

Система поддержки принятия решений для управления цветовыми характеристиками полимерной продукции на базе нечётких моделей

Т. Б. Чистякова¹, Р. В. Макарук², А. Ч. Тедтоев³
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
¹chistb@mail.ru, ²makaruk_rv@mail.ru, ³ajam88@mail.ru

Аннотация. Представлена структура системы поддержки принятия решений для управления цветовыми характеристиками полимерной продукции на базе нечетких моделей, применение которой позволит снизить количество брака на производстве, снизить размеры производственных затрат, а также уменьшить степень загрязнения окружающей среды. Обозреваемая система имеет в своем составе модуль оценки цветовых характеристик по нечетким моделям, что делает систему гибридной, использующей в своей работе как детерминированные, так и нечеткие модели, что позволяет более эффективно и качественно справляться с задачей анализа цветовых характеристик продукции полимерных производств.

Ключевые слова: поддержка принятия решений; полимеры; полимерная пленка; анализ; цветовые характеристики; нечеткие модели; тренды качества; нечеткая логика; вторичная переработка; экспертная система; контроль качества

I. ВВЕДЕНИЕ

Полимерная промышленность является одной из самых развитых отраслей. В год в мире производится более 368 миллионов тонн полимерной продукции [1]. Вместе с ростом объемов выпускаемой продукции растут и объемы отходов производства. Таким образом, с каждым днем задача переработки вторичных полимерных материалов становится все более актуальной. Понимание важности и нужности вторичной переработки материалов было достигнуто сравнительно недавно, в связи с этим в настоящее время данному вопросу уделяется большое внимание промышленности, науки и широкой общественности [2].

Основными причинами того, почему направление переработки утилизированной продукции становится все более востребованным, являются следующие перспективы: снижение производственных затрат, снижение степени загрязнения окружающей среды как непосредственно производством, так и готовой продукцией, интенсификация рециклинга и возврата ценного сырья в производство [2, 3].

Все больше компаний и предприятий прибегают к использованию вторсырья в производстве: помимо чистого

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-79-30029)

материала, используется также и переработанный. Такое положение дел создает спрос на новые, более экономичные и оптимальные решения, как технические, так и программные [2].

С ростом количества видов возвращаемых в производство полимерных материалов растут и объемы производства, происходит возрастающая типизация производств – в различных производствах применяются аналогичные технологические приемы и способы, соответствующее оборудование для осуществления технологических процессов [1, 3, 4].

Производство полимерной продукции является сложной и комплексной процедурой, которая не может выполняться без специализированного оборудования и программного обеспечения, отвечающего требованиям времени [6]. Современные производства полимерных материалов характеризуются широким ассортиментом продукции, жесткими требованиями к качеству полуфабрикатов, изделий, неполнотой информации о прямых показателях качества и их зависимостью от множества технологических параметров, сложностью протекающих физических процессов, высокой стоимостью брака из-за дорогостоящего, дефицитного сырья, больших энергетических затрат на производство [8, 9, 10]. Все это делает актуальной задачу разработки системы поддержки принятия решений для управления цветовыми характеристиками полимерной продукции на базе нечётких моделей, которая бы соответствовала требованиям времени и предоставляла пользователям все необходимые возможности и способствовала снижению количества брака полимерной продукции на производстве.

II. МЕСТО СИСТЕМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Система поддержки принятия решений для управления цветовыми характеристиками полимерной продукции на базе нечётких моделей является одной из подсистем сложного программного комплекса для интеллектуального анализа больших данных и оценки ключевых показателей эффективности производства полимерных пленок (ПК) [8,9,10], который помимо неё включает в себя следующие модули:

- расчета показателей качества экструдата;

- оценки распределения больших производственных данных;
- расчета разнотолщинности пленки;
- оценки распределения больших производственных данных;
- расчета степени усадки пленки;
- прогнозирования качества пленки по методу адаптивного бустинга;
- идентификации нештатных ситуаций их причин и формирования советов по устранению;
- оценки состояния привода экструдера на основе спектрального анализа сигналов о вибрациях;
- интеграции больших данных производства полимерных пленок и импорта их в базу данных параметра производства;
- визуализации трендов управляющих воздействий и выходных параметров ключевых стадий;
- построения 3D графика зависимости разнотолщинности от управляющих воздействий;
- вывода советов по управлению качеством пленки;
- визуализации карты качества пленки для заказа;
- редактирования баз данных и базы знаний.

