

Методы и технологии применения нечётких моделей для обработки промышленных данных и управления качеством полимерных материалов

Т. Б. Чистякова

Санкт-Петербургский
государственный технологический
институт (технический
университет)
chistb@mail.ru

Р. В. Макарук

Санкт-Петербургский
государственный технологический
институт (технический
университет)
makaruk_rv@sapr.lti-gti.ru

А. Ч. Тедтоев

Санкт-Петербургский
государственный технологический
институт (технический
университет)
ajam88@mail.ru

Аннотация. В работе представлены методы и технологии применения нечетких моделей для анализа и управления качеством полимерных материалов. В соответствии с рассматриваемыми подходами была разработана единая перенастраиваемая компьютерная система, позволяющая производить комплексный анализ качества продукции многоассортиментных полимерных производств. Описываются методы и технологии, позволяющие применять нечеткие модели для оценки цветовых характеристик полимерных материалов, что позволяет устранить неполноту входных данных об объекте исследования и улучшить качество результатов работы системы в целом.

Ключевые слова: обработка больших промышленных данных, методы и технологии, полимерная пленка, анализ, цветовые характеристики пленки, нечеткие модели, показатели качества, экспертная система, контроль качества.

I. ВВЕДЕНИЕ

Полимерная продукция крайне востребована в наши дни, а объемы производства со временем лишь растут и на сегодняшний день достигли отметки в 375 миллионов тонн в год [1]. В связи с этим предприятия, занимающиеся производством полимерных материалов, заинтересованы в модернизации производственных процессов и внедрении новых технологий. Сочетание современных аппаратных и программных средств позволяет упростить мониторинг качества продукции и повысить качество управления производственными процессами [2].

Современные производства полимерных материалов характеризуются широким ассортиментом продукции, жесткими требованиями к качеству 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 [3].

В связи с этим, алгоритмическое оснащение современных программных пакетов, предназначенных для использования на производстве, должно позволять эффективно и качественно выполнять задачу анализа качества продукции даже в условиях неполноты входных данных об объекте исследования. Благодаря этому

становится актуальной задача разработки гибкой, настраиваемой компьютерной системы, которая бы позволяла осуществлять комплексный анализ характеристик полимерной пленки. Использование различных подходов для комплексного анализа качественных и количественных характеристик продукции позволит снизить количество брака и повысить качество производства [4].

II. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДАННЫХ

В системах анализа больших промышленных данных присутствует риск получения некорректного результата работы программы при неполноте входных данных, что негативно сказывается на качестве производимой продукции. Однако разработанный программный комплекс является гибридным и помимо обработки больших промышленных данных предусматривает также механизмы, позволяющие сгладить негативное влияние возможной неполноты входных данных об анализируемом объекте. Одним из таких механизмов является модуль оценки цветовых характеристик полимерных материалов по нечетким моделям, чья работа основана на анализе не только количественных, но и качественных показателей, включающий в себя базу экспертных знаний.

Программный комплекс для обработки промышленных данных (ПКОБ) разработан с учетом большого количества производственных показателей, таких как температурные режимы процесса экструзии полимерной пленки, толщина, степень усадки, скорость и частота вращения шнека, блеск, прозрачность, цветовые координаты пленки и т. д. При этом некоторые характеристики оцениваются не количественно, а качественно, например, цветовые характеристики экструдата и пленки, в связи с чем потребовалось произвести декомпозицию программного комплекса, с разбиением на следующие подсистемы и модули, применяемые в зависимости от типа входных данных [5]:

- обработка больших промышленных данных: модуль оценки распределения больших производственных данных, модуль интеграции и импорта больших данных в базу данных параметров производства, модули прогнозирования качества пленки по регрессионным моделям и по методу адаптивного бустинга;

- расчет показателей производства: модуль расчета показателей экструдата, модуль расчета разнотолщинности пленки, модуль расчета степени усадки пленки;
- визуализация результатов работы программного комплекса: модуль идентификации нештатных ситуаций их причин и формирования советов по их устранению, модуль визуализации трендов управляющих воздействий и выходных параметров ключевых стадий, модуль построения 3D графика зависимости разнотолщинности от управляющих воздействий, модуль вывода советов по управлению качеством пленки, модуль визуализации карты качества пленки для заказа;
- оценка показателей производства: модуль оценки состояния привода экструдера на основе спектрального анализа сигналов о вибрациях, модуль оценки цветовых характеристик по нечетким моделям.

