



УДК 519.248: 621.771.23

**М.З. Певзнер, В.А. Жуйков,
К.В. Иванов-Польский,
Е.А. Куимов, В.Д. Перевощиков**
ФГБОУ ВО «Вятский государственный
университет»,
г. Киров, Российская Федерация
E-mail: mikhailpevzner@yandex.ru
Дата поступления 18.03.2018

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ СБОРА, ХРАНЕНИЯ, СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОКАТНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Аннотация

Представлены результаты внедрения системы контроля и управления прокатным производством и рассмотрены возможные пути дальнейшего совершенствования статистического менеджмента качества. Для эффективного оперативного управления в режиме online предложена модернизация используемых контрольных карт и создание интегрированной автоматической системы регулирования толщины, основывающейся на результатах статистического контроля качества. Оцениваются возможности использования инструментов анализа временных рядов и нейронных сетей, предлагаемых современными статистическими программами, для межоперационного менеджмента качества.

Ключевые слова: производство проката, менеджмент качества, мониторинг непрерывного процесса, контрольная карта, статистическое управление.

Введение

Непрерывность современного металлургического производства с одной стороны затрудняет контроль процесса и управление им в ходе обработки, с другой - делает их особо актуальными. Действительно, оперативное online управление невозможно без непрерывного контроля движущегося материала, который, в свою очередь, достаточно сложно организовать [1]. Впрочем, в отличие от других характеристик качества, толщину проката уже достаточно давно непрерывно контролируют рентгеновскими, контактными и т.п. толщиномерами. Задача состояла в организации наиболее эффективного статистического управления процессами (SPC) прокатки. Первоначально контрольные карты (КК), осуществляющие статистический

контроль и управление качеством в прокатном производстве на Кировском заводе ОЦМ, строились автоматически в рамках программы Excel, но такая система имела существенные недостатки [2]. В настоящей работе представлены результаты внедрения в прокатном цеху предприятия¹ специализированной локальной сети сбора, хранения, статистической обработки и представления информации и обсуждаются возможности её дальнейшего развития. Она разрабатывалась² при нашем участии, в частности, в организации статистического контроля и управления.

Результаты внедрения системы

Система формирует широкую базу данных в виде временных рядов (ВР) входной и выходной толщины ленты, управляющих сигналов и всех основных энергосиловых и скоростных параметров прокатки

¹ В работе участвовали С.Н. Счастливцев, М.В. Ральникова, А.А. Созонтов, А.В. Колышницын, С.Н. Поляев, А.Л. Земцова и др.

² Программное обеспечение ООО «ПП Экон», г. Кирово-Чепецк, программисты А.В. Пьянков, С.Н. Жёлобов.

при обработке каждого рулона ленты на каждом проходе и имеет трёхуровневую структуру (рисунок 1):

- нижний уровень - автоматизированные рабочие места оперативного персонала, осуществляющие контроль и управление технологическими процессами, на базе персональных компьютеров (технологические компьютеры);
- средний уровень - выделенный сервер баз данных и программное обеспечение сбора информации с рабочих станций;
- верхний уровень - автоматизированные рабочие места технологического, эксплуатационного и административного персонала («пользователь») на базе персональных компьютеров, работающих под управлением операционной системы Windows, находящихся во внутривзаводской сети и подключенных к выделенному серверу [3, 4, 5].

Таким образом, система позволяет непрерывно контролировать процесс производства, в частности, выводить информацию о процессе прокатки прямо на ПК технологов, исследователей, руководителей и других ИТР.

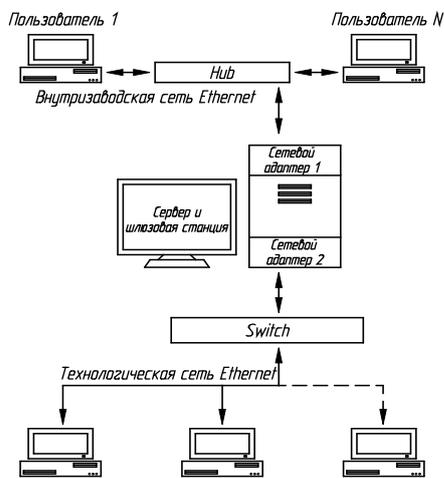


Рисунок 1. Структура системы

После окончания каждого прохода реверсивного стана горячей прокатки (наряду с данными о нагреве и обработке слитков с пирометров Raytek 1 и 2) производится передача информации в заводскую базу данных на сервер (рисунок 2), к которому имеют доступ пользователи внутривзаводской сети. Аналогично, технологические рабочие станции станов холодной прокатки осуществляют сбор информации о резуль-

татах прокатки с объектов управления и сохранение её на жёстком магнитном носителе в виде отдельных бинарных или текстовых файлов.

