



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. С. Домнич, В. А. Иващенко, Построение базы знаний для поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла, *УБС*, 2011, выпуск 33, 218–232

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.81

14 февраля 2025 г., 14:57:43



УДК 519.715
ББК 35.41 + 32.813

ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОИСКА ПРИЧИН АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ФОРМОВАНИИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Домнич В. С.¹, Иващенко В. А.²

(Учреждение Российской академии наук

*Институт проблем точной механики и управления РАН,
Саратов)*

Предложен подход к построению и структуризации продукционной базы знаний для поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла флоат-способом.

Ключевые слова: стекольное производство, флоат-процесс, аварийная ситуация, продукционная база знаний.

1. Введение

Трудности формализации технологического процесса (ТП) производства листового стекла и идентификации аварийных ситуаций, возникающих при этом, связаны со сложностью физико-химических процессов, многоуровневостью и много-связностью факторов, влияющих на его качество [2, 3]. Задача построения математических моделей для таких процессов осложняется еще и тем, что решения по управлению должны приниматься оперативно, в реальном режиме времени.

Это делает практически невозможным применение для описания аварийных ситуаций при производстве листового стекла классической теории принятия решений, базирующейся на

¹ Владимир Сергеевич Домнич, аспирант (stevvns@yandex.ru, тел. +7903-384-78-28).

² Владимир Андреевич Иващенко, доктор технических наук, ученый секретарь (iptmiran@san.ru).

аппарате математических уравнений (алгебраических, дифференциальных, функциональных, логических и др.) и формальных системах (логико-лингвистических моделях, основанных на языках, порождаемых контекстно-свободными и трансформационными грамматиками) [5]. Данные затруднения приводят к тому, что идентифицировать причины аварийных ситуаций и производить диагностику дефектов стекла в большинстве случаев приходится на основе интуиции оперативного персонала.

На предприятиях с непрерывным характером производства, к которым относятся предприятия стекольной промышленности, остро стоит вопрос об оперативности ликвидации аварийных ситуаций, так как при их возникновении предприятия терпят значительный ущерб:

- от брака, вызванного аварийной ситуацией;
- от повышенного износа технологического оборудования, вызванного последствиями устранения аварийной ситуации (освобождение ванны расплава от застывшей стекломассы, освобождение печи отжига от остатков стекла и др.);
- от недоиспользования производственной мощности;
- от расхода топлива и энергоносителей;
- от простоя рабочей силы.

Поэтому необходимо прогнозировать наступление аварийных ситуаций и сокращать время на ликвидацию в случае их возникновения. В настоящее время при ручном поиске причин аварийных ситуаций их ликвидация занимает 10–30 минут.

Указанные обстоятельства обуславливают актуальность разработки новых подходов к анализу аварийных ситуаций при производстве листового стекла. Один из таких подходов основан на использовании продукционных правил для описания процессов их возникновения и развития.

В статье рассматриваются вопросы построения и структуризации продукционной базы знаний (БЗ) для поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла флоат-способом.

2. Постановка задачи поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла

Пусть $S = S_1 \times \dots \times S_p$ – пространство состояний ТП формирования листового стекла; $s(t) = (s_1(t), \dots, s_p(t)) \in S$ – вектор состояний ТП, где $t = l\Delta t$, $l = 1, \dots, n$, Δt – интервал дискретности по времени; $s_1(t), \dots, s_p(t)$ – составляющие вектора, характеризующие количественные и качественные ингредиенты ТП: оборудование, исполнители, энергетическое обеспечение и др.); $X = X_1 \times \dots \times X_q$ – пространство внешних воздействий на ТП; $x(t) = (x_1(t), \dots, x_q(t)) \in X$ – вектор внешних воздействий на ТП; $F: S \times X \rightarrow S$ – функция, определяющая динамику ТП: $s(t_{l+1}) = F(s(t_l), x(t_l))$.

