

модулей при построении простой системы с одним МГ. Среднее время доступа к ОЗУ, в котором происходит рисование, около 10 нс (обычно это самый медленный участок тракта рисования). Соответственно, за один кадр (при кадровой частоте 25 Гц) возможно произвести 4000000 обращений, что при разрешении 1280x1024 дает покрытие K_n (количество прорисовок одной и той же точки) не более 3, а при использовании α -канала или Z-буфера, соответственно, не более 1,5. Для качественной прорисовки двумерной карты K_n должен быть не менее 4. Для примера на рис. 2, фрагмент 5 прорисовывается с коэффициентом $K_n < 2$ (всего не более $1280 \times 1024 \times 2 = 2621440$ точек). Остается 1378560 точек, что при $K_n = 4$ дает эффективную зону прорисовки не более 344640 точек, или 0,26 от всего экрана. В результате фрагменты 1–4 («зона интереса») занимают четверть экрана, что вполне удовлетворяет требованиям наглядности карты. В рамках одного МГ фрагменты прорисовываются последовательно (5-1-2-3-4), после чего объединяются в единое изображение в индикаторе на базе возможностей, предоставляемых протоколом ARINC-818-2. Без применения описываемого подхода реализация картографической системы на МГ с ограниченным быстродействием и заявленным выходным разрешением была бы невозможна. При классическом подходе в таком случае снижают разрешение или частоту обновления информации.

Выводы.

Использование систем на базе ИМА и с использованием перспективных программно-аппаратных интерфейсов для реализации картографических систем позволяет решить ряд проблем, возникающих по причине ограниченности ресурсов бортовых вычислительных систем за счет гибкости предлагаемой системы и достаточно широкой номенклатуры предлагаемых для построения системы модулей.

Литература

1. Богданов, А. В. Платформа интегрированной модульной авионики: Патент на полезную модель №108868 U1 RU, МПК G06F 9/00, №2011121962/08 / А. В. Богданов, Г. А. Васильев, П. С. Виноградов, К. А. Егоров,
2. Богданов, А. В. Принцип построения бортовых цифровых картографических систем авионики с трехмерным режимом индикации геоинформационных данных / А. В. Богданов, О. В. Богданова, П. С. Виноградов // Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – Томск, 2014. – Т. 1. – С. 73–74.
3. Книга, Е. В. Базовые структуры модулей и вычислительных систем интегрированной модульной авионики / Е. В. Книга, И. О. Жаринов, М. О. Костишин // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Научное творчество молодежи. Математика. Информатика» (г. Анжеро-Судженск, 24–25 апреля 2014 г.). – Томск, 2014. – Ч. 1. – С. 137–144.
4. Костишин, М. О. Оценка частоты обновления информации в видеопотоке индикации бортовых геоинформационных данных авионики / [М. О. Костишин и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2014. – №4. – С. 9–15.
5. Малышкин, К. В. Ситуационная адаптация пространственных данных для решения бортовых геоинформационных задач / К. В. Малышкин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 4 (20). – С. 66–75.
6. Парамонов, П. П. Реализация структуры данных, используемых при формировании индикационного кадра в бортовых системах картографической информации / [П. П. Парамонов и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2. – С. 165–167.
7. Сухомлинов, Д. В. Современные методы реализации геоинформационных задач на борту летательных аппаратов / Д. В. Сухомлинов, А. П. Патрикеев, К. В. Малышкин // Наука и транспорт. Гражданская авиация. – 2012. – №1. – С. 16–17.
8. Grunwald, P. Overview of ARINC 818 Supplement 2 / P. Grunwald // Avionics Magazine, 2014. – 7 April.
9. Keller, T. ARINC 818 adds capabilities for high-speed sensors and systems / T. Keller, P. Grunwald // Infrared Technology and Applications XL Conference. – 2014. – 26 June.
10. Keller, T. What's New in ARINC 818 Supplement 2 / T. Keller // 32nd Digital Avionics Systems Conference. – 2013. – 6–10 October.

УДК 667. 6

И. А. Варфоломеев, Е. В. Еришов, Л. Н. Виноградова, А. А. Кириловский, В. М. Осколков
Череповецкий государственный университет

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО ОТКЛОНЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ ОЦИНКОВАННОЙ ПОЛОСЫ НА БАЗЕ РЕШЕНИЙ КОМПАНИИ OMRON

В статье на основе факторного анализа определены технологические параметры, влияющие на коэффициент цветового отклонения полимерного покрытия. Представлена децентрализованная структура нейро-нечеткого модуля прогнозирования цветового различия. Предложен способ интеграции разработанного модуля в систему управления производством на базе решений компании «Omron».

