

С.В. Быткин ⁽¹⁾, зам. директора, к.т.н.

С.А. Винницкий ⁽²⁾, магистр

Т.В. Критская ⁽²⁾, профессор, д.т.н.

В.М. Литвин ⁽¹⁾, зам. директора, к.т.н.

Е.Г. Радин ⁽¹⁾, начальник РИЗЛ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ «STATISTICA 6» ДЛЯ АНАЛИЗА ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАДИОИЗОТОПНОГО ТОЛЩИНОМЕРА «ТУР-101 М»

⁽¹⁾ ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», г. Запорожье,

⁽²⁾ Запорожская государственная инженерная академия

Оцінено переваги використання радіаційних методів визначення товщини прокату в системах автоматичного регулювання. Викладено методику застосування програми «Statistica 6» для калібрування радіоізотопного товщиноміру, що використовують у прокатному виробництві.

Оценены преимущества использования радиационных методов определения толщины проката в системах автоматического регулирования. Изложена методика применения программы «Statistica 6» для калибровки радиоизотопного толщиномера, применяемого в прокатном производстве.

Введение. Повышение конкурентоспособности продукции диктует требование повышения ее качества, в частности, для металлопроката: ужесточение допусков по его толщине, ширине и плоскостности, отсутствие поверхностных дефектов, улучшение механических свойств. Необходимо принимать в расчет и дополнительные факторы: эффективность работы производственных линий, внешний вид проката, его стоимость, специфические требования потребителя.

Неотъемлемым элементом многих систем технологического контроля и автоматизации в последние десятилетия являются радиоизотопные приборы (РИП) [1]. Несмотря на бытующее сейчас негативное отношение к техническим применениям ионизирующего излучения, РИП, в том числе радиоизотопные толщиномеры (РТМ), применяют во многих отраслях промышленности – при производстве бумаги, полимерных пленок, в металлургии. В частности, РТМ, используемым в системах автоматического регулирования толщины (САРТ) металла на прокатных станах сегодня не найдена альтернатива [1,2]. Преимущества радиационных методов перед другими методами определения толщины (тензометрическими, магнитными) следующие:

- измерение толщины проводится бесконтактным путем, что позволяет работать в широком диапазоне температур металла, вплоть до температуры 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;
- погрешность измерений современных толщиномеров обычно не превышает 0,3...0,5 %, что позволяет с достаточным запасом обеспечить точность измерения, задаваемую действующими стандартами на листовой прокат.

Принцип действия РТМ основан на взаимодействии потока излучения с веществом. О толщине материала можно судить по интенсивности прошедшего сквозь веществ-

во или обратно рассеянного излучения. Применяют толщиномеры двух типов: 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. Интенсивность затухания излучения при прохождении через материал определяется массовым коэффициентом ослабления, зависящим от энергии, вида излучения и плотности материала. По кратности ослабления излучения материалом, используя калибровочную кривую, производят вычисление толщины изделия.

В качестве источников излучения могут применяться радиоактивные изотопы и рентгеновские трубки. В условиях производства применение радиоизотопных толщинометров предпочтительнее, поскольку у них шире диапазон измеряемых толщин и не требуется специальных схем стабилизации рабочих параметров.

В толщиномерах, в основном, используются сцинтилляционный и газоразрядный методы детектирования излучения. Первый метод обеспечивает преобразование энергии излучения в световые вспышки в кристалле-сцинтилляторе, которые преобразуются в электрический сигнал фотоэлектронным умножителем, работающим в счетном режиме. Газоразрядный метод предполагает преобразование энергии излучения в токовый сигнал (порядка μA), который преобразуется в выходное напряжение с помощью электрометрического усилителя. Данный метод позволяет добиться большей стабильности показаний прибора и используется чаще.

Постановка задачи. Целью работы является оценка точности бесконтактных измерений толщины проката с использованием статистических методов обработки экспериментальных данных.

