

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Ефимов И.В.¹, Петров Д.Ю.^{1,2}, Иващенко В.А.^{1,2}, Мешалкин В.П.^{3,4}

¹Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина

²Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов

³Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва

⁴Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, г. Москва

В статье «Алгоритмическое обеспечение классификации точечных дефектов листового стекла» рассматриваются вопросы построения алгоритма классификации данных дефектов и его применения в комплексе программ для анализа листового стекла на дефекты. При этом авторы делают основной акцент на реализации алгоритма классификации дефектов, который играет ключевую роль в работе системы. Статья начинается с введения, в котором в общих чертах описывается принцип работы комплекса программ идентификации точечных дефектов листового стекла и алгоритм их классификации с использованием искусственной нейронной сети и эвристических правил определения типа дефекта. Рассмотрена блок-схема алгоритма и представлено его детальное описание. В конце статьи приведено взаимодействие предложенного программного комплекса с системой управления многостадийным производством листового стекла и описание инструментальных средств разработки программного комплекса.

Ключевые слова: алгоритм; классификация; стекло; дефект листового стекла; эвристическая процедура.

ALGORITHMIC CLASSIFICATION OF FLOAT GLASS SPOT DEFECTS

Efimov I.V.¹, Petrov D.Y.^{1,2}, Ivaschenko V.A.^{1,2}, Meshalkin V.P.^{3,4}

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

²Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov

³D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

⁴Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow

The article “Algorithmic classification of float glass spot defects” deals with issues of developing an algorithm for classification of these defects and its application in the program system for analyzing float glass for defects. The authors place primary emphasis upon the implementation of the algorithm for classification of defects which plays a key role in the operation of the system. The article starts with an introduction which provides a general explanation of the operating principle of the programs for identification of float glass spot defects and the algorithm of their classification using an artificial neural network and heuristic rules for identification of the defect type. A flow-chart of the algorithm as well as its detailed description are provided. At the end of the article, the interaction between the proposed program system and the control system of multi-stage float glass manufacturing and software development tools of the program system are described.

Keywords: algorithm; classification; float glass; defect; heuristic procedure

Предложен алгоритм классификации точечных дефектов в листовом стекле на основе использования искусственной нейронной сети и эвристических правил классификации дефектов; рассмотрено место комплекса программ идентификации точечных дефектов в системе управления многостадийным производством листового стекла.

На различных стадиях производства листового стекла нарушения, возникающие в технологическом процессе (ТП), могут привести к возникновению различного рода дефектов в листовом стекле. Дефекты листового стекла ГОСТ Р 54170-2010 подразделяются на оптические и точечные. Точечный дефект - это включения газового, кристаллического или иного происхождения, например пузырь, свиль, мошка и т.д. [2].

Для повышения энергоресурсоэффективности и качества листового стекла, устранения причин возникновения в нём дефектов необходима разработка научно обоснованных методов и алгоритмов их классификации [6].

Предложен алгоритм классификации точечных дефектов в листовом стекле, являющийся составной частью комплекса программ идентификации точечных дефектов листового стекла (КПИТДЛС).

Функционирование КПИТДЛС в режиме реального времени включает: 1) локализацию дефекта в листовом стекле; 2) определение типа контура ядра дефекта, сбора, накопления и систематизации данных для его распознавания по предложенному набору эвристических правил.

Этап локализации дефекта стекла включает операции оптического сканирования движущейся ленты стекла и компьютерной обработки отсканированного изображения. Сканирование выполняется специальной оптической автоматизированной системой. Локализация дефекта в движущейся ленте стекла осуществляется по захвату электрического сигнала с видеокамеры, его фильтрации и частотному анализу.

Алгоритм классификации дефектов в листовом стекле состоит из следующих этапов: 1) представление контура дефекта в виде набора элементарных векторов; 2) эквализация контура (приведение к единому размеру) [9]; 3) перевод набора векторов к совокупности скалярных значений; 4) определение типа контура (гладкий или с изломами); 5) распознавание дефекта; 6) передача типа дефекта на сервер базы данных (БД), взаимодействующий с АСУ ТП.

Блок-схема нейронно-эвристической процедуры классификации точечных дефектов стекла представлена на рис. 1. Информацию о контуре дефекта в векторной форме считывает блок 1. Она преобразуется в совокупность скалярных значений для передачи во входной слой искусственной нейронной сети (ИНС) (блок 2). Блок 3 определяет типа контура дефекта. Геометрическая форма дефекта определяется в блоке 4. В блоке 5 выполняется считывание информации о яркости дефекта для подготовки исходных данных для эвристической процедуры (блок 6). В блоке 6 на основе эвристических правил определяется тип дефекта. Блок 8 обеспечивают сохранение полученной информации в БД и её отображение оператору.