Предварительно окрашенный прокат, цветовое отклонение, факторный анализ, нейро-нечеткая модель, "Omron", система технического зрения "ХРЕСТИА".

The process parameters that affect the rate of the color difference of the polymer coating were determined on the basis of factor analysis. The paper presents the decentralized structure of neuro-fuzzy prediction module of color difference. Also the article describes the suggested method for the integration of the developed module into production control system on the base of Omron solutions.

Pre-painted strip, color difference, factor analysis, neuro-fuzzy model, Omron, vision system «ХРЕСТИА».

Введение.

Одним из видов продукции, производимой металлургическими предприятиями, является горячеоцинкованный предварительно окрашенный прокат. Данный сортament имеет высокую добавленную стоимость, что обеспечивает значительную прибыльность линий полимерных покрытий металла. Согласно прогнозам ключевых производителей окрашенного проката, к 2021 г. стоит ожидать увеличения спроса примерно в 2 раза по сравнению с показателями 2014 г. [3]. Строительство является основным драйвером роста потребления данного вида продукции. В первую очередь, это связано с реализацией ряда федеральных целевых программ, таких как: «Жилище», «Развитие регионов», «Развитие транспортной инфраструктуры», а также сооружением ряда спортивных объектов. Из-за высокой востребованности окрашенного оцинкованного проката на внутреннем рынке и за рубежом металлургические компании интенсивно наращивают производственные мощности своих предприятий.

Основным инструментом конкурентной борьбы в текущих условиях рынка является увеличение клиентоориентированности за счет повышения качества продукции или снижения ее стоимости. Снижение себестоимости производимой продукции может быть осуществлено за счет исключения технологических операций и требований, не приносящих ценности конечному потребителю. Например, требования, которые предъявляет клиент, использующий окрашенный прокат при производстве автомобильного кузова, и требования, предъявляемые к прокату для строительства забора дачного участка, будут различаться в ряде показателей лакокрасочного материала (ЛКМ). Это означает, что во втором случае потребитель переплачивает за качество, которое для него не является необходимым. При выполнении этого заказа можно использовать меньшее количество краски, снизить температуру сушки покрытия с целью уменьшения расхода газа и отказаться от дополнительных испытаний конечной продукции.

Для того чтобы гибко управлять показателями качества готовой продукции в соответствии с требованиями клиента, необходимо понимать, какие технологические параметры и в какой степени влияют на них. Для ответа на этот вопрос используется методология QFD (Quality Function Deployment), которая акцентирует внимание на важнейших характеристиках продукции с точки зрения потребителя и преобразует их в технологические параметры производства. Задача определения «функции качества» зачастую осложняется отсутствием описания и физиче-

ских закономерностей процессов, влияющих на показатели качества.

В настоящее время при производстве проката с полимерным покрытием внутри одного рулона и между партиями металла зачастую возникает цветовое отклонение (ΔE) произведенной стали с покрытием от установленного эталона. Технологический персонал не может с достаточной точностью сказать, какие процессы и технологические параметры и в какой степени влияют на коэффициент цветового отклонения полимерного покрытия.

Проблема устранения цветового различия решалась для различных объектов и сфер применения [4], [6], [7], однако полученные результаты не могут быть адаптированы для рассматриваемой предметной области в связи со специфичностью технологического процесса производства предварительно окрашенного проката. По этой причине построение модели, позволяющей осуществлять прогнозирование цветового отклонения полимерного покрытия оцинкованной полосы для заданных значений технологических параметров, представляется актуальной научно-технической задачей.

Основная часть.

Описание технологии нанесения полимерного покрытия. Технология "Coil Coating", или валковый метод нанесения покрытия, является наиболее часто используемым способом окраски оцинкованной полосы, при котором нанесение ЛКМ происходит в непрерывных поточных линиях. В этом процессе металлические полосы рулонного проката подвергаются специальной обработке и последующему нанесению покрытия с помощью валковых машин.