Экспериментальная часть. В настоящей работе определение толщины тонких металлических лент производили при помощи радиоизотопного толщиномера типа «ТУР-101 М».. Непрерывный бесконтактный контроль толщины и ее отклонений от заданного номинального значения (индикация на выносном видеоконтрольном устройстве – мониторе) может осуществляться в диапазоне 0,20...4,00 мм при ширине полосы до 2000 мм, скорости прокатки до 10 м/с и температуре полосы до 120 °С.

Контролировали толщину полосы трех номиналов значений: 0,670; 1,995 и 3,505 мм во время прокатки. Для статистической обработки результатов измерений толщины проката использовали программу «Statistica 6» [3].

Перед проведением опытов прибор калибровали в соответствии с действующей технологической документацией [4,5] при температуре 20 °С, относительной влажности 87 % и атмосферном давлении 960 ГПа. Использовали комплект стандартных мер толщины № 3, вольтметр типа В7-22, лабораторный автотрансформатор УХЛ-4, вольтметр В7-37, барометр БАММ-1, гигрометр «Волна-1М» и термометр «ТЛ-2». Количество измерений равнялось десяти. Показания толщиномера приведены в табл. 1.

Также были рассчитаны следующие величины [3,6-8]:

- среднее значение измеряемой толщины d_{cp} ;
- систематическая составляющая основной погрешности Δ_c толщиномера;
- среднее квадратическое отклонение σ_d случайной составляющей основной погрешности толщиномера;
- верхняя и нижняя границы значений основной погрешности толщиномера Δ_z ;
- границы δ_n основной относительной погрешности.

Таблица 1 – Измеренные величины толщины полосы

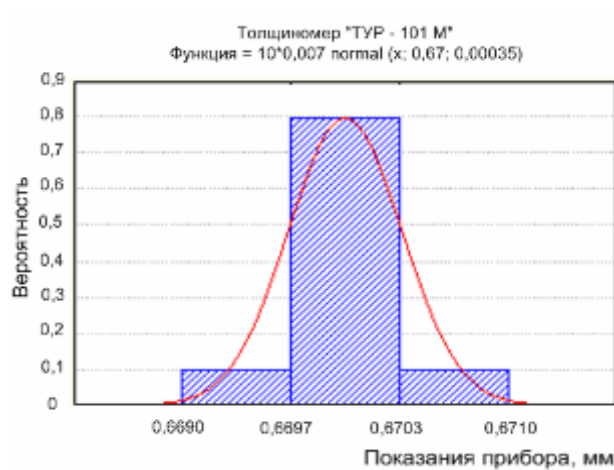
Толщина образца	Номер замера	Показания прибора
0,67	1	0,671
	2	0,670
	3	0,670
	4	0,670
	5	0,670
	6	0,669
	7	0,670
	8	0,670
	9	0,670
	10	0,670
1,995	1	1,945
	2	1,944
	3	1,944
	4	1,945
	5	1,946
	6	1,945
	7	1,944
	8	1,945
	9	1,945
	10	1,946
3,505	1	3,505
	2	3,505
	3	3,505
	4	3,505
	5	3,504
	6	3,506
	7	3,506
	8	3,505
	9	3,505
	10	3,505

Нормальное распределение вероятностей непрерывной случайной величины описывается дифференциальной функцией вида [3, 6-8]:

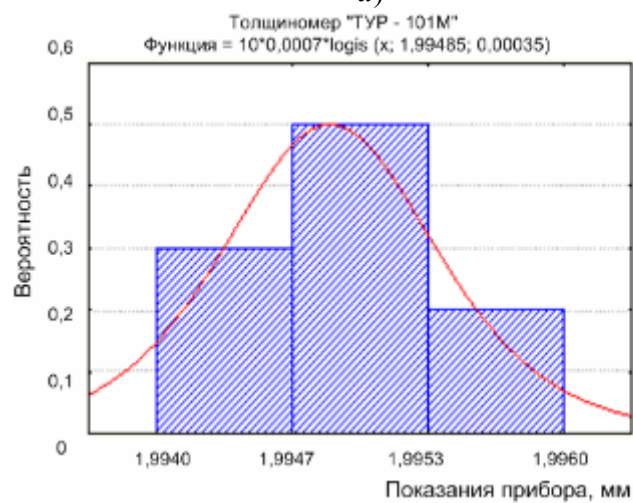
$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right); \quad (1)$$