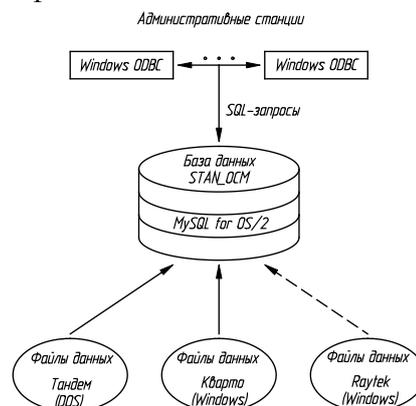


Рисунок 2. Информационные потоки системы

Методическая печь газового нагрева слитков работает не совсем в методическом режиме: имеются периоды подогрева слитков, когда реверсивный стан горячей прокатки не работает. Поэтому особенно важно следить за температурным режимом, как нагрева слитков, так и горячей прокатки во времени (горизонтальная шкала графиков на рисунке 3).

Пунктом «Просмотр» главного меню открывается вся основная информация базы данных, получаемых со станов холодной прокатки, включая текущий и ежедневные списки прокатанных рулонов с разграничением по времени обработки и сплавам (рисунок 4).

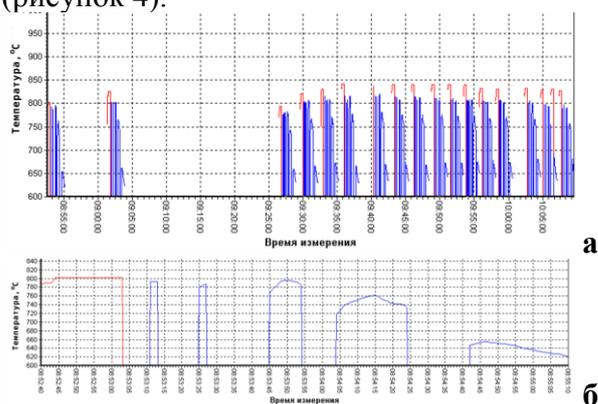


Рисунок 3. Температурный график последовательного по времени нагрева (красный цвет) и горячей прокатки по проходам (синий цвет) находящейся одновременно в печи партии слитков (а) и в развернутом виде - отдельного слитка (б)



Рисунок 4. Меню программы на фоне списка прокатанных рулонов

Подпункт меню «график» позволяет получать графики изменения по длине рулона каждого из 16 непрерывно контролируемых параметров прокатки, в частности, толщины ленты. Подпункт «диагностика рулона» открывает таблицу, столбцами которой являются все измеряемые параметры собственно прокатки и автоматической системы регулирования толщины (АСРТ), а строками – результаты последовательных измерений их значений, начальные значения которых (обычно число строк доходит до нескольких тысяч) представлены в таблице 1. С его помощью можно экспортировать («файл» - «экспорт») всю таблицу или её отдельные столбцы во внешние пакеты, предназначенные для работы с табличными данными (Excel, Statistica и т.д.).

Подпункт меню «окно совмещенных графиков» (см. рисунок 4) позволяет сравнивать до 5 графиков, например, разнотолщинности рулонов различных партий, выбирая лучший технологический вариант, или одного рулона по проходам, контролируя, например, уменьшение или увеличение разнотолщинности от прохода к проходу. Для удобства анализа изменения характеристики качества по проходам в меню «Сервис» панели «Совмещенные графики» (рисунок 5) имеется опция «Развернуть график». Она позволяет делать начало графика его концом и наоборот (что фактически и происходит при реверсивной прокатке) и тем самым облегчает сравнение графиков, например, при анализе изменения разнотолщинности по проходам.

При выборе подпункта главного меню «Контрольная карта» (см. рисунок 4) КК строится автоматически на основе таблицы из 25 выборок, взятых равномерно по длине

ленты (рисунок 6). Число строк этой таблицы равно «кол-во измерений в выборке» + 2, т.к. в предпоследнюю строку выводятся средние по выборке значения, а в последнюю строку таблицы выводятся размахи выборок. Задаваемое одинаковое количество измерений с начала и конца рулона («Нач № изм»), которые, как правило, не предъявляются при приёмке готовой продукции, исключается из рассмотрения. Автоматически рассчитывается:

- «шаг», определяющий распределение выборок в ряду измеренных значений толщины, из общего количества измерений (N) по формуле;

$$\text{«шаг»} = (N - 2 * \text{«Нач № изм»}) / 25$$

- среднее значение и размах каждой выборки;

- общая средняя (СРД), верхняя (ВКГ) и нижняя (НКГ) контрольные границы (границы регулирования) по известным формулам [6-9] с нанесением их на график (см. рисунок 6).