ПК включает в себя следующие базы данных: типов пленок, данных оборудования линий, технологических регламентов, контролируемых и рассчитываемых параметров производства. А также библиотеку коэффициентов математических моделей, базу знаний нештатных ситуаций, их причин и рекомендаций по устранению.

Благодаря своей гибкости и многофункциональности данный ПК является хорошим инструментом как для решения общепроизводственных, так и более узконаправленных задач. Разработка относится к классу программных пакетов, используемых анализа больших данных, мониторинга качества и управления производственным процессом [9].

Как правило, системы анализа больших данных имеют существенный недостаток – велика вероятность получения некорректного результата работы программы при неполноте входных данных, что негативно сказывается на качестве производимой продукции. В разрабатываемом ПК предусмотрены механизмы, позволяющие нивелировать негативное влияние возможной неполноты входных данных об анализируемом объекте. Одним из таких механизмов является модуль оценки цветовых характеристик по нечетким моделям [11–14], чья работа основана на анализе не только количественных, но и качественных показателей.

III. МОДУЛЬ ОЦЕНКИ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО НЕЧЕТКИМ МОДЕЛЯМ

В последние годы технология производства окрашенных полимеров сильно развилась. Также значительно расширились возможности измерения цвета. Применение компьютерных расчетов для быстрого и точного воспроизведения цвета стало стандартной процедурой [15], в том числе и с применением аппарата нечетких множеств [12–14].

Модуль оценки цветовых характеристик по нечетким моделям (МОЦ) работает со входными изображениями полимерных материалов в таких распространенных графических форматах, как jpg и png. Функциональная структура модуля (рисунок) включает в себя:

- Интерфейс исследователя – предоставляет пользователю возможность загрузить исследуемое изображение, выбрать метод сравнения, а также значение максимального отклонения параметров исследуемого образца от эталонных показателей.
- Интерфейс инженера по знаниям – предоставляет пользователю те же возможности, что и интерфейс исследователя, а также возможность просмотра и редактирования базы данных нечетких производственных правил.
- Интерфейс администратора – позволяет пользователю редактировать базы данных материалов и учетных записей пользователей, а также предоставляет возможность управления отчетами о работе программы.

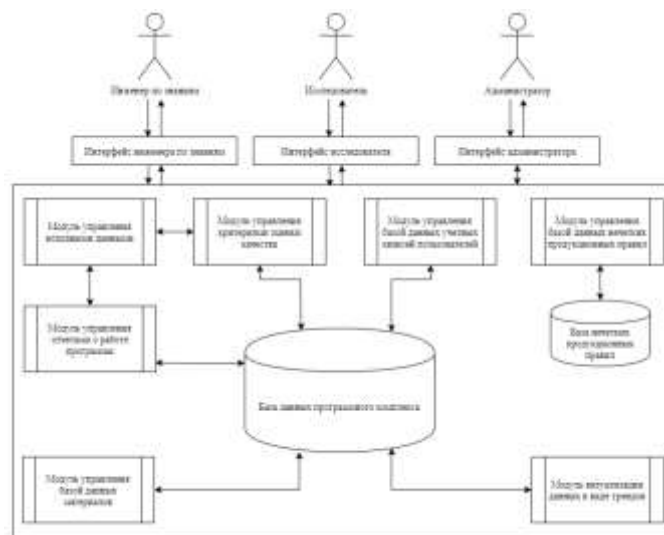


Рис. 1. Функциональная структура модуля оценки цветовых характеристик по нечетким моделям

После установки всех необходимых параметров работы МОЦ и загрузки изображения исследуемого образца, модуль выводит на экран результат работы, включающий в себя: изображение эталонного образца, позволяющее пользователю самому сравнить эталон и анализируемый образец, загруженное пользователем изображение, с локализованными на нем областями с обнаруженными

дефектами или отклонениями от нормативных показателей, тренды, позволяющие пользователю сравнить полученный результат с предыдущими, а также сообщение с рекомендациями по управлению.