ПКОБ включает БД типов пленок, БД данных оборудования линий, БД технологических регламентов, БД контролируемых и рассчитываемых параметров производства, БД математических моделей, библиотеку коэффициентов математических моделей, базу знаний нештатных ситуаций, их причин и рекомендаций по устранению [6].

Таким образом каждая из подсистем отвечает главным образом за один тип параметров производства – рассчитываемые, измеряемые и оцениваемые (количественные и качественные показатели).

Благодаря своей гибкости, многофункциональности и модульной архитектуре вышеописанный программный комплекс является хорошим инструментом как для решения общепроизводственных, так и более узконаправленных задач. Разработка относится к классу программных пакетов, использующих анализ больших промышленных данных, мониторинга качества и управления производственным процессом.

III. МОДУЛЬ ОЦЕНКИ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО НЕЧЕТКИМ МОДЕЛЯМ

На данный момент на рынке программных средств, используемых для контроля качества на производстве, имеется большое количество широко настраиваемых программных пакетов, предназначенных для анализа многочисленных характеристик продукции. Основным источником информации об анализируемом объекте для них служат устройства машинного зрения [7]. По результатам работы таких систем управленческий персонал предприятия обнаруживает дефекты или какие-либо отклонения в характеристиках материала и принимает решение по урегулированию возникшей ситуации. Разработанный нами модуль является интеграцией различных подходов к анализу качества продукции и сочетает в себе как использование детерминированных моделей, так и нечетких, с

формализованными экспертными знаниями, что позволяет восполнить неполноту входных данных об объекте исследования и повысить достоверность результатов работы системы.

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 [7].

Модуль оценки цветовых характеристик полимерных пленочных материалов по нечетким моделям работает со входными изображениями полимерных пленок в таких распространенных форматах, как jpg и png и предназначен как для работы с потоком изображений, так и с единичными образцами. Функциональная структура модуля представлена ниже и включает в себя:

- Интерфейс производственного персонала – предоставляет пользователю возможность ознакомиться с трендами качества продукции, а также получить соответствующую рекомендацию по управлению, в случае обнаружения отклонений характеристик анализируемого образца от эталонных показателей.
- Интерфейс инженера по знаниям – предоставляет пользователю те же возможности, что и интерфейс производственного персонала, 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.

Основным интерфейсом программы является интерфейс производственного персонала. После установки всех необходимых параметров работы программы и загрузки изображений исследуемого образца, программа выдает результат, включающий в себя: изображение эталонного образца, позволяющее пользователю сравнить эталон и анализируемый образец, загруженное пользователем изображение, с локализованными на нем областями с какими-либо дефектами или отклонениями от нормативных показателей, тренды качества, отражающие различные параметры проанализированных ранее образцов продукции, позволяющие пользователю сравнить полученный результат с предыдущими, а также сообщение с рекомендациями по управлению.

Модуль оценки цветовых характеристик полимерных пленочных материалов по нечетким моделям предназначен для использования в составе ПКОБ, однако может функционировать и как отдельный программный модуль.

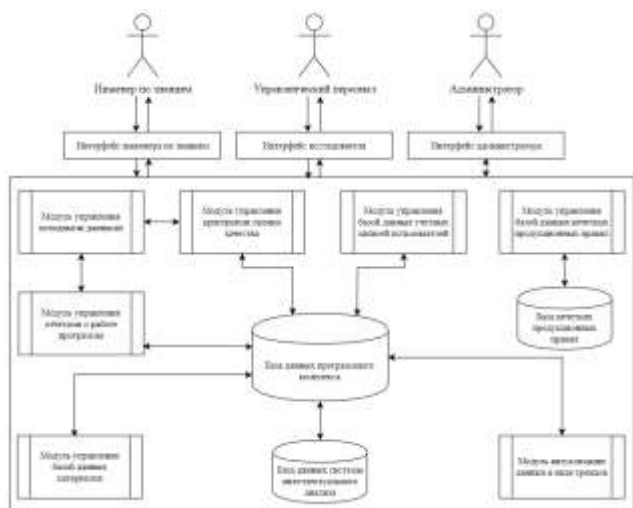


Рис. 1. Функциональная структура модуля оценки цветковых характеристик по нечетким моделям

Для цветового анализа загружаемого пользователем образца и его дальнейшего сравнения с эталоном, программа преобразует параметры цветового пространства RGB в цветовую пространственную модель CIE Lab [8]. В этой модели L , a и b – обозначения координат системы (L^* – светлота, 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, a^* и b^* – в диапазоне от -128 до 127, при a^* и b^* = 0, считается, что они принимают истинные нейтральные серые значения [7].