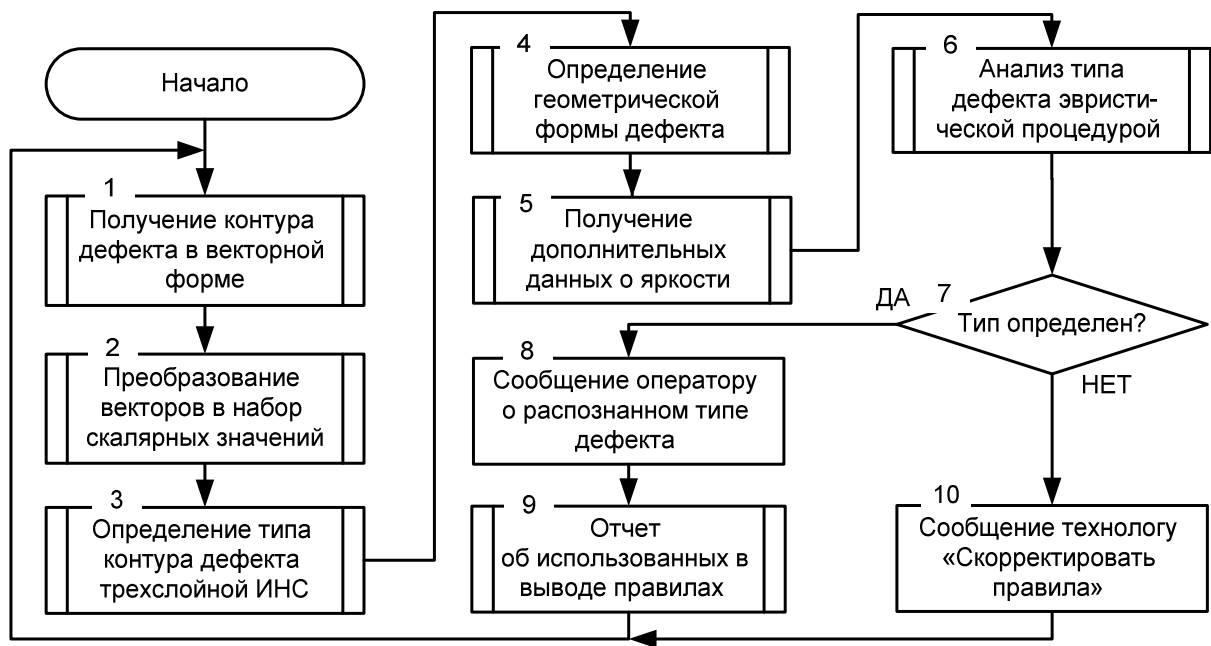


Рис. 1. Блок-схема нейронно-эвристической процедуры

Для принятия управленческих решений по коррекции ТП используется информация из блока 9. В случае если тип дефекта определить не удалось, технологу передается соответствующее сообщение (блок 10), при получении которого он анализирует полученные данные, изменяет эвристические правила, проверяет адекватность новых настроек и заменяет на них используемые.

Перед подачей на классификатор контур дефекта кодируется последовательностью (блока 2), состоящей из комплексных чисел (элементарных векторов). На контуре фиксируется начальная точка и осуществляется его обход по часовой стрелке. Каждый вектор записывается в виде комплексного числа $a+ib$, где a – смещение точки по оси X , а b – смещение по оси Y . Смещение определяется относительно предыдущей точки контура. В итоге получается набор элементарных векторов: $\bar{\Phi} = \{\phi_0, \phi_1, \dots, \phi_N\}$, где $\phi_i = a_k + ib_k$ – элементарный вектор [3].

Набор элементарных векторов в зависимости от размеров дефекта может иметь различную длину, что недопустимо для классификатора, имеющего ограниченное число входов. Поэтому выполняется эквализация (приведение к определенному размеру) исходного контура (2048 элементарных векторов) до заданного размера путем замены нескольких элементарных векторов одним.

Элементарные векторы переводятся в скалярный вид $\varphi_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$. В итоге получается вектор скалярных значений $\bar{R} = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N\}$, который подается на вход ИНС для классификации типа контура. На выходе ИНС получается набор значений (y_1, y_2) . Тип контура соответствует конкретному номеру возбужденного нейрона, определяемому по соотношению $s = \max \arg(y_1, y_2)$. Первый выход соответствует типу «гладкий контур», а второй - «контур с

изломами». Выбор структуры, обучение и моделирования ИНС выполнено с применением пакета прикладных программ MATLAB версии 7.11 (R2010b).

База знаний (БЗ) автоматизированной комплексной системы идентификации точечных дефектов в листовом стекле содержит набор эвристических правил, в соответствии с которыми выполняется сравнение информации о дефекте [4]. Исходной информацией для реализации эвристической процедуры классификации является: I - интенсивность пропускания светового потока ядром дефекта, δ - наличие искажений вокруг ядра, ϕ - форма ядра, κ - тип контура, p - ширина и l - длина ядра.

