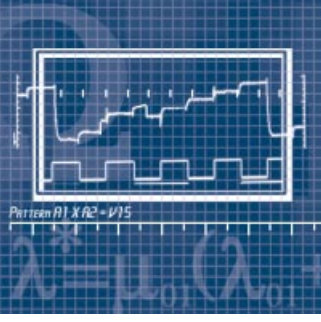




Опыт реконструкции радиоизотопного толщиномера металла

Александр Банников, Евгений Зиневич

В данной статье приводится описание модернизированного с применением современной элементной базы радиоизотопного толщиномера металла. В результате модернизации удалось существенно расширить его функциональные возможности, реализовав на его базе систему контроля производственных показателей.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоизотопные приборы (РИП) уже несколько десятилетий являются неотъемлемым элементом многих систем технологического контроля и автоматизации [1]. Несмотря на часто встречающееся сейчас негативное отношение к применению ионизирующего излучения, многим методам, основанным на нем, сегодня не найдена альтернатива.

Ярким подтверждением этого являются радиоизотопные толщиномеры материала (РТМ).

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА РАДИОИЗОТОПНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ

Принцип действия РТМ основан на взаимодействии потока излучения с веществом. О толщине материала можно судить по интенсивности прошедшего сквозь вещество или обратно рассеянного излучения. Реализующие такой принцип толщиномеры разделяют на два основных типа: абсорбционные и альбедные. Альбедные толщиномеры позволяют также измерять толщину покрытий материалов с плотностью, отличной от плотности подложки, или толщину материала в условиях, когда доступ к нему с одной из сторон затруднен или невозможен.

Рассмотрим принцип действия наиболее распространенных радиоизотопных абсорбционных толщиномеров (рис. 1). В достаточно широком диапазоне зависимость ослабления потока излучения с ростом толщины материала описывается убывающей экспонен-

той. Интенсивность затухания излучения при прохождении через материал определяется массовым коэффициентом ослабления излучения, зависящим от энергии и типа излучения и плотности материала. Толщиномер измеряет кратность ослабления излучения материалом и по калибровочной кривой производит вычисление его толщины.

Наряду с радиоизотопными толщиномерами, в которых применяется радионуклидный источник излучения, используются и рентгеновские (источник излучения — рентгеновская трубка). Однако, как показывает практика, радиоизотопные толщиномеры обладают большей шириной диапазона измеряемых толщин, в то время как рабочий диапазон рентгеновских толщиномеров лежит в середине рабочего диапазона радиоизотопных. Кроме того, в рентгеновских толщиномерах необходимо применять специальные схемы стабилизации напряжения и тока рентгеновской трубки. В радиоизотопных толщиномерах, напротив, радиоактивный распад идет постоянно и никакие схемы стабилизации не требуются, за исключением введения поправки на снижение активности источника со временем.

РТМ применяются во многих отраслях промышленности, в частности, при производстве бумаги, полимерных пленок и т.п., однако большая их часть используется в металлургии, например в системах автоматического регулирования толщины (САРТ) металла на прокатных станах.

Среди множества методов детектирования излучения, известных на сего-

дняшний день, в толщиномерах в основном используются сцинтилляционный и газоразрядный.

Сцинтилляционный метод основан на преобразовании энергии излучения в световые вспышки в кристалле-сцинтилляторе, которые преобразуются в электрический сигнал фотоэлектронным умножителем, работающим, как правило, в счетном режиме. Учитывая множество процессов преобразования энергии излучения в электрический сигнал и специфический характер протекания каждого из них, при построении сцинтилляционного измерительного тракта обычно применяются дополнительные схемы для стабилизации счетной характеристики.

