

(отжиг) и концевые операции – раскрой на форматы, нанесение прокладочных материалов, упаковку и отгрузку. Часть стекла направляется на промышленную переработку, остальное стекло отгружается как товарное.

Процесс варки стекла включает следующие стадии: загрузку шихты и стеклобоя, варку стекломассы, гомогенизацию и стужку.

Варка стекла производится в ванной регенеративной печи непрерывного действия, отапливаемой природным газом с поперечным направлением пламени, оснащенной автоматизированной системой управления расходом газа и воздуха на горение с использованием микроконтроллеров типа «Протар» и контроля с использованием ПЭВМ.

Процесс формования листового стекла на расплаве металла включает следующие стадии: регулируемую подачу стекломассы на поверхность расплавленного металла, активное формование и охлаждение готовой ленты. Процесс формования ленты стекла на расплаве металла осуществляется в ванне, представляющей собой тепловой агрегат, содержащий слой расплавленного металла, защитную восстановительную атмосферу, средства подачи стекломассы и вывода ленты стекла из ванны расплава в печь отжига. Контроль параметров ванны расплава ведется на основании показаний на дисплеях ПЭВМ автоматизированной системы централизованного контроля (АСЦК).

Процесс отжига листового стекла включает следующие основные стадии: предварительное охлаждение, ответственный отжиг и ускоренное охлаждение. Он осуществляется в печи отжига, имеющей корпус, футерованный теплоизоляцией, и снабженной системами транспортирования и охлаждения ленты, электронагрева, КИП и автоматики с использованием ПЭВМ. Система КИП и автоматика обеспечивает стационарный контроль температуры по зонам печи и скорости транспортирования ленты стекла. Печь отжига обеспечивается системой автоматического переключения приводов на питание от аккумуляторной батареи в аварийных случаях.

Концевые операции производства листового стекла включают: отрезку и отломку бортов на конвейере, раскрой стекла на форматы на конвейере, нанесение прокладочных материалов, упаковку и отгрузку.

Главным требованием ко всему технологическому оборудованию является надежность и непрерывность в работе.

Сырьевые материалы, применяемые для производства стекла, делятся на основные и вспомогательные.

К основным сырьевым материалам для производства листового стекла относятся: кварцевый песок, сода, доломит, полевой шпат и мел.

К вспомогательным материалам относятся сульфат натрия и уголь.

Шихтой называют однородную смесь сырьевых материалов, предварительно подготовленных и отвешенных в соответствии с рецептом центральной заводской лаборатории, рассчитанным согласно заданному составу стекла и химическому анализу сырьевых материалов.

1.2 Описание процесса формования стекла

Процесс формования ленты стекла на расплаве металла (рисунок 1) делится на следующие технологические операции, которым соответствуют последовательные участки ванны расплава:

- непрерывная регулируемая подача стекломассы из выработочного канала стекловаренной печи и ее слив на расплав олова в головном участке ванны;
- растекание стекломассы на поверхности расплава олова до образования плоского слоя стекла равновесной толщины;
- «активное» формование ленты стекла, где под воздействием сил вытягивания, прилагаемым к формируемой ленте, она приобретает заданную толщину и ширину;
- охлаждение формируемой ленты до температуры ее вывода из ванны расплава на тянущие валы.

Стекломассу сливают на расплав олова в головной части с носика лотка. Растекание стекломассы назад и в поперечном направлении ограничивается задним смачиваемым брусом и боковыми ограничителями. Стекломасса, которая течет от носика лотка к заднему брусу, образует «затек». Важнейшим требованием в процессе формования ленты стекла является постоянное движение стекломассы в «затек», чтобы не допустить ее застоя и кристаллизации.

В конце участка растекания поток стекломассы под воздействием сил тяжести и поверхностного натяжения формирует в плоскопараллельный слой толщиной 6.5 – 6.8 мм, называемого равновесной толщиной.

Непременным требованием для получения ленты стекла с высоким качеством по разнотолщинности является достаточная завершенность процесса растекания.

На участке «активного» формования ленту стекла в вязком состоянии подвергают действию сил вытягивания. Существуют два способа вытягивания стекла: способ прямого вытягивания и способ продольно-поперечного вытягивания. Продольное вытягивание осуществляют действием сил, передаваемых от роликов печи отжига вдоль затвердевающей ленты. Продольно-поперечное растягивание ленты выполняют с помощью утоняющих машин.

На участке охлаждения теплосъем осуществляется через футеровку ванны и дополнительно холодильниками различных конструкций. Величину теплосъема регулируют изменением количества холодильников.

Выравнивание температуры олова по ширине ванны может быть достигнуто изменением электронагрева по участкам и установкой ограничителей потоков олова и холодильников.