Ниже приведены правила определения типов.

ЕСЛИ ($\phi = \text{«круг»}$ ИЛИ $\phi = \text{«овал»}$) И $\kappa = \text{«гладкий контур»}$ И ($I > 90\%$ И $I < 100\%$) И $l \geq p$ И ($\delta = true$ ИЛИ $\delta = false$), ТО дефект = «Пузырь».

ЕСЛИ $\phi = \text{«ломаная форма»}$ И $\kappa = \text{«контур с изломами»}$ И ($I > 70\%$ И $I < 85\%$) И $l >> p$ И $\delta = true$, ТО дефект = «Свиль».

ЕСЛИ ($\phi = \text{«круг»}$ ИЛИ $\phi = \text{«овал»}$) И $\kappa = \text{«гладкий контур»}$ И ($I > 50\%$ И $I < 85\%$) И $l \geq p$ И ($\delta = true$ ИЛИ $\delta = false$), ТО дефект = «Сульфатный пузырь».

ЕСЛИ $\phi = \text{«ломаная форма»}$ И $\kappa = \text{«контур с изломами»}$ И ($I > 0\%$ И $I < 40\%$) И $l \geq p$ И $\delta = true$, ТО дефект = «Включение».

ЕСЛИ $\phi = \text{«ломаная форма»}$ И $\kappa = \text{«контур с изломами»}$ И ($I > 300\%$ И $I < 7040\%$) И $l \geq p$ И $\delta = false$, ТО дефект = «Матовость поверхности».

ЕСЛИ $\phi = \text{«круг»}$ И $\kappa = \text{«гладкий контур»}$ И $I = 0\%$ И $l = p$ И $\delta = false$, ТО дефект = «Капля олова».

ЕСЛИ $\phi = \text{«ломаная форма»}$ И $\kappa = \text{«контур с изломами»}$ И $I = 0\%$ И $l = p$ И $\delta = false$, ТО дефект = «Оксид олова».

Указанные выше правила хранятся в БЗ текстовом виде, что позволяет ее дополнять и изменять, не затрагивая систему в целом. Эти правила компилируются системой при старте и в дальнейшем выполняются в режиме реального времени.

Для реализации разработанного алгоритма предлагается КПИТДЛС, обеспечивающий функционирование средств сбора информации с датчиков и видеокамер, автоматизированной системы управления резкой ленты стекла, автоматизированных рабочих мест (АРМ) технолога и оператора (АРМО) (рис. 2). Взаимодействие указанных компонентов осуществляется через (БД) реального времени (РВ) и общей БД производства (ОБДП). БДРВ поддерживает синхронизацию, репликацию данных и их резервирование для обеспечения отказоустойчивости в реальном масштабе ТП. ОБДП обеспечивает с помощью АРМ начальника

производства и АРМ технолога решение задач автоматизированной системы управления производством - MES-системы [3; 5; 7; 8]. АРМО являются составной частью соответствующих АСУ ТП и обеспечивают решение задач оперативного операторского управления соответствующих ТП.

БДРВ обеспечивает взаимодействие комплекса программ, АСУ резки и упаковки листового стекла и АРМО. На промышленном компьютере АСУ резкой и упаковкой листового стекла решается задача оптимизации раскроя ленты стекла с учетом производственного задания и размещения на ленте стекла выявленных дефектов. БДРВ обеспечивает оперативное решение задачи оптимизации раскроя ленты стекла за счет быстрого обмена информацией. Программное обеспечение КПИТДЛС разработано на языке программирования С++ с использованием среды разработки Visual Studio 2008 под расширение реального времени Windows RTX и реализуется на промышленном компьютере на базе отказоустойчивого двухпроцессорного сервера Fastwel AdvantiX IS-4U-SYS5.