Газоразрядный метод предполагает преобразование энергии излучения в токовый сигнал в ионизационной камере, ток порядка наноампер преобразуется в выходное напряжение с помощью электрометрического усилителя с

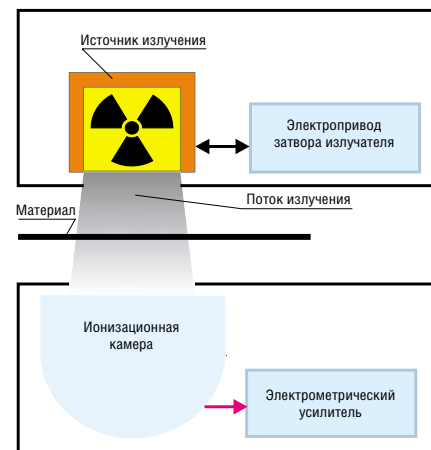


Рис. 1. Схема построения абсорбционного толщиномера

термостабилизированным коэффициентом преобразования. Данный метод используется чаще, поскольку позволяет добиться большей стабильности показаний прибора.

Наряду с радиационными методами измерения толщины применяются и другие методы: тензометрические, магнитные и др. Однако в металлургии преобладает использование именно радиационных методов, и это объясняется следующими их преимуществами:

- измерение толщины проводится бесконтактным путем, что позволяет работать в широком диапазоне температур металла, вплоть до температур плавления;
- возможно измерение толщины по всей ширине контролируемого проката;
- показания толщиномера не зависят от меняющейся при прокатке структуры металла, магнитных свойств и наличия примесей, не приводящих к существенному изменению плотности металла;
- предел основной погрешности современных толщиномеров составляет обычно не более 0,3–0,5%, что позволяет с достаточным запасом обеспечить требуемую действующими стандартами на листовой прокат точность измерения.

Срок эксплуатации большинства действующих на отечественных предприятиях радиоизотопных толщиномеров составляет около двадцати лет. У многих из них необходимо производить замену радиоактивных источников, в некоторых случаях после длительной эксплуатации выходят из строя элементы измерительного тракта. Стоимость современных импортных толщиномеров составляет порядка 100 тыс. долларов США и выше. Ввиду того, что далеко не каждое предприятие может позволить себе приобретение нового импортного толщиномера, возникла потребность проведения модернизации действующих толщиномеров с заменой источников излучения, электронного измерительного тракта и системы управления.

СИСТЕМА РАДИОИЗОТОПНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛА

Выбор путей решения задачи

Задача проведения модернизации радиоизотопного толщиномера металла на агрегате подготовки рулонов ЗАО

«Полистил» г. Лысьва Пермской обл. была поставлена перед разработчиками ЗАО «Квант» и НПО «Уралметаллургавтоматика» около двух лет назад.

На агрегате с начала восьмидесятых годов эксплуатировался толщиномер производства ГДР «FMM 24004». Он применялся для контроля толщины черной консервной жести (входной контроль). В нем использовался источник ионизирующего излучения на основе радионуклида ^{85}Kr . Ввиду того, что у этого источника период полураспада составляет 10,7 лет, его активность снизилась на текущий момент практически в четыре раза, что могло уже в ближайшее время сделать измерение невозможным. С другой стороны, длительная эксплуатация источников излучения недопустима, с точки зрения обеспечения радиационной безопасности. Электронный измерительный тракт также исчерпал срок службы и требовал замены. В ходе модернизации неизменной осталась удачно спроектированная и хорошо сохранившаяся станина толщиномера с электромеханическим приводом измерительной скобы.

Агрегат, на котором проводилась модернизация радиоизотопного толщиномера металла, предназначен для формирования рулонов из полосы жести заданной толщины (от 180 до 360 мкм) и ширины (от 512 до 1050 мм). Агрегат состоит из разматывателя, центрирующего устройства, радиоизотопного толщиномера металла, входных гильотинных ножниц поперечной резки, стыкосварочной машины, дисковых кромкообрезных ножниц, индикатора отверстий на полосе, выходных гильотинных ножниц поперечной резки, моталки. Рабочая скорость агрегата составляет от 0,5 до 10 м/с.

В результате модернизации толщиномера «FMM 24004» разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию система радиоизотопного измерения толщины металла.