Процесс окраски оцинкованной полосы по технологии "Coil Coating" состоит из следующих этапов: обработка поверхности полосы хромирующим раствором, нанесение грунтовочного слоя, сушка грунтовочного слоя, нанесение эмали (отделочного слоя) окрасочными валами, сушка отделочного слоя, смотка полосы в рулоны. Нанесение покрытий осуществляется с помощью грунтовочного и отделочного коутеров, которые состоят из наносящего вала, заборного вала и ванны с краской. Цвет ЛКМ определяется согласно каталогу цветовых гамм RAL.

Сушка полимерных покрытий осуществляется в специальных печах – это печи грунтовочного слоя и печи отделочного слоя. Такие печи имеют одинаковую конструкцию, и процесс сушки в них проходит идентично. Печи включают в себя 7 зон, каждая из которых оснащена отдельной горелкой и системой регулирования. Единственным различием между ни-

ми является температурный режим, который необходим для сушки слоев.

Факторный анализ цветового отклонения. Для понимания причины возникновения цветового различия при производстве предварительно окрашенного проката необходимо рассмотрение его природы. Геометрический смысл цветового отклонения заключается в том, что оно описывает разницу между двумя цветовыми воздействиями, определяемую как Евклидово расстояние между точками, описывающими эти цвета в пространстве CIELAB с системой координат L^* , a^* , b^* . Данное пространство разработано Международной комиссией по свету с целью упрощения обмена информацией о цвете. Оно образуется в результате представления основных цветов (белого, красного, черного, синего, желтого, зеленого) в системе координат, представленной на рис. 1 [8], [10].

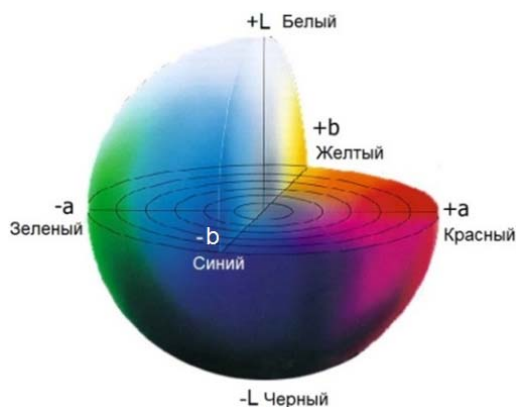


Рис. 1. Цветовое пространство CIELab

Значение координаты L характеризует цветовое различие в светлую (белую) и темную (черную) сторону относительно стандарта. Положительное значение координаты a говорит о том, что цвет образца более красный, чем стандарт, отрицательное – более зеленый. Координата « b » показывает отклонение по желтой и синей составляющим цвета.

Полное цветовое различие рассчитывается по формуле:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2}, \quad (1)$$

где L , a , b – координаты образца, L_0 , a_0 , b_0 – координаты стандарта [1].

В качестве цвета-стандарта при расчете цветового отклонения полимерного покрытия выступает цвет из таблицы RAL, который заказывает потребитель. Измерение цветовых координат полимерного покрытия образца выполняется с помощью спектрофотометра во время лабораторных испытаний готовой продукции. Для дальнейших исследований использовался прокат, у которого заданный цвет равен RAL 3005 (темно-красный).

Для определения перечня параметров, влияющих на коэффициент цветового различия, была собрана

ретроспективная информация о работе агрегата за последний год. Для каждого произведенного рулона эта выборка содержала все технологические параметры, хранящиеся в АСУТП, параметры ЛКМ и фактические значения цветового отклонения (всего 53 параметра). Дальнейшая обработка полученного набора данных осуществлялась в пакете SPSS Statistics.

На первом этапе была построена матрица корреляций между всеми возможными парами переменных размерностью 53×53 . Целесообразность выполнения факторного анализа была оценена с помощью критерия сферичности Бартлетта и критерия адекватности выборки Кайзера-Мейера-Олкина [11], [13]. На основе метода главных компонент было выделено 3 фактора, которые на 92 % определяют дисперсию параметра цветового отклонения.

Первый фактор включает в себя температуры первых четырех зон печи отделочного слоя (T_{31} , T_{32} , T_{33} , T_{34}), определяющие режим сушки покрытия. Состав переменных, включенных в этот фактор, объясняется тем, что именно в первых четырех зонах печи формируется верхняя пленка полимерного покрытия, определяющая конечный цвет. В оставшихся зонах происходит затвердевание нижнего слоя покрытия. Второй фактор определяется такими параметрами полосы, как толщина (h) и скорость прохождения через технологические участки (V). Третий фактор характеризует покрытие и включает такие параметры, как его толщина ($h_{\text{пок}}$) и удельный вес твердых частиц в ЛКМ (w).