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 [7], 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.

Полученные в результате сравнения цветковых характеристик показатели поступают в модуль нечеткой логики в качестве входных параметров, на основе вычислений которого программа делает вывод о состоянии исследуемого образца и выдает соответствующие рекомендации пользователю.

Ядром модуля нечеткой логики является база экспертных знаний и оценок, для формирования которой был проведен опрос группы экспертов в области производства полимерных пленочных материалов. Подбор количественного и качественного состава экспертов производился исходя из оценки широты проблемы, предполагаемой достоверности оценок, и ресурсных затрат [9]. Также, для создания экспертной модели, была проведена обработка экспертных оценок, определена обобщенная оценка объектов, проведено ранжирование и определены зависимости между ними, а также определен уровень согласованности мнений экспертов. На основе проведенного анализа была создана и апробирована на массиве данных модель, результаты применения которой были также верифицированы

опрошенными экспертами, во избежание ошибок интерпретации [10].

Для формализации входных экспертных знаний и описания термов нечетких лингвистических переменных была использована μ -функция, как имеющая наиболее универсальную форму [11, 12]. Помимо гибкости, μ -функция обладает рядом других полезных качеств, так, например, она дифференцируема в граничных точках терма $(a_1, 0)$ $(b_1, 1)$ $(b_2, 1)$ $(a_2, 0)$, что позволяет использовать такую аппроксимацию для настройки нечетких моделей градиентными методами, а также она равна нулю за пределами граничных точек a_1 и a_2 .

Нечеткая система оценивает следующие входные переменные – ΔL , Δa , Δb , ΔE , где ΔL , Δa , Δb – разности, полученные при сравнении характеристик эталонного образца и исследуемого изображения, а также включает в себя базу знаний нечетких продукционных правил, основанных на экспертных знаниях и оценках Синтезированная таким образом нечеткая модель позволяет улучшить полноту и достоверность данных об анализируемом объекте, что способствует повышению качества результатов работы программного комплекса в целом.

Основной входной информацией модуля является изображение анализируемого образца. Изображение анализируется не целиком, а разбивается на сетку с n -ным количеством равных частей 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. Этот механизм является одним из многих механизмов разрабатываемой системы, обеспечивающих ее гибкость. Таким образом, производственный персонал, в зависимости от своих целей и применяемого технологического регламента, может настроить программу подходящим образом.

Модуль построения трендов качества, в отличие от остальных, напрямую зависит от базы данных программного комплекса для обработки промышленных данных, что позволяет пользователю получить более разностороннюю информацию о проанализированных ранее образцах. Такой подход, помимо прочего, позволяет понять тенденции изменения показателей продукции и более точно выявить проблемные места производственного цикла. Примеры работы модуля построения трендов качества полимерной продукции (рис. 2, 3).

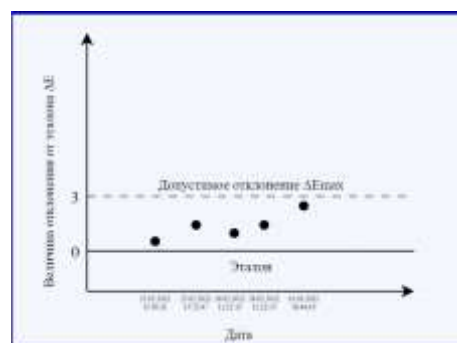


Рис. 2. Динамика изменения параметра ΔE при анализе полимерной пленки

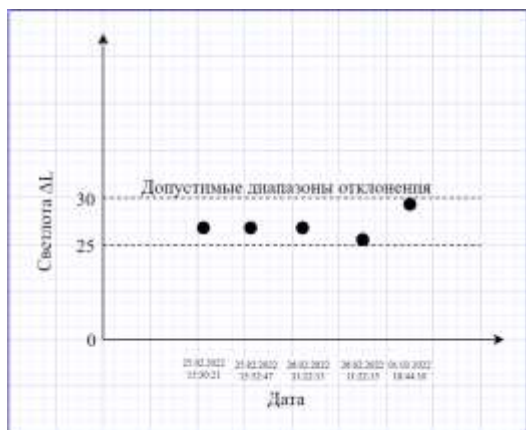


Рис. 3. Динамика изменения параметра ΔL (светлоты) при анализе полимерной пленки

Разработанный программный комплекс для обработки промышленных данных представляет из себя 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.