На основании накопленного технического и рыночного опыта для реализации системы были выбраны источники бета-излучения на основе радионуклида ^{90}Sr - ^{90}Y и ионизационная камера, электронные комплектующие и датчики фирм Octagon Systems (микроконтроллер 6040), IEE (дисплей VFD 03602, 2×20 символов), Artesyn Technologies (источник электропитания NAL25-7608), НПП «Уралметаллурга-

томатика» (импульсный датчик скорости полосы ДИФ10-24, датчик наличия полосы ИМТ-27, модуль цифрового ввода-вывода ВВ183, преобразователь интерфейсов ПИ485, клавиатура КП181), ЗАО «КВАНТ» (головка радиационная, головка измерительная).

Выполняемые функции

Система РТМ относится к классу локальных систем контроля технологических параметров, является средством автоматизации нижнего уровня АСУ ТП цеха и выполняет следующие функции:

преобразование коэффициента ослабления потока ионизирующего излучения в цифровой код, пропорциональный толщине контролируемой полосы металла;

отображение текущей толщины полосы и параметров формируемого рулона на дисплее блока управления, мониторе IBM PC и распечатка ярлыка рулона на принтере;

обеспечение работы системы в режимах «Работа», «Контроль-тарировка», «Ручное [управление]».

Состав оборудования

Система состоит из следующих функциональных блоков, электрические связи между которыми показаны на функциональной схеме (рис. 2):

- головка радиационная (источники излучения, электропривод затвора),
- головка измерительная (ионизационная камера, электрометрический усилитель),
- скоба измерительная,
- станина,
- электроприводы измерительной скобы,
- шкаф управления электроприводами измерительной скобы и головки радиационной,
- блок преобразования и управления (БПУ) — рис. 3,
- преобразователь интерфейса RS-232/422/485,
- удаленный компьютер (системный блок, монитор),
- принтер.

Программное обеспечение

Программное обеспечение системы делится на две части:

- обработка входных аналоговых и логических сигналов, математические функции калибровки измерительного тракта, вывод служебной информации на дисплей блока БПУ, фор-