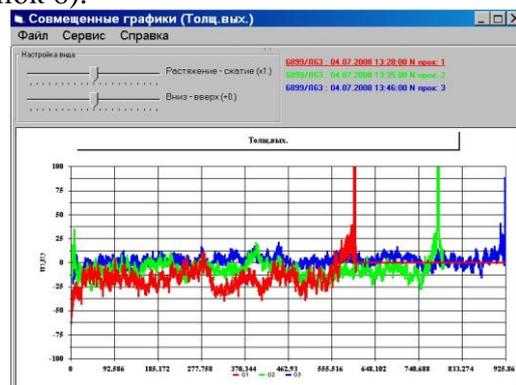


Рисунок 5. Пример использования инструмента «Окно совмещенных графиков»: последовательное изменение от прохода к проходу разнотолщинности ленты латуни Л63 при прокатке с 1,45 до 0,77 мм

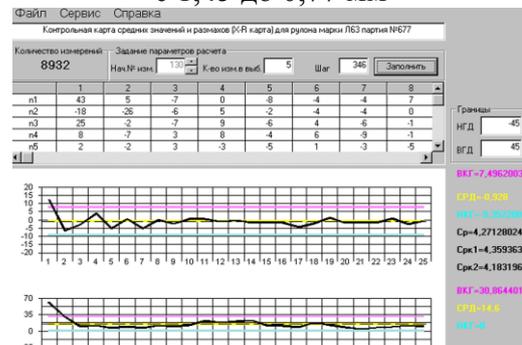


Рисунок 6. Фрагмент таблицы выборок и строящаяся на её основе контрольная карта Шухарта средних значений и размахов

Фрагмент результатов измерений, полученных при прокатке ленты из латуни Л68 (партия 10320) с 1200 мкм до 959 мкм.

Показания толщиномеров на входе dH и выходе dh		Текущее положение ближнего, Нбт и дальнего, Ндт гидроцилиндра, мкм		Усилия ближнего P1 и дальнего P2 гидроцилиндра, т		Сигнал-управление АСРТ, регулирование по возмущению, dS1 и по отклонению, dS2, мкм		Управление сервоклапанами, УМ1 и УМ2		Задание положения ближнего, Нбз и дальнего, Ндз гидроцилиндра		Скорость прокатки, мм/сек SPEED	Натяжение левой (T_1) и правой (T_2) моталки	
0	-10	11804	9917	132	166	1	-6	2190	2087	11803	9915	601	770	8110
3	-7	11803	9919	142	167	1	-6	2088	2087	11806	9918	601	770	8110
5	-8	11807	9922	147	168	-1	-6	2118	2077	11809	9921	601	770	8110
8	-5	11809	9922	143	172	-6	-6	2067	1986	11814	9926	601	770	8110
7	-4	11815	9926	145	171	-9	-6	2190	2047	11814	9926	601	770	8120

Здесь рассчитывается индекс воспроизводимости процесса (считается, что процесс находится в состоянии статистической управляемости) CP [10], характеризующий, степень рассеяния («изменчивость процесса») относительно ширины допуска. Также рассчитываются нижний и верхний индексы воспроизводимости C_{pkL} и C_{pkU} [10] для заданных нижней и верхней границ поля допуска (НГД и ВГД), которые у нас обозначаются C_{pk1} и C_{pk2} (см. рисунок 6), характеризующие точность настройки.

Обсуждение перспектив развития системы

В целом внедрённая система решает задачу управления процессом и анализа его результатов. Но отбор контролируемых данных, их статистический анализ и представление, в частности, в виде КК, по нашему мнению, нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Так, таблица из 25 выборок формируется независимо от типа прокатного стана (заготовительного или для окончательной прокатки), длины прокатываемого рулона и длины сформировавшегося ряда наблюдений, которые могут различаться в десятки раз. Известно, что используемая здесь «механическая» выборка менее репрезентативна, чем, например, случайная [11]. Кроме того в этом случае нет гарантии исключения серьёзной систематической погрешности, если значения толщины рассматриваемого проката будут изменяться с той же периодичностью, что и отбор элементов в выборку. Наконец, раз-

мах далеко не самая эффективная характеристика степени рассеяния случайной величины [11]. Такого рода недостаточно обоснованный подход к выборочному контролю не позволяет в полной мере учитывать особенности производства конкретного проката, например, наличие сварных швов с заведомо выпадающими значениями толщины. Представление результатов также нуждается в совершенствовании. Например, КК строится уже после завершения прохода прокатки, а на пульте оператора отражается лишь график значений непрерывно контролируемой толщины. Между тем, в первую очередь именно оператору стана важно видеть контрольные («предупреждающие») границы, свойственные КК Шухарта [6, 7]. Инструмент «окно совмещённых графиков» (см. рисунок 4) позволяет сравнивать графики только по одному параметру, например, «толщина выходная» (см. рисунок 5) и только для одного прокатного стана. Между тем, для выбора наиболее оптимальной технологической схемы целесообразно сравнивать результаты прокатки на различных станах, а для анализа влияния различных технологических параметров на колебания толщины необходимо сравнивать графики по различным параметрам. Остаётся неисследованной в достаточной степени возможность привлечения к анализу получаемых данных также современных статистических программных средств, например, наиболее успешный, на наш взгляд, пакет STATISTICA [12]. Нако-