$$-\infty < x < \infty,$$

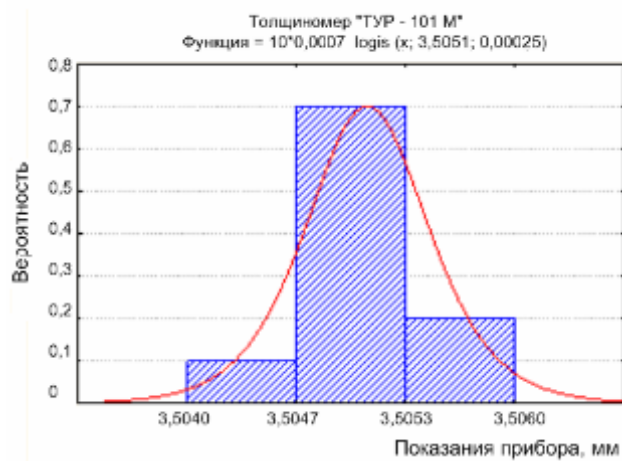
где μ – математическое ожидание; σ – стандартное отклонение, $\sigma > 0$.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Плотности распределения вероятностей толщин опытных образцов 0,670 мм (а); 1,995 мм (б) и 3,505 мм (в)

Средневзвешенное значение $\bar{x}$ рассчитывали по формуле:

$$\bar{x} = \int_0^{\infty} x \cdot f(x) dx . \quad (2)$$

Дисперсию (D -отклонение от среднего) [3,6-8] оценивали как

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1) \cdot n}, \quad (3)$$

где n – количество проведенных опытов; x_i – единичное значение.

На основании данных измерений с использованием программы «Statistica 6» были построены кривые нормального распределения. Графики плотности распределения вероятностей толщин опытных образцов полос 0,670 мм (а); 1,995 мм (б) и 3,505 мм (в) приведены на рис. 1.

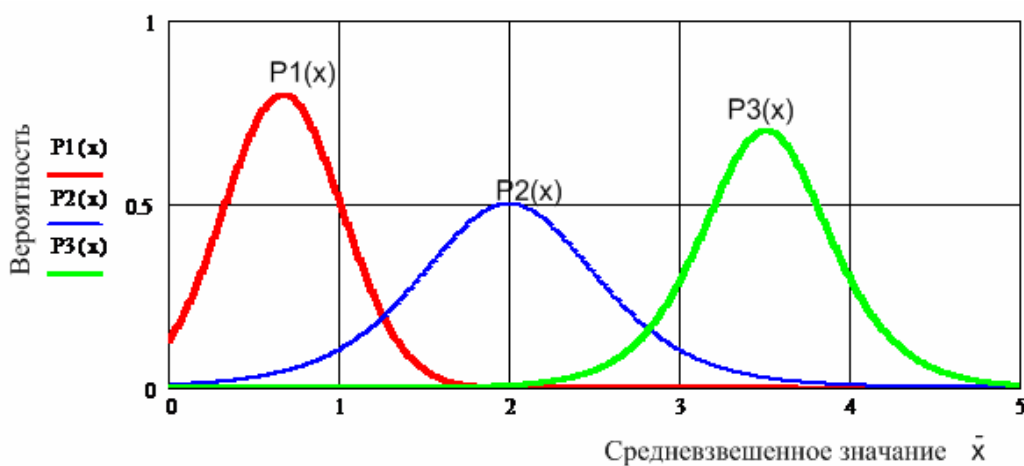
Характер распределения измеренных толщин образцов 1,995 и 3,505 мм (несимметричность гистограмм на рис. 1,б, 1,в) свидетельствует о низкой точности измерений «больших» толщин с помощью выбранного типа толщиномера. Поэтому для их описания было выбрано логистическое распределение, описываемое функцией вида [6,8]:

$$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{b}\right) \cdot \left[1 + \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{b}\right)\right]^{-2}; \quad (4)$$

$$-\infty < x < \infty,$$

где a – среднее распределения; b – фактор масштабирования, характеризующий форму кривой для данного вида распределения.