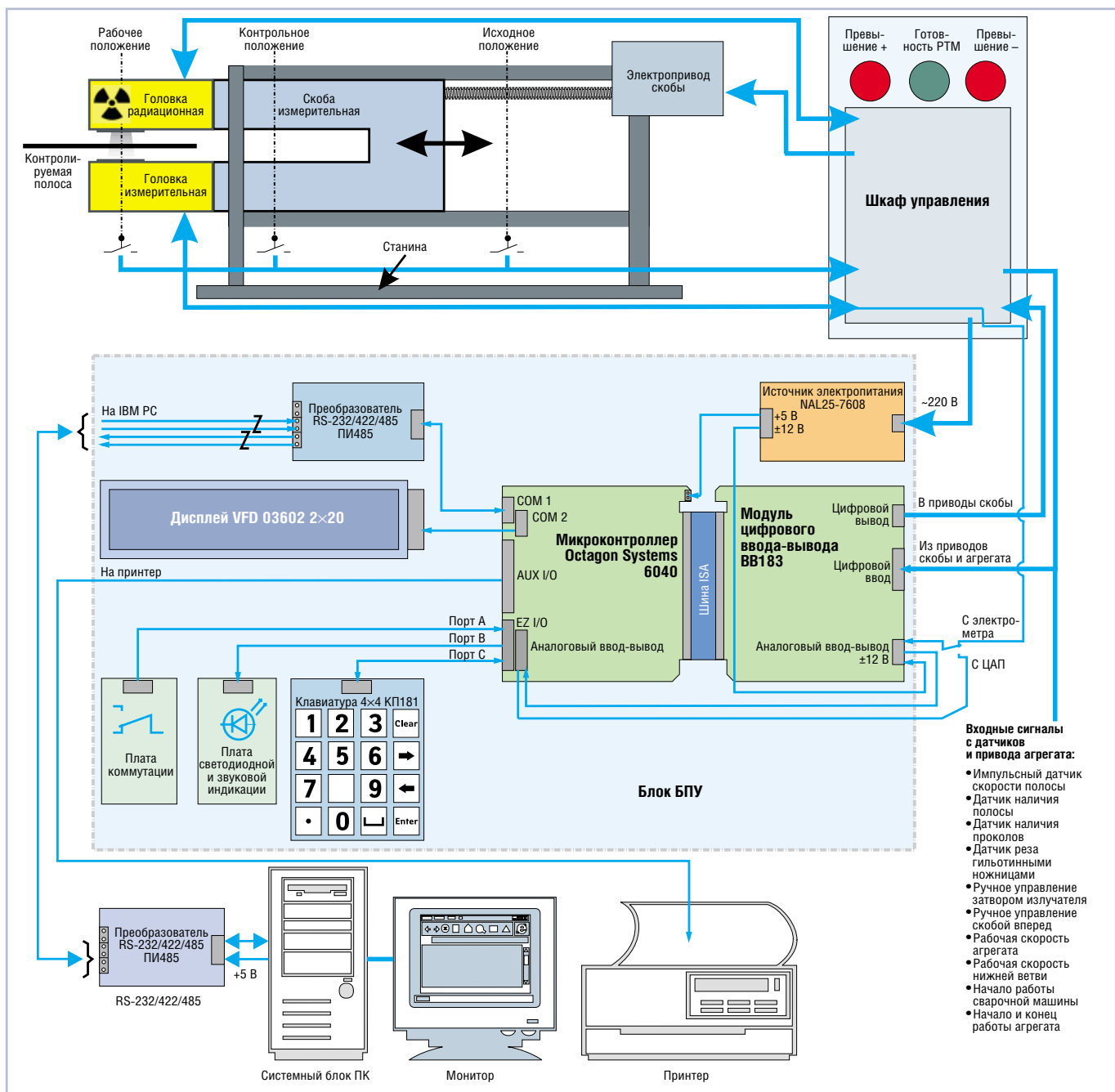


Рис. 2. Функциональная схема системы РТМ

мирование данных ярлыка готового металлического рулона для печати на принтере и формирование базы данных о распределении толщины по длине рулона для передачи через COM-порт на удаленный компьютер,

- прием информации с блока БПУ через COM-порт, визуализация на мониторе удаленного компьютера гистограммы распределения толщины по длине полосы и ярлыка готового рулона, хранение полученной информации.

Первая часть разработана на языке C++ v 3.1 с использованием ядра реального времени DOS RTKernel 4.5, вторая на C++ в среде Builder 5. Ис-

пользование RTKernel обусловлено не только стоимостными характеристиками продукта, но и простотой решения в этой системе технических задач при создании локальных систем измерения и регулирования технологических параметров, работающих только в режиме реального времени с быстродействием по контуру регулирования не менее 2-10 мс.

RTKernel характеризуется следующими особенностями, позволяющими повысить эффективность труда программиста и упростить решение поставленной задачи:

- способность обслуживания аппаратных прерываний с приостановкой выполнения текущей задачи;
- статическое резервирование памяти под стек каждой из задач;

- наличие планировщика состояния и приоритетности выполняемых задач;
- 64 приоритета задач (для большинства локальных систем требуется не более тридцати);
- простота изменения периода прерываний по системному таймеру в диапазоне от 0,1 до 55,0 мс;
- простота средств обмена данными между задачами [2].

Принцип действия и работа системы

Принцип действия РТМ основан на преобразовании потока бета-частиц, прошедшего через контролируемую полосу металла, в токовый сигнал в ионизационной камере. Ток ионизационной камеры преобразуется электрометрическим усилителем с термостабили-

зированным коэффициентом преобразования (электронметром) в стандартный аналоговый сигнал. Аналоговый сигнал транзитом через шкаф управления поступает на дифференциальные входы операционного усилителя, имеющего большое входное сопротивление и расположенного на плате ввода-вывода ВВ183 блока БПУ, и далее с выхода операционного усилителя на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера 6040. Опрос АЦП производится по системному таймеру с частотой 500 Гц. Данные АЦП накапливаются в буфере и по достижении его дна суммируются и делятся на число, определяющее глубину буфера. Следующее значение с АЦП замещает самое первое значение АЦП, записанное в буфер. Далее происходит новое суммирование содержимого буфера и деление суммы на постоянную глубину буфера и т.д. Таким образом, каждое новое цифровое значение напряжения с электронметра,

усредненное с учетом предыдущих значений, обрабатывается микроконтроллером 6040 с задержкой в 2 мс. Текущее значение измеренной толщины ($H_{изм}$) получается в результате решения уравнения вида:

$$H_{изм} = -t \ln(U_{уср} - A/K)$$

Здесь $U_{уср}$ — усредненное напряжение с электронметра; t , A , K — коэффициенты, которые вычисляются при калибровке толщиномера.