Разработка интеллектуального модуля прогнозирования цветового отклонения полимерного покрытия. Сложность формализации физических процессов, влияющих на цветовое отклонение, определила выбор интеллектуальных систем для реализации модуля прогнозирования. Модели этого типа реализуют концепцию «черного ящика». В этих условиях хорошей практикой является внесение максимально возможной структурной ясности в модель с целью снижения возможных скрытых ошибок. Прогнозирование полного цветового отклонения потенциально могло привести к появлению кумулятивной ошибки по каждому из его составляющих (ΔL , Δa , Δb). По этой причине вместо полного цветового отклонения прогнозирование осуществлялось для трех его составляющих. После этого по формуле 1 на основе прогнозных значений ΔL , Δa , Δb выполнялся расчет значения ΔE .

Наличие в модели прогнозирования трех выходных переменных (ΔL , Δa , Δb) и восьми входных переменных (T_{31} , T_{32} , T_{33} , T_{34} , h , V , w , $h_{\text{пок}}$), полученных в результате факторного анализа, делает модель многосвязной. В общем случае многосвязный объект в момент времени t содержит n входов $x_i(t)$, $i = 1 \dots n$, и m выходов $y_j(t)$, $j = 1 \dots m$, причем каждый вход в разной степени действует на каждый выход [2]. Эффективным способом решения проблемы многосвязности интеллектуальной модели является метод децентрализации [9]. При децентрализации общая задача декомпозируется на подзадачи меньшей размерности.

Для модели прогнозирования цветового отклонения полимерного покрытия необходимо декомпозировать (децентрализовать) многосвязную модель на три подмодели (рис. 2).

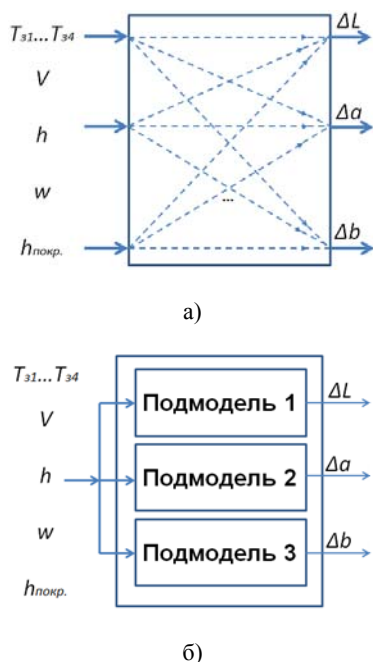


Рис. 2. Структура модели прогнозирования:
а – многосвязной модели прогнозирования;
б – децентрализованной модели прогнозирования

Каждая из полученных подмоделей осуществляет расчет одной составляющей цветового отклонения. При этом на вход каждой подмодели подаются все параметры входного вектора.

При реализации каждой из подмоделей с целью внесения большей структурной ясности было решено использовать нейро-нечеткие модели. Такое моделирование называется полуфизическим, или методом «серого ящика» [2]. Данные модели обладают рядом преимуществ за счет того, что при их реализации известная часть системы описывается на основе физических закономерностей («белый ящик»), а неизвестная – методом «черного ящика».

Нечеткость модели прогнозирования подразумевает разделение интервала возможных значений каждого входного и выходного параметра на лингвистические переменные, значениями которой являются слова или предложения естественного или искусственного языка. Например, отклонение составляющей цветового различия (Δa) может меняться в диапазоне от 0 до 1. Тогда данный интервал может быть разбит на следующие лингвистические переменные: «небольшое отклонение» (0–0,4), «среднее отклонение» (0,3–0,7), «большое отклонение» (0,6–1). Например, значение отклонения, равное 0,6, принадлежит двум лингвистическим множествам, но значения совместимости с ними будут различны. Такое разбиение интервала допустимых значений характерно для человеческого мышления, ориентированного на категории. Количество лингвистических переменных

(кластеров) зависит от решаемой задачи и требуемой точности.

При осуществлении вычислений с помощью нечеткой модели на первом этапе происходит процедура преобразования входного вектора в лингвистические значения. Данный процесс получил название фазификации. После этого производится нечеткий вывод, который осуществляется на основе формализованных экспертных знаний. Далее происходит дефазификация, т. е. перевод лингвистического значения, полученного в результате нечеткого вывода, в «четкое значение» [5].

