСЗ из множества DOV выбираются пары $(D_j, A_j), j = \overline{1, k}$, определяющие условия его возникновения. Для каждой пары (D_j, A_j) атрибуты на выходе предыдущего ПСЗ доопределяются значениями из множеств D_j и A_j . Далее эта процедура повторяется для предыдущих ПСЗ.

Применение предложенного механизма при известных p нарушениях ТП на выходе ПСЗ позволяет сократить число неопределенных значений атрибутов на входе данного и выходе предыдущего ПСЗ на $rp(U + V)$, где r — коэффициент, характеризующий число идентичных условий на входе ПСЗ для нарушений из множества DOV , U и V — мощности множеств D_j и A_j соответственно. При этом требуется рассмотреть K^p вариантов доопределения значений атрибутов в данном и предыдущем ПСЗ, где K — мощность k элементов множества DOV . В результате для n -го ПСЗ число доопределенных атрибутов на входе составит $r(rU)^{4-n}(U + V)$, а число вариантов их доопределения — $K^{(rU)^{4-n}}$.

При характерных для ТП формования листового стекла $U = 4$, $V = 2$, $K = 4$, $r = 0,5$ для $N = 10$ неизвестных атрибутов с $M = 3$ возможными значениями в n -м ПСЗ количество доопределенных атрибутов составит $3 \cdot 2^{4-n}$, а вариантов их доопределения — $4^{2^{4-n}}$, что потребует для построения $M^{(N - (3 \cdot 2^{4-n}))} 4^{(2^{4-n})}$ вариантов его реализации. При этом один вариант реализации ПСК (проведение прямого логического вывода во всех звеньях ПСК) потребует не более 0,5 мс (процессор AMD Ahtlon X2 6000+), а полученное число вариантов реализации — около 125 с.

3. АЛГОРИТМ ПОИСКА ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ФОРМОВАНИИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Алгоритм поиска, решающий на основе имеющихся знаний и информации о ТП поставленную

задачу, работает на структурированной БЗ, правила которой объединены в блоки, принадлежащие отдельным ПСЗ. Представленные во множестве $\{(o_i, a_j, v_k)\}$ известные значения $v_k, k = k_{i1}, \dots, k_{im}$, атрибутов $a_j, j = j_{i1}, \dots, j_{im}$, объектов $o_i, i = i_1, \dots, i_p$, подставляются в терминалы ПСЗ, в состав которых входят эти объекты. При этом получается

ПСК, в котором ПСЗ e_1, e_2, \dots, e_n имеют частично заполненные терминалы. Представленная в ПСК информация поступает на вход алгоритма (рис. 2).

Работа алгоритма сводится к следующему.

1. Выполняется цикл для каждого ПСЗ $e_p, p = \overline{1, n}$:

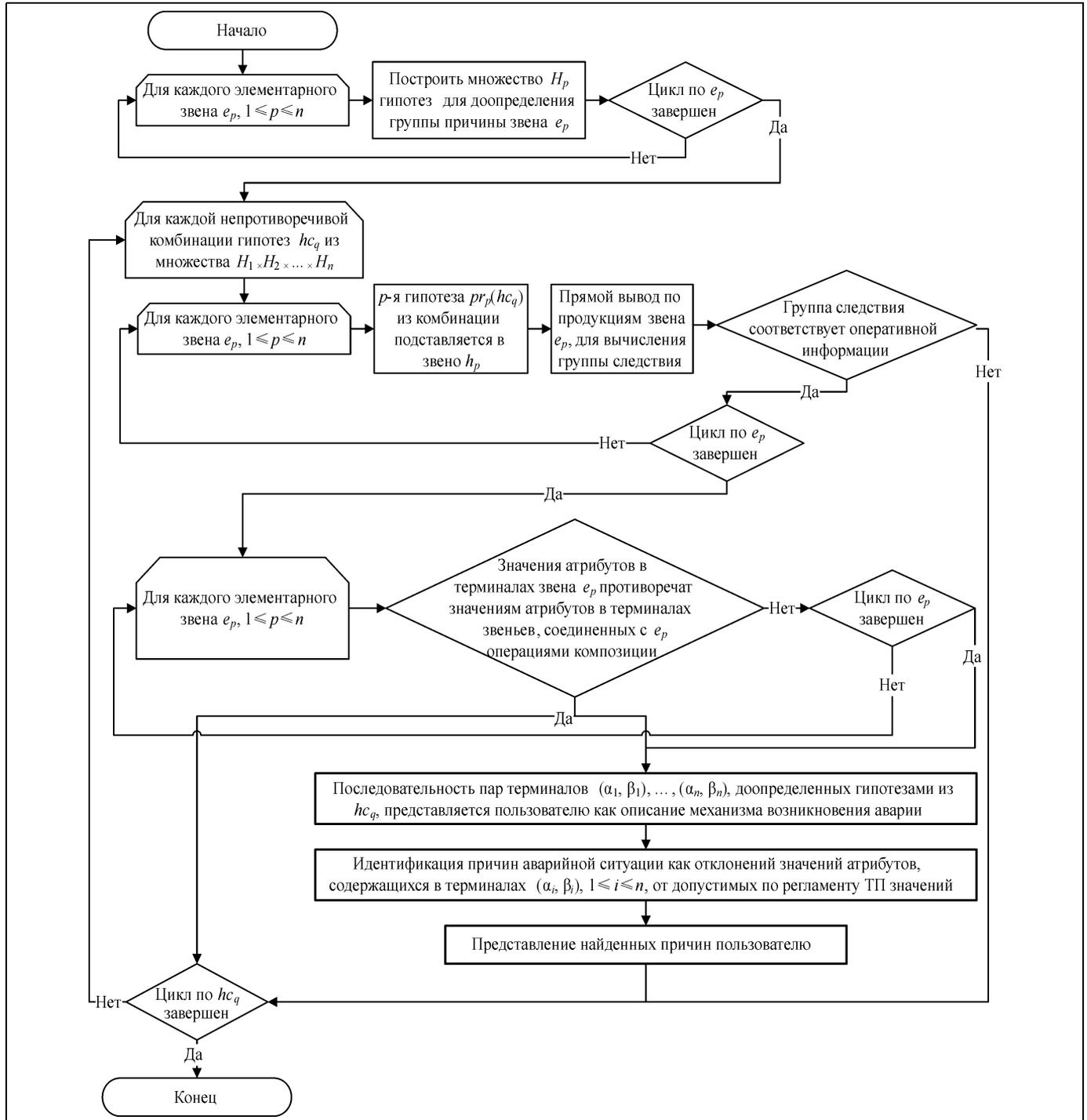


Рис. 2. Схема общего алгоритма поиска причин аварийных ситуаций

1.1. Множество блока продукционных правил ПСЗ разбивается на подмножество правил, истинность условия которых непосредственно следует из значений атрибутов, содержащихся в причине и условии 1 ПСЗ, и на подмножество правил, истинность условия которых не может быть определена.

1.2. Для каждой комбинации продукционных правил из второго подмножества строится множество $\{(o_p, a_{j_{il}}, v_{k_{il}})\}$ значений атрибутов, которыми должны быть доопределены причина и условие 1 ПСЗ, чтобы условия всех правил в комбинации были выполнены. Если это множество не содержит противоречивых значений атрибутов, то оно называется гипотезой и включается во множество H_p гипотез, доопределяющих группу причины ПСЗ r_p .

2. Выполняется цикл для каждой комбинации гипотез $hc_q \in H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n$, принимаемых для ПСЗ e_p , $1 \leq p \leq n$:

2.1. Проверяется, является ли комбинация гипотез противоречивой. Если да, то переход к следующей комбинации гипотез.

2.2. Значения атрибутов, содержащихся в гипотезах, подставляются в терминалы причины и условия 1, соответствующих ПСЗ.

2.3. Для каждого ПСЗ выполняется цикл (прямой вывод по блоку продукционных правил ПСЗ):

2.3.1. Полагается, что множество значений атрибутов, представленных в причине и условии 1 ПСЗ, отражает текущее состояние ТП, определяемое данными рабочей памяти.

2.3.2. Выбирается множество из блока продукционных правил ПСЗ, условия которых выполнены при текущем состоянии ТП и которые не были реализованы.

2.3.3. Если выбранное множество продукционных правил пусто, то значения атрибутов, характеризующих текущее состояние ТП, помещаются в терминалы следствия и условия 2 ПСЗ. Выход из цикла.

2.3.4. Продукционные правила из выбранного множества реализуются, изменяя текущее состояние ТП, определяемое новым множеством значений атрибутов. Это состояние полагается текущим состоянием ТП. Переход к п. 2.3.2.

2.4. Для каждого ПСЗ выполняется цикл: полученные на предыдущем шаге значения следствия и условия 2 сравниваются с текущей информацией и другими терминалами, отождествленными с ними. Если вычисленные в следствии и условии 2 значения атрибутов противоречат текущим значениям атрибутов или информации, содержащейся в других терминалах, то текущая комбинация гипотез отклоняется и цикл завершается.