нец, классические материалы по промышленной статистике [8-9] не учитывают ряда специфических особенностей непрерывного прокатного производства [13] и прогресса в вычислительной технике, произошедшего в последнее время. Например, особенностью современной прокатки полос и лент является непрерывный контроль их толщины [3-5], а возможности вычислительной техники в настоящее время позволяют оперативно обрабатывать данные практически любого объёма. Возникает вопрос: всегда ли стоит сужать объём обрабатываемой информации от генеральной совокупности до выборок, пусть даже самых репрезентативных, а не использовать все возможности анализа формирующихся полномасштабных ВР [14, 15]?

Известно деление инструментов «обеспечения результативного управления ходом процесса» на инструменты «текущего» (или «непрерывного») и «межоперационного менеджмента» [16, 17]. Соответственно этому выделяют два дополняющих друг друга направления менеджмента: оперативное управление в режиме online в ходе «операции-события» и интегральное управление, осуществляемое в промежутки времени между «операциями-событиями» [18]. По нашему мнению [5, 19], применительно к прокатке следует выделить два направления аналогичных, но имеющих специфику, характерную только для этого процесса: управление в режиме online при прокатке и технологическое регулирование между проходами прокатки или перед прокаткой новой партии. Возможности совершенствования каждого из этих направлений следует рассмотреть отдельно.

1. Оперативное управление.

При оперативном контроле «настройка» процесса в ходе обработки (повышение «меньшего индекса воспроизводимости» C_{pk}) должна осуществляться в режиме online на основе анализа n последних постоянно обновляемых отдельных значений ВР толщины h_i («оперативный интервал»). Необходимо сохранять в памяти текущее накапливаемое значение суммарного количества измерений N_i . На пульт управления прокатного стана должна выно-

ситься постоянно обновляемая КК индивидуальных значений, строящаяся на основе этого оперативного интервала. Это удобно также тем, что по виду такая КК близка обычно выносимому на пульт графику толщины, но, кроме ВГД и НГД, там будут и другие свойственные КК характеристики процесса ВКГ, НКГ, C_p , C_{pk} [10], СРД и т.д., (см. рисунок 6). Длина оперативного интервала n должна назначаться в зависимости от конкретного обрабатываемого материала. Такой переход по сути дела к безусловно нужному непрерывному статистическом контролю согласуется с представлениями А.И. Орлова об «основном парадоксе выборочного контроля», что с повышением качества увеличивается объём контроля [20]. В этом случае объём выборки равен размеру «скользящего оперативного интервала». Заметим, что в отличие от общепринятых представлений, в этом случае термин «сплошной» не связан с удорожанием контроля.

Следует максимальным образом формализовать и автоматизировать выбор алгоритма проводимых расчетов, построений, выработки заключений и принятия управляющих действий при работе в режиме online на пультах управления прокатных станов и сохранении возможности варьирования параметров расчётов в ручном режиме, для чего, в частности:

- для конкретных условий прокатки разработать алгоритмы построения x - КК индивидуальных наблюдений [7] и расчёта соответствующих индексов воспроизводимости [10] (при этом для интегрального управления процессом, см. ниже, сохраняются ВР всех контролируемых параметров);

- для различных типоразмеров обрабатываемой ленты разработать таблицу критических значений индексов C_p и C_{pk} , определяющих границы перехода от состояния гарантированно высокой точности к состоянию недостаточно высокой точности, когда брак возможен, и дальше к состоянию низкой точности, когда брак неизбежен; разработать алгоритм идентификации прокатанного металла по трём вышеуказан-

ным уровням точности с учётом расположения средних на КК, их тренда и таблицы критических индексов;

- по окончании обработки следует производить распечатку паспорта рулона, включающего основные параметры обработки и интегрально характеризующие качество всей партии КК любого вида вместе со статистическими показателями возможностей процесса, и прилагать его к операционной карте.

Такое управление инструментами «текущего» или «непрерывного» менеджмента может осуществляться вручную, но разумеется, целесообразно использование автоматического управления, для чего необходимо наличие исполнительного механизма обратной связи. Впрочем, в прокатном производстве исполнительные механизмы такого рода разрабатываются достаточно давно и успешно в рамках автоматической системы регулирования толщины (АСРТ) [21, 22]. Как правило, при формировании корректирующего сигнала, поступающего в систему управления достаточно эффективным гидравлическим нажимным устройством, для регулирования «по возмущению» или «по отклонению» в качестве базового используется среднее значение [22]. Но имеются примеры использования в АСРТ (преимущественно зарубежного исполнения) результатов статистического контроля [21], например, использовался спектральный анализ функций толщины или усилия прокатки [21]. По нашему мнению, более эффективно было бы применение в этом качестве в АСРТ параметра, основанного на результатах вышеприведённого автоматизированного анализа, в частности, S_{PK} [10].