Как и в случае с нормальным распределением, по выражениям (2) и (3) были найдены средневзвешенные значения $\bar{x}$ и дисперсия D , результаты которых приведены в табл. 2. Плотности распределения вероятностей толщин опытных образцов полос 0,670 мм (а); 1,995 мм (б) и 3,505 мм (в) приведены на рис. 2.



$P_1(x)$ - вероятность показаний толщиномера для калибровочного образца толщиной 0,670 мм;
 $P_2(x)$ - вероятность показаний толщиномера для калибровочного образца толщиной 1,995 мм;
 $P_3(x)$ - вероятность показаний толщиномера для калибровочного образца толщиной 3,505 мм

Рисунок 2 – Распределение вероятностей значений толщины проката при измерении с помощью толщиномера типа «ТУР-101 М»

Анализ данных табл. 2 и рис. 2 свидетельствует о том, что точность измерений толщиномера выше для толщины 0,670 и 3,505 мм. При измерениях толщины в диапазоне ~2 мм необходимо проведение калибровки прибора с использованием методов статистической обработки данных.

Таблица 2 – Результаты обработки данных по выражениям (1), (2), (3)

Толщина образца мм.	0,67	1,995	3,505
Функция распределения показаний толщиномера	Нормальное распределение	Логистическое распределение	Логистическое распределение
Формула функции	$f_1(x) = \frac{1}{0,00035\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-1,99485)}{0,00035}\right)$	$f_2(x) = \frac{1}{0,00035} \cdot \exp\left(-\frac{(x-1,99485)}{0,00035}\right) \cdot \left[1 + \exp\left(-\frac{(x-1,99485)}{0,00035}\right)\right]^{-2}$	$f_3(x) = \frac{1}{0,00025} \cdot \exp\left(-\frac{(x-3,5051)}{0,00025}\right) \cdot \left[1 + \exp\left(-\frac{(x-3,5051)}{0,00025}\right)\right]^{-2}$
Средневзвешенное значение $\bar{X}$	0,674	1,996	3,505
Дисперсия D	$1,333 \cdot 10^{-6}$	$2,429 \cdot 10^{-6}$	$1,50 \cdot 10^{-6}$

Заключение. Статистическая обработка данных измерений толщины листового проката, произведенных бесконтактным методом с использованием радиоизотопного толщиномера типа «ТУР-101 М» показывает, что при увеличении толщины прокатываемого листа до 1,995 мм возрастает и вероятность ошибочных значений показаний толщиномера. Таким образом, данный тип толщиномера обеспечивает наибольшую точность измерений для листа толщиной $\leq 1,0$ мм и $\geq 3,0$ мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банников А. Разработки контрольно-измерительных систем / А. Банников, Е. Зиневич // Современные технологии автоматизации. – 2002. – № 1. – С. 36-41.
2. Нейтронный измерительно-вычислительный комплекс для контроля влажности и плотности шихтовых материалов / Т. Намазбаев, А. Полевой, В. Савелов [и др.] // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 1. – С. 25-29.
3. Куприенко Н. В. Статистика. Методы анализа распределений. Выборочное наблюдение: [учебное пособие для вузов] / Н. В. Куприенко, О. А. Понамарева, Д. В. Тихонов. – [3-е изд.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 138 с.
4. Дополнение к руководству по эксплуатации ААЕЧ 2.787.053 РЭ // ОАО «Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь». – Запорожье: РИЗЛ, 2006. – 12 с.
5. Технологическая инструкция № ТИ 226-ЗП-01-2008 // ОАО «Запорожский металлургический комбинат «Запорожсталь». – Запорожье: РИЗЛ, 2008. – 59 с.
6. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятным распределениям / Р. Н. Вадзинский. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
7. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: [учебное пособие для вузов] / В. Е. Гмурман. – [Изд. 4-е]. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.
8. Хамханова Д. Н. Общая теория измерений: [учебное пособие] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 168 с.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2011 р.

Рецензент, проф. В.М. Михайлін