2.5. Если комбинация гипотез не отклонена, то последовательность терминалов $(\alpha_1, \beta_1), \dots, (\alpha_p, \beta_p)$ представляется пользователю как один из вариантов описания механизма возникновения аварийной ситуации. В данной последовательности выделяются и отображаются причины аварийной ситуации — значения атрибутов из доопределенных терминалов $\alpha_p, \beta_p, i = \overline{1, p}$, выходящие за предусмотренные регламентом ТП границы.

Пример работы алгоритма применительно к поиску причин конкретного дефекта см. в Приложении.

Предлагаемый алгоритм реализуется в программно-информационном комплексе, который предоставляет пользователю интерфейс для ввода информации об аварии, интерфейс, отображающий результаты поиска причин аварий, в автоматическом режиме получает информацию из БЗ, содержащей измеряемые в ходе производства значения параметров ТП. При возникновении аварийной ситуации данные о состоянии ТП поступают через интерфейс программно-информационного комплекса на вход ПСК и осуществляется поиск причин аварийных ситуаций.

Предложенный подход к построению системы автоматизированного поиска причин аварийных ситуаций реализован для стекольных предприятий. Базовым объектом выбран ТП формирования ленты стекла ОАО «Саратовстройстекло».

Проведены исследования по тестированию предложенного алгоритма для различных сочетаний значений атрибутов объектов, варьировемых в пределах, допустимых регламентом ТП. Полученные результаты показали, что алгоритм обеспечивает идентификацию всех выделенных причин аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причинно-следственные комплексы открывают новые возможности для системного анализа, унификации систем автоматизированного поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла и представлении пользователю в наглядной форме причинно-следственных связей, приводящих к возникновению дефектов при формировании стекла, в целях принятия оперативных решений по их устранению.

Дальнейшие исследования ТП формирования листового стекла позволят выполнить декомпозицию элементарных звеньев, представив их в виде комплекса звеньев. Это обеспечит более глубокую детализацию компонентов причинно-следственных комплексов и, как следствие, более точную идентификацию причин аварийных ситуаций при формировании стекла.



ПРИЛОЖЕНИЕ

Рассмотрим работу алгоритма применительно к поиску причин дефекта типа «мошка». Для описания ТП используются следующие классы объектов: o_4 — «дозированный шиббер»: «степень износа», «время существования пристывшей стекломассы»; o_7 — «огнеупорная кладка узла питания»: «разгерметизация в огнеупорной кладке»; o_{13} — «ванна расплава»: «разгерметизация огнеупорной кладки», «разгерметизация корпуса», «разгерметизация в технологических проемах»; o_{17} — «стекломасса»: «температура», «дефекты стекломассы»; o_{18} — «защитная атмосфера»: «объем в головной зоне», «объем в зоне активного формования», «объем в зоне стабилизации формы», «горение водорода в щелях между шиббером и боковой стенкой»; o_{22} — «дефекты стекломассы»: «пузыри типа «мошка», «деформированные участки», «оксид олова SnO», «микроморщинистый слой», «локальное подстуживание нижнего слоя», «перепады коэффициента термического расширения в нижнем поверхностном слое»; o_{23} — «пузыри типа «мошка»»: «размер», «положение по глубине», «положение по ширине»; o_{27} — «объем защитной атмосферы»: «концентрация кислорода», «концентрация водорода», «концентрация оксидов олова»; o_{28} — «объем расплавленного олова»: «температура», «концентрация кислорода».

Для выделения конкретного экземпляра объекта из класса o_i используется обозначение $o_{i,m}$ (m — номер экземпляра объекта в классе): $o_{27,1}$ — «объем защитной атмосферы в головной зоне», $o_{28,1}$ — «объем расплавленного олова в головной зоне».

Возникновение дефекта «мошка» описывается совокупностью производственных правил:

1. ЕСЛИ ($o_{27,1}$, Концентрация водорода, Высокая) И (o_4 , Неплотности по кромке дозирующего шиббера, Да) И (o_{13} , Разгерметизация в корпусе ванны, Да) ИЛИ (o_7 , Разгерметизация в огнеупорной кладке, Да) ИЛИ (o_{13} , Разгерметизация в технических проемах, Да)) ТО (o_{18} , Горение водорода в щелях между шиббером и боковой стенкой, Да).