Оперативная информация об аварии задается в виде частично заполненных векторов (векторов, отдельные компоненты которых могут отсутствовать) состояний $\tilde{s}(t_{l'_1}), \dots, \tilde{s}(t_{l'_u})$ и внешних воздействий $\tilde{x}(t_{l''_1}), \dots, \tilde{x}(t_{l''_v})$, где $1 \leq l'_1 < \dots < l'_u \leq n$, $1 \leq u \leq n$, $1 \leq l''_1 < \dots < l''_v \leq n$, $1 \leq v \leq n$.

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

1. $(\forall w, 1 \leq w \leq u)$ $s^{(h)}(t_{l'_w})$ согласуется с $\tilde{s}(t_{l'_w})$ (соответствующие координаты векторов равны);
2. $(\forall w, 1 \leq w \leq v)$ $x^{(h)}(t_{l''_w})$ согласуется с $\tilde{x}(t_{l''_w})$;
3. $(\forall w, 1 \leq w < n)$ $s^{(h)}(t_{w+1}) = F(s^{(h)}(t_w), x^{(h)}(t_w))$.

По данному описанию выявляются причины аварий, как отклонения координат векторов состояний ТП $s^{(h)}(t_1), \dots, s^{(h)}(t_n)$ и $x^{(h)}(t_1), \dots, x^{(h)}(t_n)$ от их допустимых значений, заданных регламентом ТП.

3. Описание процесса формирования листового стекла

Процесс формирования ленты стекла в ванне расплава заключается в придании заданных физических характеристик (толщи-

на, ширина, твердость, хрупкость, термостойкость и т.п.) стекломассе и формализуется в БЗ на основе представлений в виде троек «класс объектов–атрибут–значение».

Для описания ТП формования будем использовать классы объектов o_1, \dots, o_r , $r=28$: o_1 – «заданный технологический режим»: «температура сводовых нагревателей», «расход защитной атмосферы», «расход сернистого антигидрида», «положение дозирующего шибера», «положение и скорости бортоудерживающих устройств», «количество холодильников», «положение ограничителей», «скорость лера»; o_2 – «оператор»: «квалификация», «внимательность»; o_3 – «отсекающий шибер»: «степень износа»; o_4 – «дозированный шибер»: «степень износа», «время существования пристывшей стекломассы»; o_5 – «сливной лоток»: «степень износа»; o_6 – «сводовые огнеупоры»: «степень износа»; o_7 – «огнеупорная кладка узла питания»: «разгерметизация в огнеупорной кладке»; o_8 – «ограничители растекания»; o_9 – «задний смачиваемый брус»; o_{10} – «каналы подачи защитной атмосферы»: «скорость подачи защитной атмосферы»; o_{11} – «сводовые нагреватели»: «температура»; o_{12} – «холодильники»: «количество холодильников»; o_{13} – «ванна расплава»: «разгерметизация огнеупорной кладки», «разгерметизация корпуса», «разгерметизация в технологических проемах»; o_{14} – «электропитание привода шиберов»: «напряжение», «емкость источника питания»; o_{15} – «электроэнергия»: «напряжение», «емкость источника питания»; o_{16} – «холодная вода»: «температура»; 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 шибером и боковой стенкой»; o_{19} – «бортоудерживающие устройства»: «положение», «угол», «заглубление звездочки», «скорость вращения»; o_{20} – «лента стекла»: «стекломасса», «ширина ленты»; o_{21} – «расплав олова»: «объем в головной зоне», «объем в зоне активного формования», «объем в зоне стабилизации формы»; 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_{24} – «деформированные участки»: «положение по глубине», «ширина», «длина», «внешний вид»; o_{25} – «оксид олова SnO»: «концентрация», «положение по глубине»; o_{26} – «микроморщинистый слой»: «положение по глубине», «высота», «внешний вид»; 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 в классе): $o_{27.1}$ – «объем защитной атмосферы в головной зоне»; $o_{27.2}$ – «объем защитной атмосферы в зоне активного формования»; $o_{27.3}$ – «объем защитной атмосферы в зоне стабилизации формы»; $o_{28.1}$ – «объем расплавленного олова в головной зоне»; $o_{28.2}$ – «объем расплавленного олова в зоне активного формования»; $o_{28.3}$ – «объем расплавленного олова в зоне стабилизации формы».