Для защиты металлического расплава олова от окисления в ванну расплава подается защитная газовая атмосфера, состоящая из азота и водорода. Подача защитной атмосферы в ванну расплава осуществляется через свод.

Избыточное давление в ванне расплава не менее 3.0 кгс/м^2 .

Выход ленты из ванны на валы печи отжига осуществляется через секцию примыкания.

Попадание кислорода воздуха в ванну через выходную щель предотвращается путем установки герметизирующих шторок над лентой стекла.

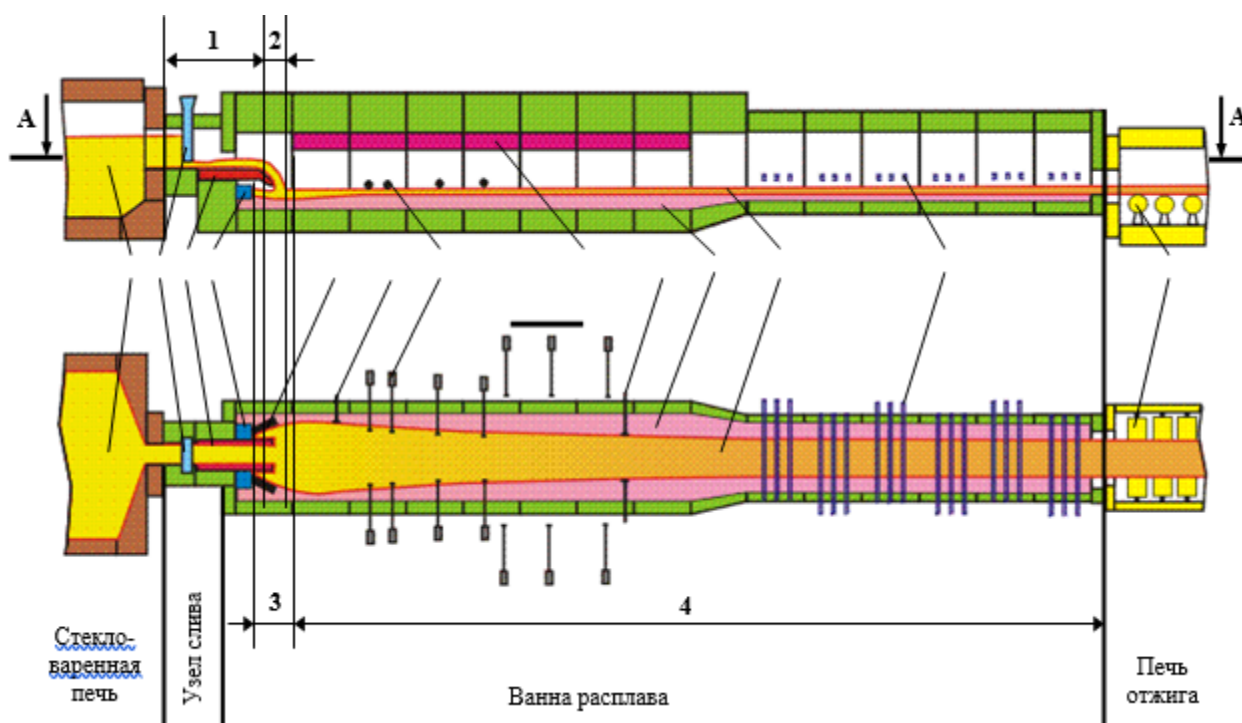


Рис. 1. Схема технологического процесса формования листового стекла:

a – стекломасса в стекловаренной печи, b – дозирующий шибер, c – носик узла слива, d – смачиваемый брус, e – рестриктор, f – ограничители растекания ленты стекла, g – бортоформирующая машина, h – нагреватель, i – расплав олова, j – лента стекла, k – холодильник, l – валы печи отжига

2 Модели знаний об аварийных ситуациях при производстве листового стекла

Для создания интеллектуальной системы управления используются реляционные, объектные и ассоциативные модели знаний (рисунок 2).

В основу построения реляционных моделей положены теория отношений и математическая логика. При этом используются их предикативная, продукционная или лингвистическая формы.

Предикативная форма реализуется с помощью унификации резолюций и поиска в глубину и ширину. Является наиболее строгой и доказательной. Поддерживается в виде языка логического программирования PROLOG.



Рис. 2. Классификация моделей знаний

Продукционная форма является менее строгой. В ней отсутствует строгая формализация – допускаются эвристические компоненты. Используется вывод по прямой и обратной цепочке (дедуктивный вывод) или на основе обобщения примеров (индуктивный вывод). Поддерживается программно специализированными средствами, например, системой OPS-5.