2. ЕСЛИ (o_{18} , Горение водорода в щелях между шиббером и боковой стенкой, Да) ТО (o_{17} , Дефекты, (o_{23} : (Размер, 0,1—0,15 мм); (Положение по глубине, На верхней поверхности); (Положение по ширине, У боковых стенок ванны расплава))).

5. ЕСЛИ (o_{17} , Дефекты, (o_{23} : (Размер, 0,1—0,15 мм); (Положение по глубине, На верхней поверхности); (Положение по ширине, У боковых стенок ванны расплава))) ТО (o_{23} , Положение по ширине, В виде полосы или отдельных скоплений, локализованных по ширине ленты стекла).

При обнаружении участков с дефектом типа «мошка» в текущую информацию включается его описание: ((o_{17} , Дефекты), (o_{23} : (размер, 0,1 мм) (Положение по ширине, В виде отдельных скоплений, локализованных по ширине ленты стекла)). Алгоритм выполняет анализ вариантов построения ПСК при различных сочетаниях нарушений ТП и выбор тех сочетаний, при которых образуется данный дефект. Возникновение нарушений представляется в алгоритме как принятие гипотез, доопределяющих группу причины не регламентными значениями атрибутов.

Для комбинации гипотез: {($o_{27,1}$, Концентрация водорода, Высокая), (o_4 , Неплотности по кромке дозирующего шиббера, Да), (o_{13} , Разгерметизация в корпусе ванны, Да), (o_{18} , Горение водорода в щелях между шиббером и боковой стенкой, Нет)}, {($o_{28,1}$, Температура, Норма), (o_{17} , Локальное подстуживание нижнего слоя, Нет)}, {($o_{28,1}$, Температура, Норма), (o_{17} , Локальное подстуживание нижнего слоя, Нет)}, (o_{17} , Дефекты, (o_{23} : (Размер, 0,1—0,15 мм), (Положение по глубине, На верхней поверхности), (Положение по ширине, У боковых стенок ванны расплава))), (o_{28} , Концентрация кислорода, Норма)}, {(o_{17} , Температура, Норма), (o_{28} , Концентрация кислорода, Норма), (o_{17} , Дефекты, (o_{23} : (Размер, 0,1—0,15 мм), (Положение по глубине, На верхней поверхности), (Положение по ширине, У боковых стенок ванны расплава)))} алгоритм доопределяет терминалы ПСЗ входящими в комбинацию гипотезами, после чего реализует процедуру прямого логического вывода.

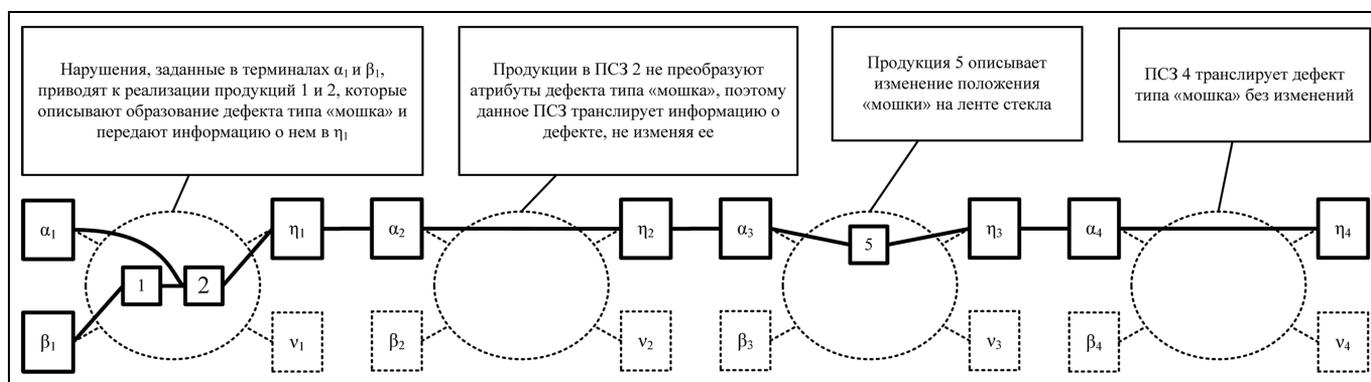


Рис. 3. Причинно-следственные связи, приводящие к возникновению дефекта типа «мошка»