Использование классов объектов позволяет для некоторых взаимодействий ТП сформировать универсальное представление, которое может быть использовано для описания взаимодействия на различных стадиях ТП. Иначе говоря, классы избавляют от необходимости в создании дубликатов представлений взаимодействий, различающихся лишь обозначениями взаимодействующих объектов.

Известные данные о состоянии конкретного объекта o_i представляются в виде множества троек:

$\{(o_i, a_{j_l}, v_{k_l}) \mid l = 1, \dots, m\}$, где a_{j_1}, \dots, a_{j_m} – атрибуты i -го объекта, а v_{k_1}, \dots, v_{k_m} – значения этих атрибутов. Для задания значения атрибута a_j объекта o_i используется обозначение (o_i, a_j) , а для задания значений атрибутов a_{j_1}, \dots, a_{j_m} объекта o_i – $(o_i : (a_{j_1}, v_{k_1}), \dots, (a_{j_m}, v_{k_m}))$.

4. Структура базы знаний

Взаимодействия, реализуемые в ТП формирования, описываются следующей системой продукционных правил.

1. ЕСЛИ ($o_{27.1}$, Концентрация водорода, Высокая) И (o_4 , Неплотности по кромке дозирующего шибера, 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 шибером и боковой стенкой, Да).

2. ЕСЛИ (o_{18} , Горение водорода в щелях между шибером 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))).

.....

67. ЕСЛИ ($o_{28.1}$, Температура, Низкая) ТО (o_{17} , Локальное подстуживание нижнего слоя, Да).

68. ЕСЛИ (o_{17} , Локальное подстуживание нижнего слоя, Да) ТО (o_{17} , Дефекты, (o_{24} : (Положение по глубине, 10–20 мкм на нижней поверхности); (Ширина, 2–20 мм); (Длина, Более 1 м); (Внешний вид, Прерывистые линии))).

.....

82. 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).

83. ЕСЛИ (o_{17} , Температура, Средняя) И (o_{28} , Концентрация кислорода, Высокая) ТО (o_{17} , Дефекты, (o_{25} : (Концентрация, Высокая); (Положение по глубине, В тонком слое на нижней поверхности))).

.....

119. ЕСЛИ (o_{17} , Температура, Низкая) И (o_{28} , Концентрация кислорода, Высокая) ТО (o_{17} , Дефекты, (o_{25} : (Концентрация, высокая); (Положение по глубине, В тонком слое на нижней поверхности))).

120. ЕСЛИ (o_{17} , Дефекты, (o_{25} : (Концентрация, Высокая);

(Положение по глубине, В тонком слое на нижней поверхности)) И (o_{17} , Температура, «больше» 7000 С) ТО (o_{17} , Дефекты, Перепады коэффициента термического расширения).

121. ЕСЛИ (o_{17} , Дефекты, Перепады коэффициента термического расширения) И (o_{18} , Температура) «значительно меньше, чем» (o_{17} , Температура) ТО (o_{17} , Дефекты, (o_{26} : (Положение по глубине, На нижней поверхности); (Высота, 2–3 мм); (Внешний вид, Ирризирующая пленка))).

Производственные правила группируются в блоки, соответствующие различным этапам процесса формования. Так, этапу «движение стекломассы в узле питания» соответствуют правила 1, 2 и т.д., этапу «движение стекломассы в затеке» – 67, 68 и т.д., этапу «активное формование ленты стекла» – 67, 68, 82, 83 и т.д., этапу «стабилизация формы ленты стекла» – 119, 120, 121 и т.д. Данная градация производственных правил упрощает их восприятие экспертом и повышает эффективность поиска причин аварий.

В приведенном выше списке присутствуют производственные правила, относящиеся к каждому из выделенных этапов ТП формования стекла.

Построение базы знаний и группировка производственных правил в блоки осуществляется экспертами вручную, а структурирование правил в базе знаний – автоматически.

5. Структура и состав программно-информационного комплекса

Взаимодействия, образующие ТП формования стекла, являются определенными, четкими, однако условия и результаты их реализации в основном определяются нечеткими ограничениями на значения технологических параметров. В связи с этим, для атрибутов, характеризующих объекты o_1, \dots, o_r , используются нечеткие значения, а условия производственных правил строятся в виде нечетких логических выражений.