Нечеткая модель осуществляет вывод результатов на основе правил, записанных с помощью лингвистических переменных, которые составлены на основе экспертных знаний. Правило в лингвистической форме имеет следующий вид:

если (x_1 это A_1 И x_2 это A_2 И...И x_n это A_n),
то (y_1 это B_1 И...И y_m это B_m).

Правило состоит из двух частей: условия (*если*) и вывода правила (*то*). В условии: x_i – входной параметр (например, толщина покрытия); A_i – лингвистическое значение входного параметра (например, «очень тонкое»); y_i – выходной параметр; B_i – лингвистическое значение выходного параметра; n и m – количество входных и выходных переменных соответственно. В отсутствии эксперта или невозможности формализации правил для их построения можно использовать обучающие данные.

Для построения корректных нечетких правил на основе ретроспективной информации о цветовом отклонении использовалась многослойная искусственная нейронная сеть (рис. 3), которая на основе обучающих данных определяет связи между условиями правил и их выводами. Для обучения нейро-нечеткой сети использовался алгоритм обратного распространения ошибки, а обучающими данными выступала выборка, полученная в результате факторного анализа.

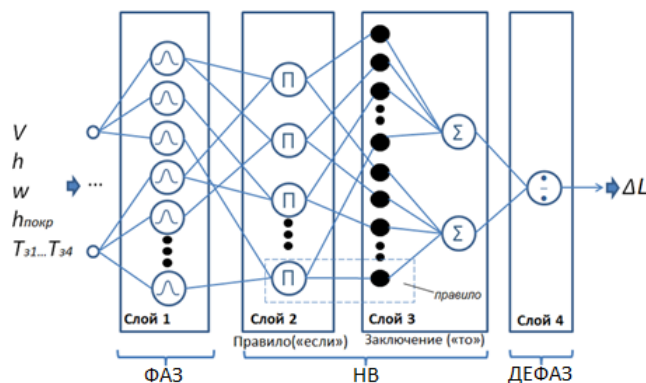


Рис. 3. Схема реализации нейро-нечеткой модели прогнозирования составляющей цветового отклонения

Элементы «П» осуществляют умножение входных сигналов, блоки «Σ» – суммируют их, а элемент «÷» делит полученные значения. Черные точки обо-

значают весовые коэффициенты связей. Элементы слоя 1 выполняют процедуру фаззификации (ФАЗ). Они реализуют функцию Гаусса, параметры которой определяются при обучении. В слой 1 поступают значения входного вектора, а на его выходе для них рассчитываются значения функции принадлежности. Слои 2 и 3 реализуют собой базу знаний и нечеткий вывод (НВ). На выходе слоя 2 формируется результат вывода. Количество элементов в этом слое равно количеству правил. Слой 4 осуществляет дефаззификацию (ДЕФАЗ). Весовые коэффициенты связей, которые являются центрами нечетких множеств, также модифицируются при обучении. На выходе слоя 4 формируется «четкое» (дефаззифицированное) выходное значение модели прогнозирования [5]. В полученной структуре, в отличие от нейронных сетей, все его элементы и весовые коэффициенты имеют физическую интерпретацию.

Программное обеспечение «Адаптивная нейро-нечеткая модель управления техническими объектами» (свидетельство о регистрации электронного ресурса № 18991 от 07.03.2013), разработанное Варфоломеевым И. А., Ершовым Е. В., Богачевым Д. В. и Виноградовой Л. Н., было дополнено описанным функционалом и адаптировано для решения задачи прогнозирования цветового отклонения полимерного покрытия. В результате обучения на основе подготовленной выборки была получена база знаний. Адекватность правил, поддающихся анализу на основе известных физических закономерностей, была подтверждена технологическим персоналом. Например, при увеличении значений температур печных зон при неизменных значениях остальных входных параметров увеличивается величина Δb . Это правило было объяснено тем, что при завышении температур печных зон происходит пересушивание покрытия, в результате чего у него появляется желтый оттенок.

По результатам работы программы (рис. 4) производился расчет величины ΔE и сопоставление расчетного значения с фактическим. По итогам эксперимента средняя ошибка прогнозирования полного цветового отклонения составила 4,7 %. При внедрении системы в производство предполагается, что средняя ошибка прогнозирования не превысит 6 %.