Лингвистическая форма является развитием продукционной, поддерживается специализированными языками типа ATNL.

От таблиц решений легко перейти к реляционным моделям. Для этого осуществляется построение системы продукций, отражающей состояние ОУ. Эта система включает причины возникновения аварий и управляющие воздействия для ликвидации их последствий.

Ситуация, возникающая в процессе функционирования ОУ, описывается системой продукций:

Если R_{i1} or R_{i2} or ... or R_{im} , to S_i ;

Если P_{i1} and P_{i2} and ... and P_{im} , to S_i ;

Если S_i , то необходимо выполнить D_{j1} and D_{j2} and ... and D_{jk} ,

где R_{ij} – возможные причины возникновения аварийной ситуации; P_{ik} – признаки, характеризующие аварийную ситуацию; S_i – наименование аварийной ситуации; $D_{j\ell}$ – действия, необходимые для предотвращения и ликвидации последствий аварийной ситуации; j, k, ℓ – априори известные константы.

Далее вся совокупность продукций разбивается:

- на продукции, позволяющие по ранее имеющим место ситуациям определить текущую ситуацию;
- на продукции, позволяющие по совокупности зафиксированных признаков идентифицировать ситуацию;
- на продукции, определяющие набор действий, который необходимо выполнить в текущей ситуации.

Работу данной системы можно описать следующим образом.

На вход системы поступает информация с ОУ. Если возникшая ситуация может привести к аварии, то выдаются рекомендации по предотвращению и ликвидации ее последствий. По результатам поступающей с измерительных приборов информации также определяются, какой является текущая ситуация – аварийной или внештатной и выдаются соответствующие рекомендации для диспетчерского персонала.

Объектные модели знаний основаны на теории семантических и фреймовых сетей. Основным понятием в этой модели является объект знания. В самом простом случае объект знания – это понятие в узле семантической сети. В более сложном случае объект знания представляет собой фрейм, содержащий декларативные знания и процедуры, позволяющие выполнять некоторые действия над ними.

Выделяются семантическая, фреймовая и универсальная формы объектных моделей знаний.

Семантическая форма является наиболее простой и поддерживается специализированными языками семантических сетей NETI, ATNL.

Большими возможностями в построении сложных иерархических систем знаний обладает фреймовая форма. Для поддержки фреймовых моделей используются языковые средства LISP, FRL, FMS и др.

Наибольшей программной поддержкой в настоящее время обладает универсальная форма, которая часто используется в практических разработках сетевых систем знаний. В качестве программной поддержки выступают средства CLOS и LOOPS.

Вся информация фрейма ситуации хранится в базе данных реляционного типа в виде следующих атрибутов:

- Наименование аварийной ситуации.
- Причины аварийной ситуации.
- Признаки аварийной ситуации.
- Временные характеристики аварийной ситуации.
- Список действий по предотвращению и ликвидации последствий аварии.

При возникновении аварийной ситуации в базе знаний по признакам аварийной ситуации находится соответствующий фрейм, по которому диспетчером определяются вероятные причины аварии, время ее протекания, а также действия, необходимые для предотвращения и ликвидации ее последствий.

Ассоциативные модели имеют логическую и нейронную формы.

Логическая форма основана на использовании в узловых элементах сети логических вычислительных базисов: предикатного, продукционного и семантического.

Нейронная форма предполагает использование в узловых элементах мультипликативно-аддитивного базиса с пороговым или линейно ограниченным выходом. Сила связи трактуется как сила синаптических связей нейронов и определяется только путем обучения.

Универсальная форма ассоциативной модели знаний использует базис узловых элементов сети, настраиваемый из условий наилучшего отображения системы знаний.

В качестве программных средств, поддерживающих эти модели, выступают STARAN, BRAINMAKER, FUZZY TECH и др.

3 Ситуационное управление

Наиболее перспективным направлением в развитии искусственного интеллекта является ситуационное управление, в основу которого положены лингвистические средства моделирования ситуаций и представления знаний.

Ситуационное управление использует язык, для формирования лексики которого необходимо определить описания возникающих на ОУ ситуаций и процедур их преобразования, а также необходимых управлений в этих ситуациях [5]. В качестве основных компонентов языка выступают понятия, имена, отношения и действия.

Словари понятий, имен и действий отражают все стороны функционирования ОУ, необходимые для решения поставленных задач. Эти словари полностью определяются семантикой предметной области.

Для формирования языка ситуационного управления в словаре понятий выделяются подмножества, характеризующие: обслуживающий персонал; обеспечивающие системы; ванну расплава; производимый продукт – стекло.

Кроме того, вводится подмножество понятий, отражающих их свойства.