2. Интегральное управление.

Это направление связано с анализом результатов проведённой прокатки в промежутках времени между «операциями-событиями» с целью обоснования следующих управляющих действий:

- принятия решений о приёмке обработанной партии на основании объективного анализа информации о её качестве;
- совершенствования технологии обработки.

По нашему мнению, анализ качества готового проката должен основываться на КК выборочных среднего (см. рисунок 6), но взамен КК размахов целесообразно использовать КК [11] выборочного стандартного отклонения. Необходимо также формализовать способ выборочного контроля:

- дифференцировать количество выборок в диапазоне $k = 10-25$ с установлением алгоритма точного определения k в зависимости от параметров прокатываемого рулона и свойственного конкретному стану расстояния между измерениями (длины проката L , приходящейся на одно цифровое значение его толщины и получаемой в результате дискретизации зависимости толщины по длине проката);

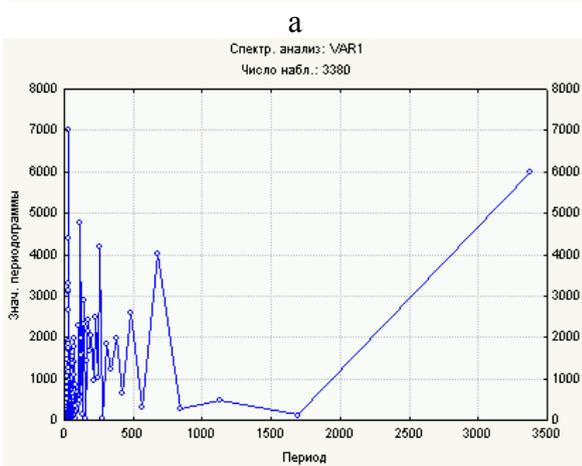
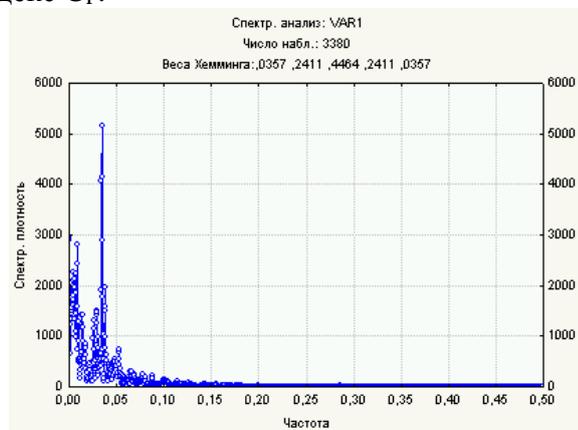
- разработать более обоснованный алгоритм определения числа исключаемых из рассмотрения начальных (m_N) и конечных (m_K) результатов контроля;

- разработать алгоритм назначения количества измерений в выборке (q) и осуществления наиболее репрезентативной (случайной) выборки.

Совершенствование производства следует разделять на повышение качества обработки последующих партий металла, сводящееся к технологическому регулированию, замене инструмента (прокатных валков) и кардинальное изменение технологической схемы производства. В последнем случае большое значение может иметь использование модернизированного инструмента «окно совмещённых графиков», позволяющего сравнивать графики различных параметров, полученных при прокатке на разных станах.

Как известно, ВР толщины проката представляет собой наложение гармонических составляющих различной частоты [23], обусловленных особенностями производства проката на разных его стадиях. Спектральный анализ ВР предназначен для разложения случайной функции на эти гармонические составляющие [14, 15], что должно выявить вклад тех технологических операций, которые дают максимальный вклад в суммарную дисперсию толщины. На рисунке 7 в качестве примера представлены некоторые результаты такого анализа, выполненные для ряда значений (3380

наблюдений) толщины латунной ленты, прокатанной на 4-валковом стане. Видно, что обнаруживаются колебания различной частоты и наибольшую спектральную плотность имеет частота $\sim 0,04$. Разделив расстояние между измерениями L на $0,04$, получим длину волны искомой доминантной гармоники. Обнаружение таких доминантных гармоник, установление и устранение причин их вызывающих (например, «бие-ния» прокатных и/или опорных валков, длина окружности которых равна периоду доминантной гармоники) уменьшает систематическую составляющую погрешности обработки и таким образом увеличивает индекс C_p .