Для цветового анализа загружаемого пользователем образца и его дальнейшего сравнения с эталоном, МОЦ преобразует параметры цветового пространства RGB в цветовую пространственную модель CIE Lab. В этой модели L , a и b – обозначения координат системы (L^* – светлота, а a^* и b^* – координаты цветности). Направление красного цвета обозначается как $+a$, зеленого – как $-a$, желтого – как $+b$, синего как $-b$. L^* варьируется от 0 до 100, где 0 – темный черный цвет, 100 – яркий белый, а a^* и b^* – в диапазоне от -128 до 127 , при a^* и $b^* = 0$, считается что они принимают истинные нейтральные серые значения [15].

CIE Lab была разработана в 1920 году и актуальна до сих пор. Ее отличие от RGB модели в том, что она предоставляет возможность вычисления числового показателя ΔE , характеризующего евклидово расстояние между двумя цветовыми координатами, по которому можно судить о степени деструкции материала, путем сравнения эталонного показателя, установленного оператором в соответствии с поставленными технологическими задачами и значения, полученного в результате анализа [15].

МОЦ анализирует не все изображение целиком, а разбивает его на n равных квадратов, в соответствии с установленной сеткой, и последовательно анализирует их. Такой подход позволяет распознавать дефекты различного размера, в зависимости от настроек, установленных пользователем – чем меньше размер ячеек сетки, тем более вероятно, что программа обнаружит даже самые незначительные отклонения [11–16]. Этот механизм является одним из многих механизмов разрабатываемой системы, обеспечивающих ее гибкость. Таким образом, исследователь, в зависимости от своих целей и применяемого технологического регламента, может настроить программу подходящим образом [11].

МОЦ представляет собой гибридную систему, сочетающую в себе как детерминированные, так и нечеткие модели, что позволяет осуществлять более полный, комплексный анализ качества. В связи с этим, данные, полученные после преобразования цветовой пространственной модели, передаются в модуль нечеткой логики, на основе результатов вычислений которого программа делает вывод о состоянии исследуемого материала и сообщает об этом пользователю.

Модуль нечеткой логики разработан на основе программного пакета «Конструктор нечетких моделей» [17], который также является разработкой нашей научной школы. Работа модуля нечеткой логики заключается в анализе входных переменных, полученных при сравнении характеристик эталонного образца и исследуемого изображения, а также базы нечетких производственных правил, которую можно назвать ядром модуля, так как именно она основана на экспертных

знаниях и оценках в области производства полимерных материалов.

На основе работы модуля нечеткой логики формируется сообщение с рекомендациями по управлению. Затем полученный результат сравнивается с предыдущими, и формируются тренды качества, и все это вместе с изображением с локализованными дефектными областями выводится пользователю на экран.