Механизм вывода реализуется следующим образом: для нечеткого условия вычисляется уровень отсечения (с использованием операций «min» и «max» для конъюнкции и дизъюнкции соответственно), условие считается выполненным тогда и толь-

ко тогда, когда уровень отсечения оказывается выше порогового значения 0,5. Реализация продукционного правила сводится к изменению атрибутов объектов на значения, фигурирующие в заключении правила. В отличие от классических алгоритмов нечеткого вывода, уровень отсечения не участвует в формировании результата продукционного правила, что отражает четкий характер взаимодействий ТП.

Поиск причин аварийных ситуаций на основе данной БЗ реализуется в программно-информационном комплексе (ПИК), который предоставляет пользователю интерфейс для ввода оперативной информации об аварии, интерфейс, отображающий результаты поиска причин аварий, в автоматическом режиме осуществляет получение информации из базы данных, содержащей измеряемые в ходе производства значения параметров ТП. Схема взаимодействия экспертов с программным комплексом представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура и состав программно-информационного комплекса

Оперативная информация об аварии формализуется в виде троек «объект–атрибут–значение» и заносится в рабочую память ПИК. Для идентификации причин аварии используется прямой логический вывод в каждом блоке продукционных правил.

В случае если необходимые для вывода значения атрибутов неизвестны, они доопределяются гипотезами.

6. Организация поиска причин аварийных ситуаций

6.1. КЛАССИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА

Данный алгоритм основан на использовании классического алгоритма прямого вывода, который на каждой итерации проверяет условия всех продукционных правил, которые не были реализованы в текущем блоке. Если условие правила выполнено (уровень отсечения выше порогового значения), то оно заносится в список правил, которые должны быть применены на данной итерации вывода, и исключается из списка нереализованных правил. Работа алгоритма заканчивается, когда на очередной итерации не может быть реализовано ни одно правило.

Для проверки условия каждого правила алгоритм находит в рабочей памяти значения представленных в условии атрибутов и по ним вычисляет значения функций принадлежности. Поиск нужного атрибута реализуется путем последовательного просмотра атрибутов в рабочей памяти, на что требуется значительное количество времени. Кроме того, классический алгоритм будет на каждой итерации проверять условия правил, в которых ни одна компонента не выполняется. Эти вычисления являются бесполезными, но с ростом числа продукционных правил могут существенно замедлять процедуру логического вывода.

6.2. АЛГОРИТМ ПОИСКА НА СТРУКТУРИРОВАННОЙ БАЗЕ ЗНАНИЙ

В [1] предложена специальная модель продукционной БЗ, использование которой позволяет существенно увеличить быстродействие логического вывода. Модель представляет продукционную БЗ в виде мультиграфа $G = (V, E)$, где V – множество

вершин, а E – множество дуг. Множество V является объединением двух непересекающихся множеств: A – вершин-атрибутов и B – вершин-ветвлений.

Пусть продукционное правило имеет вид

ЕСЛИ	(o_1, a_1, v_1) И ... И (o_2, a_2, v_2)	ИЛИ
	...	ИЛИ
	(o_3, a_3, v_3) И ... И (o_4, a_4, v_4)	
ТО	(o_5, a_5, v_5) .	

Здесь условие правила представляется в виде объединения нескольких ИЛИ-компонент, каждая из которых является набором элементарных условий (троек), соединенных логической связкой И. Далее каждая ИЛИ-компонента интерпретируется как вершина-ветвление b . Множество всех вершин-ветвлений образует множество B .

Вершина-атрибут $a \in A$ является иерархической, в нее входят вершина нулевого уровня (o_i, a_j) и конечное число вершин первого уровня v_{k_1}, \dots, v_{k_m} , взаимно однозначно соответствующих возможным значениям атрибута a_j .