В режиме калибровки радиоизотопного толщиномера производится заполнение таблицы напряжений с электронметра, измеренных для калиброванных пластин заданных толщин; затем методом наименьших квадратов строится функ-

ция, сглаживающая отклонения, обусловленные ошибками измерения, и вычисляются коэффициенты t , A , K . Текущее значение толщины контролируемой полосы с заданной частотой выдается на дисплей блока БПУ, а при отклонении толщины за пределы установленного допуска в шкаф управления выдается команда на включение



Рис. 3. Лицевая панель и внутренняя конструкция БПУ

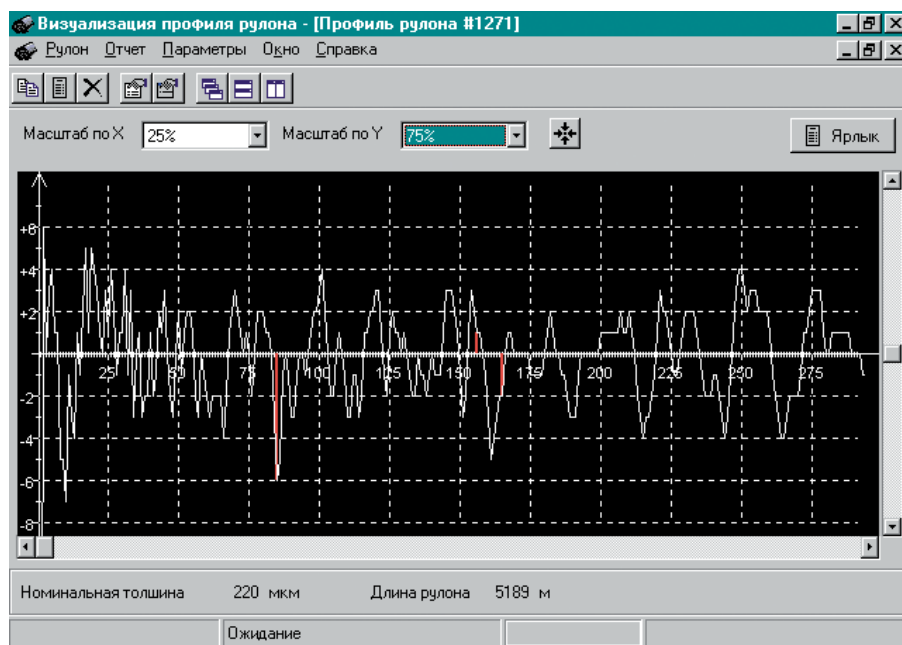


Рис. 4. Визуализация распределения толщины материала по длине готового рулона

световой сигнализации («Превышение +», «Превышение –»). За время прерываний, инициализируемых импульсным датчиком пути полосы, установленным на измерительном ролике, производится запись измеренной толщины полосы и сигнала с датчика наличия проколов на полосу в буфер данных, глубина которого увеличивается с

каждым оборотом измерительного ролика. По сигналу с датчика реза выходных гильотинных ножниц информация заносится в базу данных. Туда же поступает информация, введенная оператором с клавиатуры БПУ (номер рулона, изготовитель, партия изготовления, партия поступления, заказчик, нормативный документ, типоразмер,

