

Влияние спектральных характеристик систем пирометрии излучения на методические погрешности многоцветовой линейной симметрично-волновой термометрии металлургических объектов

Исследовано влияние оптических характеристик пирометрии излучения на погрешности многоцветовой линейной симметрично-волновой термометрии металлургических объектов с различными спектральными распределениями излучательной способности. Установлено, что для наиболее характерных спадающих выпуклых спектральных распределений излучательной способности чистой поверхности нецветных металлов и их сплавов погрешности не превышают 0,5 %. На базе полученных физических закономерностей разработаны основы оптимизации оптических характеристик симметрично-волновой пирометрии излучения, обеспечивающие двукратное снижение погрешностей.

Ключевые слова: одно-, многоцветовая термометрия, симметрично-волновая термометрия, температура излучения, температура объекта, излучательная способность, спектральные распределения излучательной способности

По известным причинам наиболее широкое применение оптическая термометрия находит в металлургии. Причем для многих металлургических процессов оптические измерения температуры являются безальтернативными, например для термоконтроля движущегося металла, в том числе расплавов в струе или потоке, а также проволоки и проката. Классические энергетические и спектрального отношения технологии бесконтактной оптической термометрии могут быть использованы на открытых контролируемых объектах, без калибровки, соответственно в случаях термодинамически равновесного и серого излучения. Такие условия в металлургии встречаются редко. Поэтому в основных условиях окрашенного излучения возможности классической оптической термометрии в металлургии ограничены известными проблемами – нестабильностью излучательной способности (ε_{var}) и пропускания промежуточной среды (τ_{var}), а также отсутствием информации об абсолютных значениях этих параметров. Установлено, что, увеличивая количество рабочих длин волн, то есть переходя от классической к многоцветовой пирометрии излучения, влияние ε_{var} и τ_{var} можно в значительной степени уменьшить или вообще исключить [1-4]. Многоцветовая пирометрия излучения дает возможность значительно повысить метрологические характеристики оптической термометрии и соответственно расширить области ее применения в металлургии.

Одним из перспективных, разрабатываемых ФТИМС НАН Украины, направлений многоцветовой термометрии является симметрично-волновая пирометрия излучения (СВПИ) [3]. Методические погрешности наиболее простой в технической реализации линейной СВПИ, в отличие от классической двухцветовой пирометрии излучения, при всех линейных распределениях излучательной способности (термо-

динамически равновесном, сером, возрастающем и спадающем) равны нулю. Известно, что погрешности классической двухцветовой пирометрии излучения равны нулю только для термодинамически равновесного и серого излучения. Ранее нами установлено, что даже при значительно нелинейных распределениях излучательной способности реальных объектов, в том числе нецветных металлических сплавов, погрешности линейной СВПИ не превышают 0,4 %. Это соответствует требованиям металлургических процессов по точности термоконтроля [3]. Погрешности линейной СВПИ при нелинейных распределениях ε зависят от оптических характеристик многоцветовой пирометрической системы и термометрируемых объектов, в том числе от длины средней волны (λ_2), а также от качественных и количественных характеристик спектральных распределений излучательной способности. Поэтому особый интерес представляют исследования влияния оптических спектральных характеристик пирометрии излучения λ_2 на погрешности линейной СВПИ металлургических объектов с различными распределениями излучательной способности по спектру, в том числе металлических сплавов.

На рис. 1 приведены зависимости методических погрешностей трехволновой линейной СВПИ термометрируемых объектов с различными распределениями излучательной способности от λ_2 , полученные авторами для $\Delta\lambda = (\lambda_3 - \lambda_1) / 2 = 0,3$ мкм: ТР – термодинамически равновесное; СР – серое; ВЛ – возрастающее линейное; СЛ – спадающее линейное; СВП_л – спадающее выпуклое экспериментальное вольфрама; ВВП_л – возрастающее выпуклое зеркально отраженное вольфрама; СВП_з – спадающее вогнутое зеркально отраженное вольфрама; ВВП_з – возрастающее вогнутое зеркально отраженное вольфрама; СВП_{ав} – спадающее выпуклое

аппроксимированное вольфрама; ВВПазw – возрастающее выпуклое аппроксимированное зеркально отраженное вольфрама; СВГазw – спадающее вогнутое аппроксимированное зеркально отраженное вольфрама; ВВПазw – возрастающее вогнутое аппроксимированное зеркально отраженное вольфрама, которые количественно определяются коэффициентами нелинейности (Кн) и крутизны (Кк), а также диапазоном излучательной способности $\Delta\epsilon$. Перечисленные распределения перекрывают возможные монотонные распределения излучательной способности термометрируемых объектов в металлургии. Количественные характеристики перечисленных исследованных распределений излучательной способности для $\Delta\lambda = 0,3$ мкм приведены в табл. 1.

Безразмерный Кн рассчитывают по выражению $K_n = \epsilon_2 - \epsilon_{2n}$, где ϵ_2 – излучательная способность объекта на длине волны λ_2 ; ϵ_{2n} – излучательная способность объекта на длине волны λ_2 для линейно аппроксимированного распределения $\epsilon_n = f(\lambda)$. Кк вычисляются выражением $K_k = (\epsilon_3 - \epsilon_1) / (\lambda_3 - \lambda_1)$, m^{-1} , где ϵ_3 и ϵ_1 – значения излучательной способности объекта соответственно на граничных длинах волн λ_1 и λ_3 . $\Delta\epsilon$ – находят значениями излучательной способности на граничных длинах волн, то есть на λ_1 и λ_3 . Пределы значений для Кн, Кк и $\Delta\epsilon$ определяют указанными качественными характеристиками спектральных распределений излучательной способности (рис. 1).