б

Рисунок 7. Графики спектральной плотности (а) и периодограммы (б), построенные для одного из рядов замеров толщины ленты латуни Л68, выполненных при прокатке на стане 4/250

В рамках интегрального управления бывает важно установление взаимосвязи циклических составляющих двух ВР, например, характеристики технологии и

конечной толщины. Действительно, изменения контролируемых технологических характеристик прокатки оказывают влияние на «характеристику результатов производства» (толщину) не мгновенно и не одновременно [18]. Ниже в качестве примера представлены панели результатов выполненного в рамках программы STATISTICA [12] совместных двумерных анализов рядов:

- «кросс-спектрального» для прокатки бронзы БРОФ 6,5-0,15 (рисунок 8а);
- анализа распределённых лагов для оценки смещения во времени, ВР показаний рентгеновских измерителей толщины проката латуни Л68 на входе и выходе из прокатного стана (рисунок 8б).

Сложные нелинейные связи неопределённого вида между входными (характеристики процесса) и выходными значениями (толщина ленты) дают основание предполагать эффективность использования нейронных сетей как при выполнении чисто технологических исследований, так и управляющих действий [24]. Действительно:

- многослойная архитектура НС обеспечивает высокий параллелизм при обработке информации в слоях НС и быструю самонастройку на различные классы решаемых задач;

- НС не жестко программируются на решение определенного класса задач, а обучаются; автоматическая настройка НС осуществляется с заранее выбранной или самоорганизующейся архитектурой;

- выходные сигналы НС могут не только выдавать решение, но и оценивать степень его достоверности;

- большое количество наблюдений при значительном числе переменных (см. табл. 1) позволяет построить сеть любой сложности [24];

- использование НС отвечает тенденции повышения оперативности способов межоперационного регулирования и, в ряде случаев, перевода их в разряд непрерывных [25].

Пакет ST Neural Networks программы Statistica 6.0 [12], с использованием которого в качестве примера рассматривалось

влияние ряда факторов на толщину прокатываемой ленты бронзы БРОФ 6,5-0,15 (рисунк 9), имеет дополнительные возможности:

- реализуется прямая передача сигнала с полной системой связей;
- опытным путем отбираются значимые переменные, что позволяет первоначально включать все факторы или выбирать произвольно те, которые априори могут влиять на результат, рассчитывая на дальнейшее сокращение их количества;
- числовые значения автоматически приводятся в подходящий для сети масштаб;
- выдаётся удобная мера ошибки - среднеквадратичная ошибка (RMS), нормируемая на число наблюдений и переменных;
- используется много алгоритмов обучения, и задаётся автоматическая остановка обучения при появлении «эффекта переобучения» [24].

При проведении экспериментов с различными конфигурациями с использованием «автоматического конструктора сети» предпочтение отдавалось моделям более простым и обеспечивающим минимальную «функцию ошибок» (RMS). Так в результате самообучения нейронной сети при прокатке на стане 4/250 ленты латуни Л63 с 1,3 мм до 0,96 мм без применения АСРТ наиболее эффективные модели были получены на основе многослойного персептрона (MLP) с одним промежуточным слоем и радиальной базисной функции (RBF). Окончательный правильный выбор конфигурации НС должен зависеть от конкретной поставленной задачи. Известно, что сети RBF имеют ряд преимуществ перед сетями MLP, например, обучаются на порядок быстрее MLP. Но модель, основанная на RBF, как правило, работает медленнее и требует больше памяти, чем соответствующий MLP [24]. Заметим, что мы не в полной мере исследовали двухслойную сеть, самоорганизующиеся НС Кохонена Т. [26], также создаваемые в рамках программы STATISTICA. Между тем, с точки зрения повышения оперативности, двухслойная сеть, в которой каждый нейрон первого (распределительного) слоя соединён со

всеми нейронами второго (выходного) слоя, представляется наиболее эффективной при online - управлении.

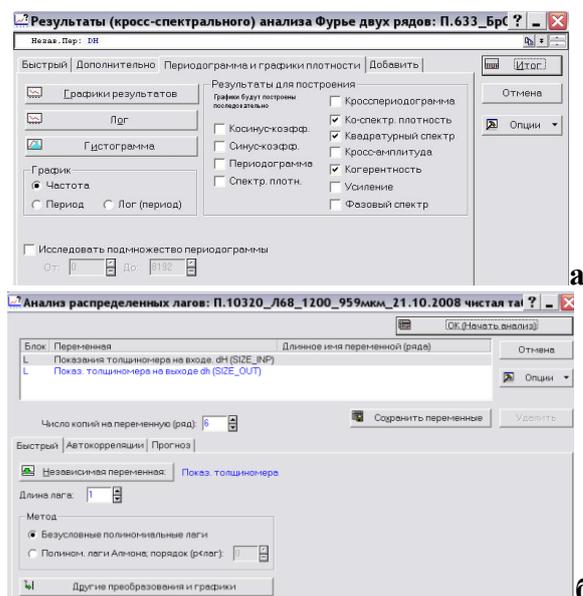


Рисунок 8. Панели результатов двумерного спектрального анализа: «кросс-спектрального» для прокатки бронзы БРОФ 6,5-0,15, рисунок 8а, и анализа распределённых лагов (оценки смещения во времени, ВР показаний рентгеновских измерителей толщины проката латуни Л68 на входе и выходе из прокатного стана, рисунок 8б)