Словарь отношений более универсален. Он включает стандартный набор правил. Для решения поставленной задачи этот набор правил дополняется отношениями, специфическими для предметной области.

Основу описания ситуаций, возникающих на ОУ, составляет простая ядерная конструкция вида $(q y z)$, где q, z – понятия или имена, а y – некоторое отношение между ними или действие,

осуществляемое над ними. В крайние позиции простых ядерных конструкций возможна подстановка синтаксически правильных конструкций. При этом результат будет также синтаксически правильной конструкцией. Синтаксически правильная конструкция получается также при объединении синтаксически правильных конструкций знаками конъюнкций, отношений и действий. При этом получаются сложные ядерные конструкции.

После определения лексических компонентов языка осуществляется описание ситуаций на языке ситуационного управления. Для перевода описания ситуаций с естественного языка на язык ситуационного управления используется лингвистический процессор.

Алгоритм функционирования процессора включает следующие этапы:

- для всех слов естественного языка находятся морфологические и синтаксические характеристики (блоки морфологического и синтаксического анализа);
- выполняется синтаксический анализ, выявляющий синтаксическую структуру предложения (блок синтаксического анализа);
- выполняется семантический анализ (блок семантического анализа);
- описание ситуации передается в анализатор, определяющий класс, к которому относится эта ситуация (блок прагматического анализа).

Далее все множество ситуаций разбивается на отдельные классы таким образом, чтобы каждому из них ставилось в соответствие допустимое управление. При этом используются методы обобщения по признакам ситуаций и обобщения по структурам ситуаций.

Для определения меры близости ситуаций необходимо ввести метрику. В данном случае метрика определяется на множестве признаков:

- совпадение простых ядерных конструкций в сложных ядерных конструкциях;
- совпадение понятий в простых ядерных конструкциях;
- совпадение отношений в простых ядерных конструкциях;
- количество простых ядерных конструкций в сложных ядерных конструкциях.

При совпадении перечисленных выше компонентов присваивается признак, равный 1, а при несовпадении – 0.

При функционировании в реальных условиях производства лингвистический процессор подает описание ситуации, возникшей на ОУ, на вход анализатора, который определяет наиболее близкие классы ситуаций, отражающие состояние ОУ. Выделяется обозримое для диспетчера количество классов, имеющих минимальные метрики. На основе полученной информации диспетчером принимается решение по управлению.

Это управление играет роль трансформационного правила, переводящего текущую ситуацию в новую ситуацию. Оно формулируется в терминах языка ситуационного управления. Для этого к уже рассмотренным выше словарям понятий, отношений и оценок добавляется словарь действий [6].

В сформированном пространстве ситуаций с помощью управлений осуществляем переход от одной ситуации другой таким образом, чтобы каждая вновь полученная ситуация становилась ближе к штатному режиму.

Заключение

В условиях содержательных сведений о ситуациях, возникающих на объектах управления, необходимо использование интеллектуальных систем управления. Наиболее перспективными из этих систем являются системы ситуационного управления.

Системы ситуационного управления эффективны в условиях всевозможных нарушений в ходе технологических процессов, когда эти процессы не могут быть описаны количественно, что характерно для стекольных производств.

Проведенные исследования в части разработки системы ситуационного управления при производстве листового стекла показывают целесообразность ее использования на данных производствах. В настоящее время осуществляется апробация данного метода на реально действующих предприятиях стекольной промышленности в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, выполняемого ИПТМУ РАН.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FFNM-2022-0010 Разработка интеллектуальных моделей и методов управления сложными человеко-машинными системами в условиях критических ситуаций).

Литература

1. *Ефимов И.В., Петров Д.Ю., Иващенко В.А., Мешалкин В.П.* Автоматизированная нейронно-эвристическая процедура распознавания точечных дефектов в листовом стекле // *Химическая технология*, 2014. №8. – С. 500-504.
2. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 395 с.
3. *A. S. Bogomolov, A. F. Rezhikov, V. A. Kushnikov, V. A. Ivashchenko, T. E. Shulga, A. A. Samartsev, E. V. Kushnikova, E. V. Berdnova, E. Yu. Kalinskaya and O. V. Kushnikov* The Problem of Preventing the Development of Critical Combinations of Events in Large-Scale Systems. // *CSOC 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1224. P. 274-280.
4. *Макаров Р.И., Тарбеев В.В., Хорошева Е.Р.* Управление качеством листового стекла (флоат-способ). – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 19 с.
5. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 286 с.
6. *Барышникова Е.С., Иващенко В.А.* Система ситуационного управления производством листового стекла // *Вестник СГТУ*, 2009. №2 (38). Вып.1. С. 91-96.