Интеграция модуля прогнозирования в систему управления производством. Для интеграции описанного модуля прогнозирования цветового отклонения окрашенной оцинкованной полосы с существующей SCADA-системой и системой управления технологическим процессом предлагается использовать решения фирмы "Omron": программируемый логический контроллер (ПЛК) C200H и систему технического зрения "ХРЕСТИА". Выбор системы "ХРЕСТИА" обусловлен открытостью, легкостью программирования и возможностью определения истинного цвета в диапазоне до 16 миллионов цветов [12]. Использование ПЛК C200H продиктовано тем фактом, что его модуль FZ001 осуществляет полную поддержку нечетких алгоритмов управления [14].

ПЛК Omron C200H включает в себя только модуль нечеткого управления FZ001 без поддержки искусственных нейронных сетей. По этой причине для формирования базы знаний будут использованы правила, полученные в результате обучения нейро-нечеткой модели. В этом случае перенос и отладка базы правил, определение функций принадлежности и задание метода дефаззификации осуществляется с помощью программного пакета FSS.

Система технического зрения "ХРЕСТИА" позволит выполнять сбор фактической информации о цветовом отклонении полимерного покрытия, которая в дальнейшем будет использована для переобучения нейро-нечеткой модели и формирования более точной базы правил. Кроме того, данный программно-аппаратный модуль может быть использован для

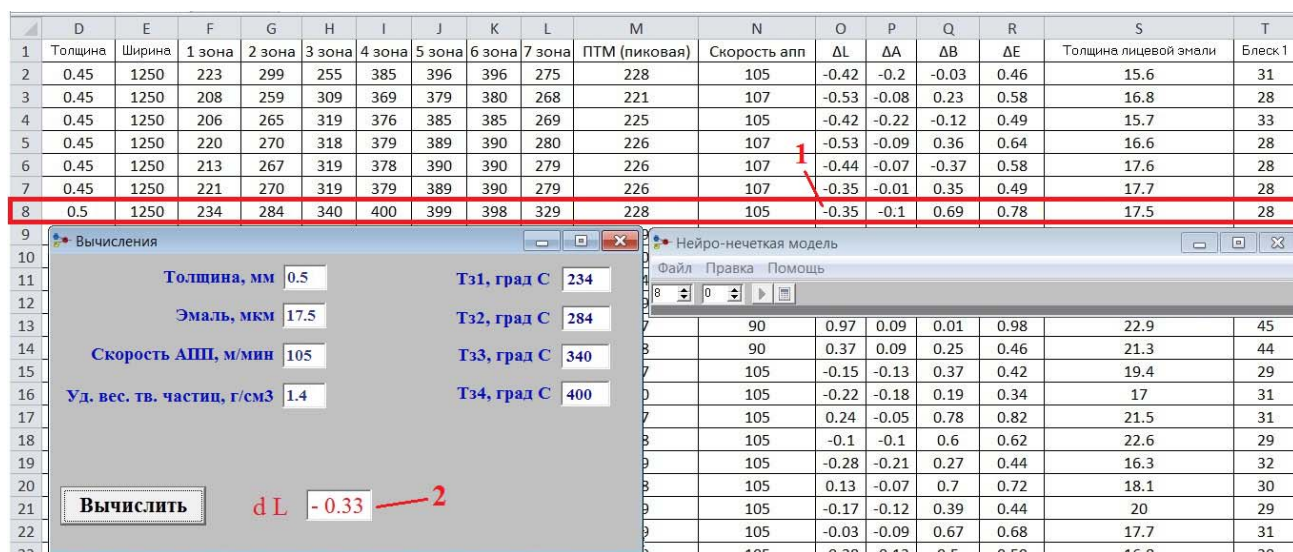


Рис. 4. Пример вычисления ΔL по фактическим значениям параметров
(1 – фактическое значение $\Delta L = -0,35$; 2 – расчетное значение $\Delta L = -0,33$)

контроля показателей качества готовой полосы в реальном времени. Это позволит реализовать технологию встроенного контроля, которая, согласно концепции бережливого производства, избавит от ряда потерь. Отказ от испытаний окрашенной полосы в отделе технического контроля решает задачу устранения ключевых потерь, связанных с излишней обработкой, не приносящей ценности продукту, хранением смотанных рулонов, ожидающих результатов испытаний, и ненужной транспортировкой отобранных образцов. Устранение ряда потерь позволит снизить время выполнения заказа, что в результате приведет к увеличению оборачиваемости запасов и, следовательно, росту прибыли.