марка, степень твердости) и вычисленная БПУ (масса готового рулона расчетная, масса теоретическая, количество метров в рулоне, количество метров в рулоне с утолщением, количество метров в рулоне с утонением, количество проколов, процент брака по толщине, номер бригады, расходный коэффициент, дата отбора образцов, содержимое буфера данных с распределенными по длине рулона толщиной и проколами). Готовая база данных по последовательному порту COM1 через два преобразователя RS-232/422, установленных на концах 4-проводной линии связи, посылается на удаленный PC, а через AUX-порт — на принтер, установленный на рабочем месте оператора. На удаленном PC в среде Windows 95/98 формируются картинки визуализации толщины материала, распределенной по длине готового рулона, в виде гистограммы или огибающей (рис. 4), ярлыка рулона (рис. 5), списка рулонов с краткой характеристикой (рис. 6). На гистограмме выделяются участки рулона с толщиной, вышедшей за пределы допуска, и проколы. Данные по рулонам сохраняются в течение заданного периода времени.

Система работает в режимах: «Работа», «Контроль-тарировка», «Ручное». Переключение режимов осуществляется тумблерами, расположенными на лицевой панели БПУ (рис. 3).

В режиме «Работа» при наличии полосы и готовности агрегата скоба автоматически устанавливается в рабочее положение и открывается затвор в головке радиационной, а при отсутствии полосы затвор закрывается и скоба перемещается в контрольное положение.

В режиме «Контроль-тарировка» скоба автоматически перемещается в контрольное положение. При установке в измерительный зазор между головкой радиационной и блоком детектирования калиброванных пластин и нажатии на лицевой панели БПУ кнопки «Зануление» производится формирование массива напряжений, пропорциональных толщине этих калиброванных пластин. По окончании измерений происходит пересчет коэффициентов t , A , K с учетом снижения активности источников излучения.

В режиме «Ручное» оператор управляет положением скобы кнопками, расположенными на посту управления агрегата. Управляющие сигналы формируются БПУ и поступают в привод скобы (асинхронный двигатель с ко-

Ярлык рулона №1271

Номер рулона: 1271
 Изготовитель: ММК
 Партия изготовления: 294 н
 Партия поступления: 41 - 3
 Заказчик (принадлежность): ИНСИ

НД: ГОСТ 13345-85
 Марка: ЧЖК
 Типоразмер: 0,22 x 714
 Степень твердости: []

Масса рулона по сертификату, кг: []
 Масса готового рулона расчетная, кг: 63
 теоретическая, кг: 6414
 физическая, кг: []

Количество метров в рулоне, м: 5191
 в т.ч. с утолщением, м: 26
 с утонением, м: 3
 Количество проколов, шт: 8
 Брак по толщине и проколам, %: 0,71
 Расходный коэффициент: 10
 Бригада: 4
 Дата отбора образцов: 25.03.01
 Время отбора образцов: 16:02:55

Печать... Просмотр

Рис. 5. Сопроводительный ярлык рулона

роткозамкнутым ротором, электромагнитная муфта, тормоз) и привод затвора головки радиационной (электромагнит постоянного тока) через шкаф управления.

Питание привода затвора головки радиационной, электрометрического усилителя, электромагнитной муфты, тормоза и цепей ввода-вывода БПУ осуществляется от источника постоянного тока напряжением 24 В, расположенного в шкафу управления. Все цепи ввода-вывода БПУ, кроме аналогового сигнала с электрометра, гальванически разделены.

Точностные параметры

Ввиду отсутствия калиброванных пластин нулевого класса оценка точностных параметров системы проведена косвенным путем через сравнение вычисленной и физической массы сформированного на выходе агрегата рулона. Естественно, что в массив данных вошли дополнительные погрешности измерения веса на рычажных весах, ширины полосы, диаметра измерительного ролика, коэффициента удельного веса стали. Согласно протоколу промышленных испытаний среднеквадратическая, приведенная к максимуму шкалы погрешность измерения толщины стальной полосы составила 0,22%.