Поскольку условия производственного правила 1 ПСЗ 1 выполняются, то делается вывод о горении водорода: (o_{18} , Горение водорода в щелях между шибером и боковой стенкой, Да). В результате формируются данные для реализации правила 2, описывающего возникновение дефекта типа «мошка»: (o_{17} , Дефекты, (o_{23} : (Размер, 0,1–0,15 мм), (Положение по глубине, На верхней поверхности), (Положение по ширине, У боковых стенок ванны расплава))), которые передаются в терминал η_1 и, в соответствии со схемой соединения ПСЗ, транслируются в причину ПСЗ 3. Правило 5 ПСЗ 3 по описанию дефекта устанавливает новое значение атрибута «положение по ширине»: (o_{23} , Положение по ширине, В виде полосы или отдельных скоплений, локализованных по ширине ленты стекла). Поскольку полученные в результате вывода терминалы следствия и условия 2 не противоречат терминалам, связанным с ними операциями композиции, то рассматриваемая комбинация гипотез порождает согласованную последовательность состояний ТП, завершающуюся образованием дефекта «мошка». В построенной последовательности состояний выделяются причины аварийной ситуации: ($o_{27,1}$, Концентрация водорода, Высокая), (o_4 , Неплотности по кромке дозирующего шибера, Да), (o_7 , Разгерметизация в огнеупорной кладке, Да).

Пользователь может обратиться к объяснительному модулю программного комплекса, чтобы получить ход логического вывода о том, как указанные причины приводят к возникновению рассматриваемой аварийной ситуации. Модуль группирует реализованные в процессе вывода правила по ПСЗ и строит причинно-следственную связь нарушений ТП и их последствий, приводящих к дефекту типа «мошка» (рис. 3). На рисунке терминалы и правила, обуславливающие причинно-следственные связи, приводящие к возникновению дефекта типа «мошка», выделены жирными линиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.И., Хорошева Е.Р., Лукашкин С.А. Автоматизация производства листового стекла: учеб. пособие. — М.: АСВ, 2002. — 192 с.

2. Макаров Р.И., Тарбеев В.В., Хорошева Е.Р. Управление качеством листового стекла (флоат-способ). — М.: АСВ, 2004. — 152 с.
3. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
4. Чистов В.П. Разработка экспертной системы на основе логического интеллекта для управления доменной печью // Наука и инженерное творчество — 21 веку: сб. науч. тр. — Екатеринбург, 1995. — С. 89–92.
5. Амбарцумян А.А. Управление технологическими процессами на основе динамического событийного моделирования структуры потоков как альтернатива функционально-групповому управлению в АСУТП // Тр. междунар. конф. CAD/CAM/PDM 2007 / ИПУ РАН. — М., 2007. — С. 151–155.
6. Амбарцумян А.А., Браништов С.А. Модель технологического регламента в АСУТП // Проблемы управления. — 2008. — № 3. — С. 73–77.
7. Иванов Е.Б. Методология разработки экспертных систем высокотемпературных объектов // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: тр. конф. / ИПУ РАН. — М., 2010. — С. 561–565.
8. Резчиков А.Ф., Домнич В.С., Иванов А.С. Анализ аварий в человеко-машинных системах с использованием моделей причинно-следственных связей // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2009. — № 7. — С. 30–35.
9. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы взаимодействий в производственных процессах // Проблемы управления. — 2010. — № 3. — С. 51–59.
10. Статические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель, М.Д. Шапот. — М.: Финансы и статистика, 1996. — 321 с.

Статья представлена к публикации руководителем РРС В.А. Твердохлебовым.

Домнич Владимир Сергеевич — аспирант, ✉ stevns@yandex.ru,

Ивашенко Владимир Андреевич — д-р техн. наук, ученый секретарь, ✉ iptmuran@san.ru,

Петров Дмитрий Юрьевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ iac_sstu@mail.ru,

Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов, ☎ (8452) 22-10-42.

Новая книга

Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). В 3-х частях. Ч. 1. Методологические основы организационного управления / Под ред. Е.А. Микрина, В.В. Кульбы. — М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2011. — 464 с. — ISBN 978-5-94052-209-6 (4.1).

Рассмотрен широкий круг теоретических и прикладных проблем повышения эффективности информационного обеспечения систем организационного управления. Основное внимание уделено поиску путей совершенствования принципов, методов, функций и механизмов организационного управления; разработке единой методологии проектирования информационных систем различных классов и назначения; разработке методов повышения качества и эффективности информационного обеспечения систем организационного управления.

Для научных работников и специалистов в области организационного управления, проектирования автоматизированных систем, информационного менеджмента, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Коллектив авторов: Е.А. Микрин, В.В. Кульба, С.А. Косяченко, Б.В. Павлов, Д.А. Кононов, С.С. Ковалевский, А.Б. Шелков, И.В. Чернов, С.К. Сомов, М.Ю. Гладков