Представленному выше продукционному правилу в мультиграфе G будет соответствовать подграф, конструируемый следующим образом. Среди вершин множества A выбирается вершина-атрибут (o_5, a_5) , фигурирующая в заключении продукционного правила, и из вершины первого уровня v_5 проводятся дуги во все вершины-ветвления, порождаемые данным правилом. Дальнейшие построения рассмотрим на примере вершины-ветвления $b = \{(o_1, a_1, v_1), \dots, (o_2, a_2, v_2)\}$. Для каждого элементарного условия (o_i, a_j, v_k) , входящего в b , проводится дуга из b в вершину первого уровня v_k вершины-атрибута (o_i, a_j) . Аналогичные построения проводятся для всех остальных вершин ветвлений.

Модель БЗ в целом представляет собой объединение всех подграфов такого вида, каждый из которых соответствует некоторой продукции, входящей в состав БЗ.

Данная модель позволяет существенно повысить скорость логического вывода по сравнению с традиционным представлением БЗ, поскольку непосредственно связывает условия правил

со значениями атрибутов в рабочей памяти и в явном виде представляет влияние результатов одних продукционных правил на условия реализации других.

Модель естественным образом обобщается на случай нечетких значений атрибутов. Для этого необходимо из каждого элементарного условия (o_i, a_j, v_k) построить дуги не только в вершину v_k , но и во все остальные вершины v_l первого уровня вершины-атрибута (o_i, a_j) , при которых выполняется равенство $(o_i, a_j) = v_k | v_l$. Условное равенство $x = y|z$, где x – атрибут объекта, а y и z – нечеткие множества, считается выполненным, если $r(y, z) > r(y, \bar{z})$, где ρ – расстояние Хэмминга [4].

Работа алгоритма, основанного на такой структуризации БЗ, выглядит следующим образом. На первой итерации строится список измененных вершин-атрибутов, в который включаются все вершины, значения которых были занесены в рабочую память. Для каждой измененной вершины-атрибута окрашиваются все дуги, исходящие из ее текущего значения. Если для некоторой вершины-ветвления b , в которую ведут только что окрашенные дуги, все ведущие в нее дуги являются окрашенными, то связанное с b правило заносится в список правил, реализуемых на данной итерации, а вершина-атрибут, фигурирующая в заключении этого правила, отмечается как измененная. Если после завершения цикла по атрибутам с измененными значениями список правил, выбранных для реализации, пуст, то работа алгоритма завершается. В противном случае правила из данного списка реализуются, а для каждой вершины-атрибута, измененной ими, все дуги, которые исходят из ее предыдущего значения, отмечаются как неокрашенные. После этого алгоритм переходит к следующей итерации логического вывода.

6.3. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ АЛГОРИТМ ПОИСКА

Недостатком модели, предложенной в [1], является слабая выразительность условий, входящих в вершины ветвления. Так, чтобы представить логическое условие «температура стекло-массы не низкая», необходимо построить столько вершин-ветвлений, сколько нечетких значений, отличных от «низкого»,

существует у атрибута «температура». Этот недостаток может быть преодолен за счет расширения троек (o_i, a_j, v_k) путем включения четвертого элемента «отношение», который связывает реальное значение атрибута (o_i, a_j) со значением v_k . Элемент «отношение» может принимать одно из следующих значений: «равно», «не равно», «больше», «меньше».

Сокращение числа вершин-ветвлений уменьшает общее количество дуг в мультиграфе и упрощает исключение вершин-ветвлений в процессе поиска.

Модель [1] оказывается наиболее эффективной при большом числе продукционных правил. В условиях небольшого числа правил интерес представляет алгоритм, который, подобно классическому алгоритму, анализирует условия, исходя из продукционных правил, а не из значений в рабочем пространстве. Устранение недостатков классического алгоритма при этом обеспечивается структуризацией, сходной с моделью, предложенной в [1]. Каждое продукционное правило представляется подграфом G специального вида. В G включается вершина (o_5, a_5, v_5) , фигурирующая в заключении продукционного правила, и из нее проводятся дуги во все вершины-ветвления, порождаемые данным правилом. Из каждой вершины-ветвления, из каждой вершины элементарного условия (o_i, a_j, v_k, r_m) строится дуга в вершину-атрибут (o_i, a_j) . Эта дуга помечается номерами l всех вершин v_l первого уровня, входящих в (o_i, a_j) , при которых выполняется условие $r_m((o_i, a_j), v_k) | v_l$. Также вершина (o_5, a_5, v_5) соединяется дугами с вершинами, представляющими заключения всех правил, у которых хотя бы в одной вершине-ветвлении есть элементарное условие, удовлетворяемое при значении (o_5, a_5, v_5) .