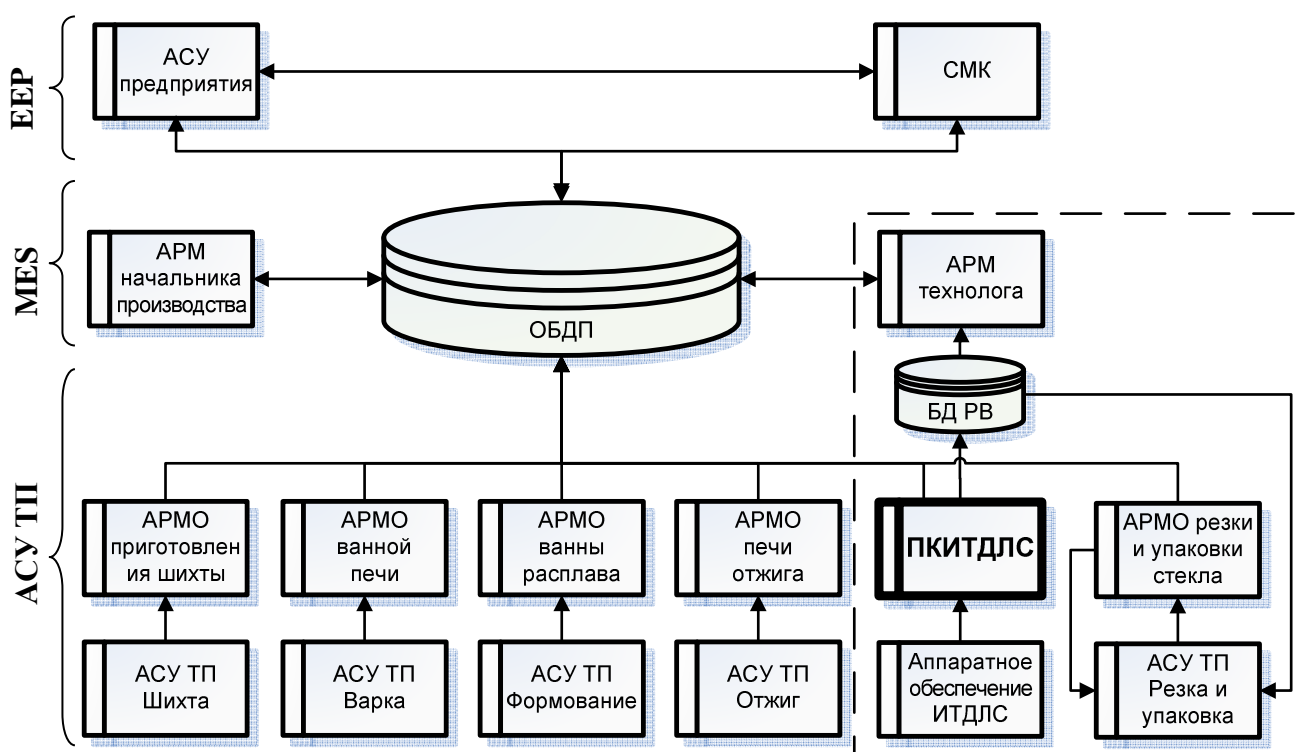


Рис. 2. Блок-схема структуры системы управления многостадийным производством листового стекла

Разработанное алгоритмическое обеспечение предоставляет в режиме реального времени классификацию наиболее часто встречающихся точечных дефектов листового стекла. Оно обеспечивает функционирование КПИТДЛС в составе автоматизированной системы управления многостадийным производством высококачественного листового стекла.

Список литературы

1. Большаков А.А., Шатохин В.В. Синтез автоматизированных комбинированных обучающих систем // Системы управления и информационные технологии. – 2004. - № 4 (16). - С. 73-77.
2. Будов В.М., Саркисов П.Д. Производство строительного и технического стекла. – М. : Высшая школа, 1991. - 319 с.
3. Домнич В.С., Иващенко В.А., Петров Д.Ю. Автоматизация поиска причин аварийных ситуаций при формовании листового стекла // Проблемы управления. - 2011. - № 5. - С. 52–58.
4. Ефимов И.В., Петров Д.Ю., Каплина Т.В. Экспертная система для идентификации точечных дефектов листового стекла // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Проблемы критических ситуаций в точной механике и управлении». – Саратов : Наука, 2013. - С. 50-52.
5. Куранов С.В., Иващенко В.А. Системный подход к построению системы автоматизированного управления процессом варки стекла // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2. - URL: www.science-education.ru/108-9054 (дата обращения: 02.12.2013).
6. Мешалкин В.П. Экспертные системы в химической технологии. - М. : Химия, 1995. – 367 с.
7. Саркисов П.Д., Бутусов О.Б., Мешалкин В.П. Компьютерные инструментальные средства молекулярной инженерии и вейвлетно-морфометрический анализ текстуры наноматериалов // Теоретические основы химической технологии. – 2011. – Т. 45. - № 1. - С. 3-14.
8. Саркисов П.Д., Бутусов О.Б., Мешалкин В.П., Севастьянов В.Г., Галаев А.Б. Математические методы анализа фрактальных структур на микрофотографиях нанокомпозитов // Теоретические основы химической технологии. – 2010. – № 3.
9. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов. - М. : Физматлит, 2003. – 592 с.

Рецензенты:

Твердохлебов В.А., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории системных проблем автоматизации и управления Института проблем точной механики и управления РАН, г.Саратов.

Якунин А.Н., д.ф.-м.н., старший научный сотрудник, заведующий сектором лаборатории системных проблем автоматизации и управления Института проблем точной механики и управления РАН, г.Саратов.