IV. ТЕСТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ОЦЕНКИ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для тестирования разработки были использованы экземпляры эталонных и дефектных образцов полимерных пленок, предоставленных компанией «Клэкерн Пентапласт Рус». Тестирование прошло успешно, программа корректно распознавала дефекты на образцах с браком. Результаты работы программы соответствовали ожидаемым.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была рассмотрена структура гибкой настраиваемой системы поддержки принятия решений для управления цветовыми характеристиками полимерной продукции на базе нечетких моделей. Данная система способна анализировать качество полимерной продукции даже в условиях нехватки входных данных об объекте исследования, что достигается путем использования в системе не только количественных, но и качественных параметров – экспертных знаний и оценок. Разработка позволит снизить количество брака продукции, повысить эффективность производства, уменьшить количество производственных отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Production of plastics worldwide from 1950 to 2019. Available at: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950> (accessed 12 March 2021).
- [2] Мешалкин В.П., Ходченко С.М. Инжиниринг как многофункциональный вид технического и организационно-технологического творчества // Русский инженер. 2017. № 1 (54). С. 42-47.
- [3] Meshalkin V.P. Energy-Saving Technology Performance and Efficiency Indexes. In *Chemical Engineering Transactions*, 200, Vol. 18, pp. 953–958. DOI:10.3303/CET0918156.
- [4] Grossmann I. E., Harjunkski I. Process systems Engineering: Academic and industrial perspectives. *Computers and Chemical Engineering*, 2019, pp. 474–484. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2019.04.028
- [5] Meshalkin V. P., Khodchenko S. M. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems. *Polymer Science*, 2017, Series D, 10(4), pp. 347–352. DOI: 10.1134/S1995421217040128
- [6] Muhamad Khair N. K., Lee K. E., Mokhtar M., Goh C. T. (2018). Integrating responsible care into quality, environmental, health and safety management system: A strategy for Malaysian chemical industries. *Journal of Chemical Health and Safety*, 2018, Vol. 25(5), pp. 10–18. DOI: 10.1016/j.jchas.2018.02.003
- [7] Chistyakova T.B., Razygrayev A.S., Makaruk R.V., Kohlert C. Decision support system for optimal production planning polymeric materials using genetic algorithms // Proceedings of the XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2016). SPb.: SPb Electrotechn. Univ., 2016. P. 257–259. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519746.

- [8] Чистякова Т.Б. Программный комплекс для автоматизированного интеллектуального анализа промышленных технологических процессов / Т.Б. Чистякова, А.С. Разыграев, М.А. Тетерин // Неделя науки: Материалы V научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015. С. 189.
- [9] Чистякова Т.Б. Программный комплекс для интеллектуального анализа промышленных технологических процессов / Т.Б. Чистякова, М.А. Тетерин, Р.Р. Шаяхметов // Материалы науч.-прак. конф. посвящ. 186-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ). СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014. С. 268.
- [10] Чистякова Т.Б., Тетерин М.А. Программный комплекс для мониторинга и управления качеством полимерных пленок международной промышленной корпорации // Динамика сложных систем – XXI век. 2018. Т. 12. № 3. С. 52–62.
- [11] Тедтоев, А.Ч. Разработка программного комплекса для анализа и исследования цветовых характеристик полимерной пленки на базе нечетких моделей/ А.Ч. Тедтоев, Р.В. Макарук // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-33. Том 7. 2020.
- [12] Soto-Hidalgo J., Sánchez D., Chamorro-Martínez J., Martínez-Jiménez P., Color comparison in fuzzy color spaces. *Fuzzy Sets and Systems* (2019).
- [13] Abu Hassan M., Yusof Y., Azmi M, Mazli M., Fuzzy logic based intelligent control of RGB colour classification system for undergraduate artificial intelligence laboratory. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science* (2012) 2198 713-718.
- [14] F. J. Montecillo-Puente, V. Ayala-Ramirez, A. Perez-Garcia and R. E. Sanchez-Yanez, "Fuzzy color tracking for robotic tasks," *SMC'03 Conference Proceedings. 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Theme – System Security and Assurance* (Cat. No.03CH37483), Washington, DC, USA, 2003, pp. 2769-2773 vol.3, doi: 10.1109/ICSMC.2003.1244304.
- [15] Производство окрашенных пластмасс / под редакцией Р. А. Чарвата. Санкт-Петербург: НОТ, 2009. 400 с.
- [16] C. Vertan, N. Boujemaa and V. Buzuloiu, "A fuzzy color credibility approach to color image filtering," *Proceedings 2000 International Conference on Image Processing* (Cat. No.00CH37101), Vancouver, BC, Canada, 2000, pp. 808-811 vol.2, doi: 10.1109/ICIP.2000.899832.
- [17] Токмаков А.Н. Программный комплекс для формализации экспертных знаний при нечетком (фаззи) моделировании: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.-Петерб. гос. технол. ин-т. Санкт-Петербург, 2002. 20 с.