На основе работы модуля нечеткой логики формируется сообщение с рекомендациями по управлению, например: “Сообщение от “01.03.2022, 18:44:12” зафиксировано превышение среднего значения ΔE (2,87), а также повышенное значение ΔL (28,42), и Δb (78,47). Необходимо увеличить объем желтого красителя”. Затем полученный результат сравнивается с предыдущими и формируются тренды качества. Таким образом пользователь получает не только рекомендации по управлению, но также может ознакомиться с трендами качества и визуально сравнить эталонный и анализируемый образцы, чтобы убедиться в корректности выдаваемой программой рекомендации по управлению.

IV. ТЕСТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ ОЦЕНКИ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для тестирования разработки были использованы экземпляры эталонных и дефектных образцов полимерных пленок, предоставленных компанией “Клэкер Пентапласт Рус”. Тестирование прошло успешно, программа корректно распознала дефекты на образцах с браком, что подтверждает работоспособность программного комплекса.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены методы и технологии, применения нечетких моделей для обработки промышленных данных и прогнозирования цветовых характеристик полимерных материалов, благодаря которым разработанная система способна анализировать качество полимерной продукции, устраняя возможную неполноту входных данных, что достигается путем использования в системе не только количественных, но и качественных параметров – экспертных знаний и оценок. Тестирование программного комплекса на промышленных данных подтвердило его работоспособность. Применение разработки на промышленных предприятиях приводит к снижению количества брака продукции, за счет повышения достоверности выдаваемых системами мониторинга качества решений, а также к росту скорости принятия управленческих решений, что позволит повысить эффективность производства в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] “Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data” Available at: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/09/Plastics_the_facts -WEB- 2020_versionJun21_final.pdf (accessed 5 January 2022).
- [2] Forecasting plastic waste generation and interventions for environmental hazard mitigation Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421022986?via%3Dihub> (Accessed 3 February 2022).
- [3] Сутягин В.М., Ляпков А.А. Общая химическая технология полимеров: учеб. пособие / 5-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 208 с.
- [4] Kohlert M. Advanced process data analysis and on-line evaluation for computer-aided monitoring in polymer film industry / М. Kohlert, Т.В. Chistyakova // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2015. № 29. С. 83–88.
- [5] Чистякова Т.Б. Программный комплекс для мониторинга и управления качеством полимерных пленок международной промышленной корпорации / Т.Б. Чистякова, М.А. Тетерин // Динамика сложных систем – XXI век. 2018. Т. 12, № 3. С. 52–62. – DOI: 10.18127/j19997493-201803-08.
- [6] Chistyakova T., Teterin M., Razygraev A., and C. Kohlert. 2016. “Intellectual analysis system of big industrial data for quality management of polymer films.” Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 9719: 565-572. doi: 10.1007/978-3-319-40663-3_65.
- [7] Производство окрашенных пластмасс / под редакцией Р.А. Чарвата. Санкт-Петербург : НОТ, 2009. 400 с.
- [8] Автоматизированная система управления цветом каландрированных полимерных пленок / А.С. Разыграев, Т.Б. Чистякова, А.Н. Полосин, К. Колерт // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2012. № 14. С. 102–106.
- [9] Токмаков А.Н. Программный комплекс для формализации экспертных знаний при нечетком (фаззи) моделировании : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.18 / С.-Петерб. гос. технол. ин-т. Санкт-Петербург, 2002. 20 с.
- [10] Методы обработки экспертной информации: учебно-метод. пособие / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов; ГУАП. СПб., 2005.
- [11] Tavana M. and Hajipour V. (2020), "A practical review and taxonomy of fuzzy expert systems: methods and applications", Benchmarking: An International Journal, Vol. 27 No. 1, pp. 81-136.
- [12] Fuzzy Systems and Applications in Innovation and Sustainability'. Leon-Castro, Ernesto et al., 1 Jan. 2021: 1723–1726.