Результаты и перспективы развития.

Использование описанной модели делает возможным прогнозирование полного цветового отклонения полимерного покрытия с точностью 4,7 %. Это позволяет более гибко реагировать на требования клиента, повысить качество продукции, снизить себестоимость и сроки производства.

Полученные результаты являются новыми для данной предметной области. Перспективным видится интеграция разработанной модели в программный комплекс интеллектуального управления процессом полимеризации оцинкованного металлического листа (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013618097 от 29.08.2013, авторы: И. А. Варфоломеев, Е. В. Ершов, Д. В. Богачев, Л. Н. Виноградова). Данный программный продукт позволяет подобрать температурный режим сушки покрытия, обеспечивающий требуемый коэффициент адгезии при минимальном расходе газа, необходимо для нагрева печи. Полученная модель прогнозирования будет выступать дополнительным ограничением, обеспечивающим тот факт, что подобранный температурный режим будет удовлетворять требованиям клиента в части цветового отклонения.

Литература

1. *Владимиров, Ю. В.* Покрытие полимерными материалами стальных листов / Ю. В. Владимир, В. Н. Файнштейн. – М., 1967.
2. *Кудинов, И. Ю.* Интеллектуальные технологии моделирования и управления многосвязными объектами / И. Ю. Кудинов // Информационные технологии. – 2011. – №3. – С. 1–32.
3. *Молчанова, А. А.* Оцинкованный и окрашенный прокат: тенденции производства и потребления / А. А. Молчанова // Снабжение и контракты. – 2013. – № 4. – С. 4–7.
4. *Низина, Т. А.* Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности защитно-декоративных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук / Т. А. Низина. – Саранск, 2007.
5. *Рутковская, Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М., 2006.
6. *Сорокин, Д. А.* Градация цветового различия и идентификация фарфора методами многомерного шкалирования: дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Сорокин. – М., 2009.
7. Стандартизация многокрасочной печати. – URL: http://www.publish.ru/articles/201212_20012953 (дата доступа 03. 01. 2015)
8. Таблица цветов RAL из Классической коллекции. – URL: http://ral.ru/classic_colours (дата доступа 03. 01. 2015)
9. *Федосов, Б. Т.* Многомерные объекты. Описание, анализ и управление / Б. Т. Федосов. – URL: http://model.exponenta.ru/bt/bt_171_MultyDim_Obj_Contr.htm#L005 (дата доступа 03. 01. 2015)
10. CIELab – измерение цвета на различных материалах. – URL: http://www.publish.ru/articles/200403_4050359 (дата доступа 03. 01. 2015)
11. *Field, A.* Discovering Statistics using IBM SPSS Statistics / A. Field. – SAGE, 2013.
12. Omron Xpectia Vision System Brochure. – URL: <http://www.manualslib.com/manual/347160/Omron-Xpectia-Vision-System.html> (дата доступа 03. 01. 2015)
13. *Stanley, A Mulaik.* Foundations of Factor Analysis / Stanley A Mulaik // CRC Press. – 2009.
14. *Whiston, Br.* Fuzzy Logic Control and the Omron FB-30AT Fuzzy Logic Board / Br. Whiston // Electrical and Electronic Engineering. – University of Auckland, 1993.

УДК 519.67 : 620.9

Т. А. Гаврилов, Г. Н. Колесников, Е. А. Тихонов
Петрозаводский государственный университет

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЯ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ ФУНДАМЕНТА ОТ ПРОМЕРЗАНИЯ

Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг. (подпроект: «Совершенствование строительных материалов на основе использования местных ресурсов и отходов переработки древесины»)

Цель работы – улучшение теплоэнергетических и технико-экономических характеристик здания за счет оптимизации защиты фундамента от промерзания по критерию минимума объема утеплителя. В качестве инструмента исследования рассмотрено применение методики факторного эксперимента. В ходе экспериментов рассматривались модельные задачи. При решении этих задач для теплоэнергетических расчетов использовалась программа “ANSYS”. По результатам расчетов были построены регрессионные зависимости. Рассмотрен пример решения задачи двухкритериальной оптимизации теплоизоляции фундамента.