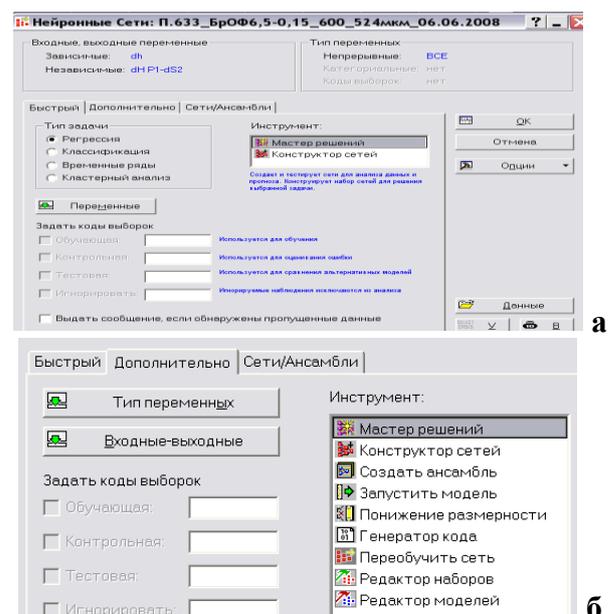


Рисунок 9. Панели нейронных сетей, полученные в программе STATISTICA для ленты из бронзы БРОФ 6,5-0,15, прокатываемой на четырёхвалковом стане, вкладки «быстрый» (а) и «дополнительно» (б)

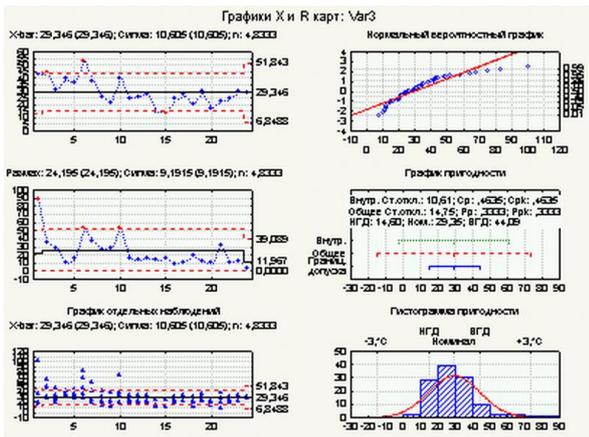


Рисунок 10. Контрольные карты и сопутствующие графики, характеризующие степень пригодности процесса, получаемые в рамках программы STATISTICA

На примерах работы отдельных участков прокатного производства конкретного предприятия, различающихся местом в технологической цепи и объёмом производства, оценивалась эффективность использования в «непрерывном» и «межоперационном менеджменте» трёх методов (направлений) SPC [27]:

1. Создание специализированной программы для конкретного процесса по типу рассмотренной выше [3-5].
2. Использование универсальных статистических систем (на примере программы STATISTICA) [16].
3. Разработка усовершенствованных относительно [2] общедоступных «шаблонов» контроля и управления на базе офисной программы Microsoft Excel.

Специализированная программа показала высокую эффективность при её установке в «ключевой», «заготовительной» точке производственного процесса, через которую проходит весь обрабатываемый материал. В данном случае затраты на разработку элементов SQC оказались вполне оправданными. Но, в процессе дальнейшей обработки, когда технологические потоки многократно разделяются, установка и использование на каждом оборудовании аналогичной специализированной программы признаны экономически нецелесообразными.

Опробование наиболее признанной и доступной к распространению на территории РФ русскоязычной программы

STATISTICA 6 для оперативного SQC показало возможность построения основных видов КК толщины проката, даже без каких-либо навыков программирования. Для этого достаточно в меню «Анализ» открыть вкладки «Промышленная статистика и Шесть Сигма» или «Добыча данных в управлении качеством» [12] и выбрать нужный тип КК, например, КК единичных наблюдений (см. рисунок 10). Но получаемые таким образом «готовые» КК не имеют той «пластичности», которая позволила бы регулировать и устанавливать их в виде, необходимом для наиболее эффективного контроля в режиме online в конкретной точке производственного процесса. По этой причине, а также вследствие достаточно значительной стоимости STATISTICA 6 не нашла применения в непосредственном контроле и управлении. Вместе с тем благодаря наличию опции «Временные ряды и прогнозирование», а также пакета нейросетевого анализа [12] программа эффективно применялась на стадии «интегрального» управления качеством, например, для обнаружения и устранения причин выхода процесса из управляемого состояния за счёт недопустимо высокой дисперсии толщины проката [5, 19]. Заметим, что такого рода интегральное управление качеством, например, обнаружение спектральным анализом ВР источника такой дисперсии, обусловленного, как правило, биением валков конкретного прокатного стана требует достаточно глубокой подготовки на уровне высшей школы.