Меры радиационной безопасности

В системе РТМ принят ряд мер, направленных на обеспечение радиационной безопасности эксплуатирующего и обслуживающего персонала. В частности, наряду с ГОСТ на радиоизотопные толщинометры, пришлось руководствоваться недавно принятыми «Нормами радиационной безопасности» НРБ-99 и «Основными санитарными правилами обеспечения радиаци-

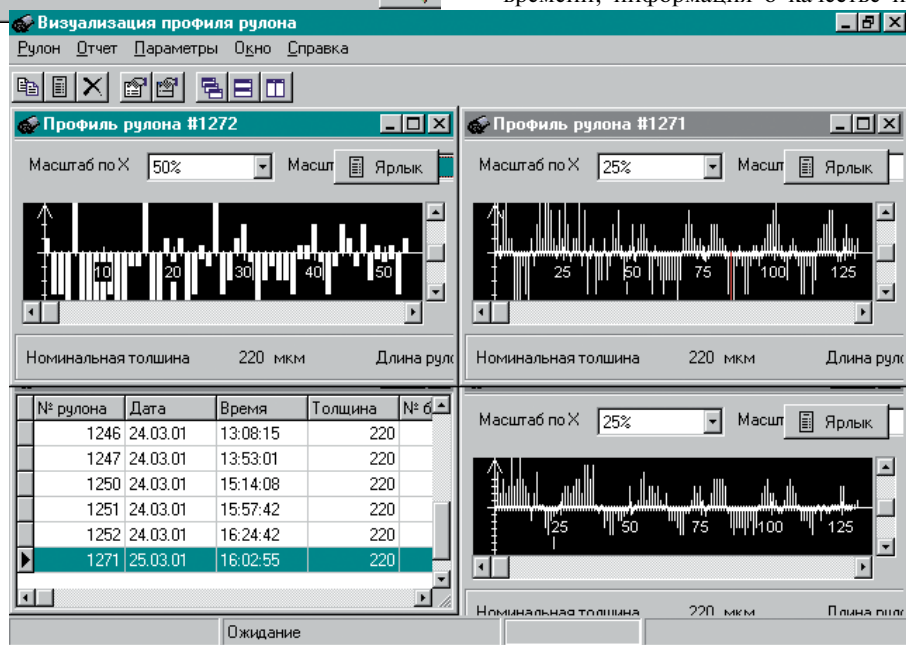


Рис. 6. Визуализация списка рулонов с их краткой характеристикой

онной безопасности» ОСПОРБ-99, а также рядом других документов. Головка радиационная имеет ряд конструктивных особенностей, необходимых для обеспечения радиационной безопасности. Например, при отключении питающего напряжения поток излучения автоматически перекрывается затвором. В случае отказа электромеханической системы управления затвором перевод источников в положение «Хранение» можно осуществить с помощью аварийной системы. На рабочем месте оператора и на передней панели головки радиационной установлен светодиодный индикатор положения затвора. Мощность дозы излучения в двух метрах от головки радиационной и на ближайших рабочих местах при проведении измерения близка к естественному фону и не превышает предельно допустимых уровней для населения в соответствии с НРБ-99. На конструкцию головки радиационной получено гигиеническое заключение, свидетельствующее о её соответствии установленным санитарным нормам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках поставленной задачи были решены следующие проблемы:

- с минимальными затратами на современном техническом уровне фактически заново построена система измерения толщины;
- помимо измерения толщины, решена задача контроля важных для агрегата технологических параметров;
- система позволяет проводить обработку измерений в режиме реального времени; информация о качестве и

количестве металла в автоматическом режиме поступает в АСУ ТП предприятия, что даёт дополнительные возможности для её систематизации и отображения;

- за счет применения надёжных импортных комплектующих повысилась отказоустойчивость системы. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Намазбаев Т., Полевой А., Савёлов В., Колесников А., Ананьев А., Маевский В., Махнев А. Нейтронный измерительно-вычислительный комплекс для контроля влажности и плотности шихтовых материалов // Современные технологии автоматизации. — 2001. — №1.
2. Локотков А. Программное обеспечение реального времени фирмы On Time Informatik GmbH // Современные технологии автоматизации. — 1997. — №2.

Авторы — сотрудники НПП «Уралметаллургавтоматика» и ЗАО «Квант»
Телефоны/ факс: (3432) 29-9314, 27-2423/2452