Работа алгоритма при этом сводится к следующему. На первой итерации проверяются условия всех правил в БЗ и реализуются те правила, условия которых были выполнены. На последующих итерациях проверяются условия тех и только тех правил, в которые заходит дуга их хотя бы одного правила, реализованного на предыдущей итерации.

Способ построения разработанного алгоритма инвариантен к исследуемому объекту, однако адаптация самого алгоритма

для другого объекта повлечет за собой смену правил продукционной базы знаний.

Для сравнения эффективности рассмотренных алгоритмов разработан программно-информационный комплекс, осуществляющий прямой вывод по блоку продукционных правил «активное формирование ленты стекла». Полученные с помощью программно-информационного комплекса значения временных затрат на реализацию алгоритмов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Быстродействие исследованных алгоритмов поиска

Итерация	Время выбора продукционных правил (мс)		
	Классический алгоритм	Алгоритм поиска на структурированной БЗ	Предложенный алгоритм
Итерация 1	0,311	0,058	0,068
Итерация 2	0,046	0,038	0,008
Итерация 3	0,018	0,011	0,003
Общее время вывода	0,375	0,107	0,079

Из результатов вычислительных экспериментов следует, что предложенный алгоритм оказывается наиболее эффективным с точки зрения временных затрат на выполнение расчетов.

При поиске причин аварийной ситуации алгоритм логического вывода реализуется в цикле с количеством итераций, составляющим в среднем 10^5 . Приведенные в таблице времена при этом соответственно составят 10, 3 и 2 минуты.

Продукционные правила отражают отдельные взаимодействия в ТП. Объединяемые алгоритмом логического вывода, они образуют композиции, некоторые из которых не были известны экспертам. Это позволяет при помощи БЗ обнаружить новые причины возникновения аварийных ситуаций и заранее разработать мероприятия по их ликвидации.

7. Заключение

Предложена структуризация базы знаний, позволившая построить алгоритм, обладающий в 4 раза большим быстродействием по сравнению с классическим алгоритмом и в 1,5 раза – по сравнению с алгоритмом, приведенным в [1], что существенно для поиска причин аварийных ситуаций при формировании листового стекла флоат-способом, осуществляемого в режиме реального времени.

Литература

1. ИВАНОВ А.С. *Модель представления производственных баз знаний на ЭВМ // Известия Саратовского университета. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2007. – Т. 7., вып. 1. – С. 83–88.*
2. МАКАРОВ Р.И., ХОРОШЕВА Е.Р., ЛУКАШКИН С.А. *Автоматизация производства листового стекла : учеб. пособие. – М.: АСВ, 2002. – 192 с.*
3. МАКАРОВ Р.И., ТАРБЕЕВ В.В., ХОРОШЕВА Е.Р. *Управление качеством листового стекла (флоат-способ). – М.: АСВ, 2004. – 152 с.*
4. МОРЕЛОС-САРАГОСА Р. *Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005. – 171 с.*
5. ТЕЙЗ А., ГРИБОМОН П., ЛУИ Ж. и др. *Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию. – М.: Мир, 1990. – 432 с.*

DEVELOPMENT OF THE KNOWLEDGE BASE TO SEARCH AN ACCIDENT REASONS AT FLOAT GLASS FORMING

Vladimir Domnich, Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, post-graduate (stevvns@yandex.ru, +7903-384-78-28).

Vladimir Ivaschenko, Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of Precision Mechanics and Control of RAS, Saratov, Doctor of Science, Scientific Secretary (iptmuran@san.ru).

Abstract: An approach is suggested to development and structuring of the knowledge base to search reasons of accidents during the float glass forming process.

Keywords: glass production, float process, accident, production knowledge base.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии М.Ф. Караваем*