Шаблон \bar{X} -R КК, созданный в рамках программы MS Excel, позволяет получать её, как только ВР контролируемой характеристики устанавливается в заданный столбец таблицы MS Excel [2, 27]. КК образуется из таблицы механических (в MS Excel «периодических») выборок, которая в свою очередь создаётся функцией «СМЕЩ», отбирающей в заданном порядке значения контролируемой величины. При этом каждый достаточно грамотный пользователь, изменяя аргументы функции «СМЕЩ», определяющей особенность извлечения из ВР результатов контроля толщины, и варьируя количество производимых выборок и их расположение, имеет

возможность оптимизировать статистический контроль качества применительно к конкретному прокатному оборудованию.

Созданы также аналогичные шаблоны \bar{X} -S КК и КК индивидуальных значений.

Заключение

1. Выбор методов контроля и управления металлургического производства должен определяться индивидуально на основе технико-экономического анализа целого комплекса условий и характеристик технологии, оборудования и производимого полужаботки на конкретной стадии его обработки.

2. Описанная локальная сеть, показавшая свою эффективность в условиях массового производства, позволяет достаточно удобно осуществлять представление и обработку результатов прокатного производства, хотя нуждается в совершенствовании online контроля и управления, а также в расширении используемых методов межоперационного анализа результатов контроля.

3. В условиях работы оборудования, характеризующемся относительно малым объемом производимой продукции, наиболее эффективными оказываются непрерывные статистические контроль и управление прокаткой, основанные на шаблонах, предварительно созданных в рамках программы Excel и усовершенствованных в соответствии с разработанными рекомендациями.

4. Независимо от объема и других условий производства интегральную (межоперационную) оценку и анализ всей партии обработанного металла целесообразно производить с использованием инструментов международно-признанных современных статистических программных средств.

Библиографический список

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник в 7 т.: Под ред. В.В. Клюева. - М.: Машиностроение, 2004.
2. Monitoring of band thickness / B.G. Vedernikov, A.M. Martynov, M.Z. Pevzner e.a. // Tsvetnye Metally. – 2005. - № 12. - P. 95-98. Document Type: Article Source: Scopus.
3. О непрерывном статистическом контроле качества плоского проката / М.З.

Бикметов, М.З. Певзнер, А.А. Созонтов, С.Н. Счастливцев // Производство проката. – 2007. - № 8. - С. 27-33.

4. Итоги внедрения и вопросы совершенствования статистического мониторинга в лентопркатном производстве / М.З. Бикметов, А.М. Мартынов, М.З. Певзнер и др. // Цветные металлы. – 2009. - № 4. - С. 84-88.
5. Певзнер, М.З. Возможности статистического мониторинга в непрерывном производстве / М.З. Певзнер // Методы менеджмента качества. – 2009. - №11. - С. 44-48.
6. ГОСТ Р 50779.41-96 (ИСО 7873-93). Контрольные карты для арифметического среднего с предупреждающими границами. - Дата введения 1997-07-01. - М.: Госстандарт России, 1996. - 23 с.
7. ГОСТ Р 50779.42-99 (ИСО 8258-91). Контрольные карты Шухарта. - Дата введения 2000-01-01. - М.: Госстандарт России, 1999. - 32 с.
8. Миттаг, Х.-Й. Статистические методы обеспечения качества: Пер. с нем. / Х.-Й. Миттаг, Х. Ринне. - М.: Машиностроение, 1995. – 616 с.
9. Статистические методы повышения качества / Под ред. Хитоси Кумэ. - М.: Финансы и статистика, 1990. – 301 с.
10. ГОСТ Р ИСО 22514-2-2015 Статистические методы. Управление процессами. Ч. 2. Оценка пригодности и воспроизводимости процесса на основе его изменения во времени. - Дата введения 2016-01-07. - М.: Госстандарт России, 2016. - 28 с.
11. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 816 с.
12. Боровиков, В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов: 2-ое изд. / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
13. Елетина, Е.Ю. Применение стратегии комплексного подхода к стабилизации технологического процесса / Е.Ю. Елетина // Производство проката. - 2007. - № 2. - С. 41-44.