В качестве СВП-распределений исследованы наиболее изученные в термометрии, оптике металлов и светотехнике, а также детально представленные в литературе экспериментальные распределе-

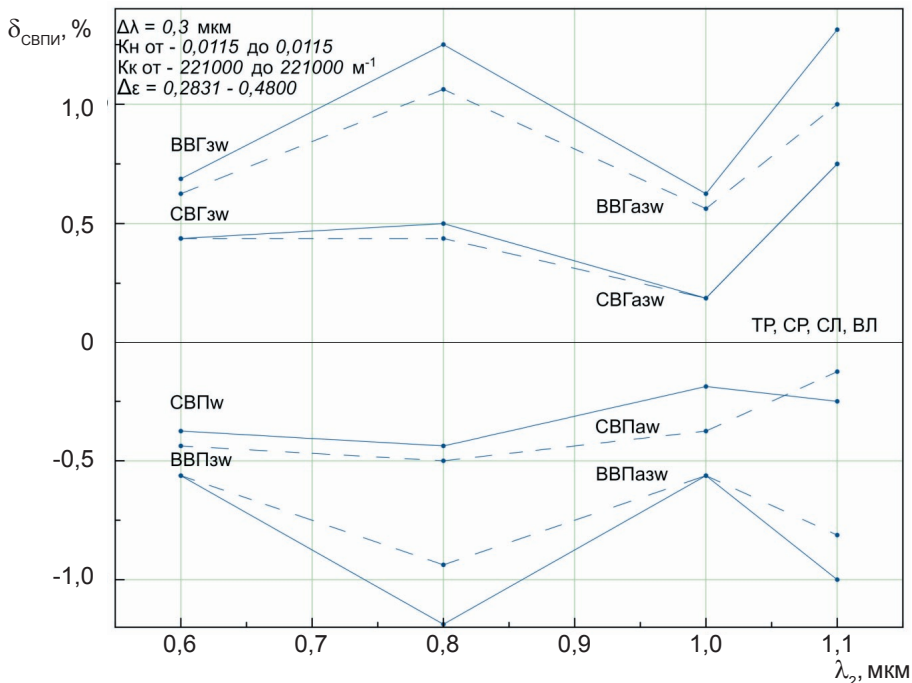


Рис. 1. Изменения погрешностей линейной СВПИ от λ_2

ния излучательной способности вольфрама СВПw [5-7]. Для СВГ-, ВВП- и ВВП-распределений использовали соответствующие зеркальные отображения СВПw-распределений, то есть СВГзw- и ВВПзw- и ВВПзw-распределения. Систематическая погрешность приведенных в указанных работах результатов исследований излучательной способности вольфрама оценивается для спектрального диапазона 0,4-1,0 мкм в 0,1-0,3 %, а случайная среднеквадратическая – 0,5 %. Большее значение систематической погрешности относится к длинам волн 0,4 и 1,0 мкм. Авторами установлено, что значительные колебания экспериментальных спектральных распределений излучательной способности вольфрама физически не обоснованы и не подтверждены изменениями его электромагнитных характеристик

Таблица 1

Характеристики исследованных распределений излучательной способности

Качественные	Количественные (при λ_2 , мкм)											
	0,6			0,8			1,0			1,1		
	Кн	Кк	$\Delta\epsilon$	Кн	Кк	$\Delta\epsilon$	Кн	Кк	$\Delta\epsilon$	Кн	Кк	$\Delta\epsilon$
СВПw	0,0115	-135000	0,480-0,399	0,0055	-178333	0,466-0,359	0,001	-196667	0,436-0,318	0,0038	-200000	0,418-0,298
СВГзw	-0,0115	-135000	0,480-0,399	-0,0055	-178333	0,466-0,359	-0,001	-196667	0,436-0,318	-0,004	-200000	0,418-0,298
ВВПзw	0,0115	135000	0,399-0,480	0,0055	178333	0,359-0,466	0,001	196667	0,318-0,436	0,0038	200000	0,298-0,418
ВВПзw	-0,0115	135000	0,399-0,480	-0,0055	178333	0,359-0,466	-0,001	196667	0,318-0,436	-0,004	200000	0,298-0,418
СВПазw	0,0126	-135333	0,3989-0,3989	0,0054	-178833	0,3588-0,4661	0,0021	-196000	0,3181-0,4357	0,0005	-198333	0,2988-0,4178
СВГазw	-0,0111	-135500	0,4799-0,3986	-0,0053	-152166	0,4499-0,3586	-0,001	-180000	0,4397-0,3317	-0,002	-221000	0,4157-0,2831
ВВПазw	0,01105	135500	0,3986-0,4799	0,0053	152166	0,3586-0,4499	0,001	180000	0,3317-0,4397	0,0017	221000	0,2831-0,4157
ВВПазw	-0,0111	135500	0,3986-0,4799	-0,0053	152166	0,3586-0,4499	-0,001	180000	0,3317-0,4397	-0,002	221000	0,2831-0,4157

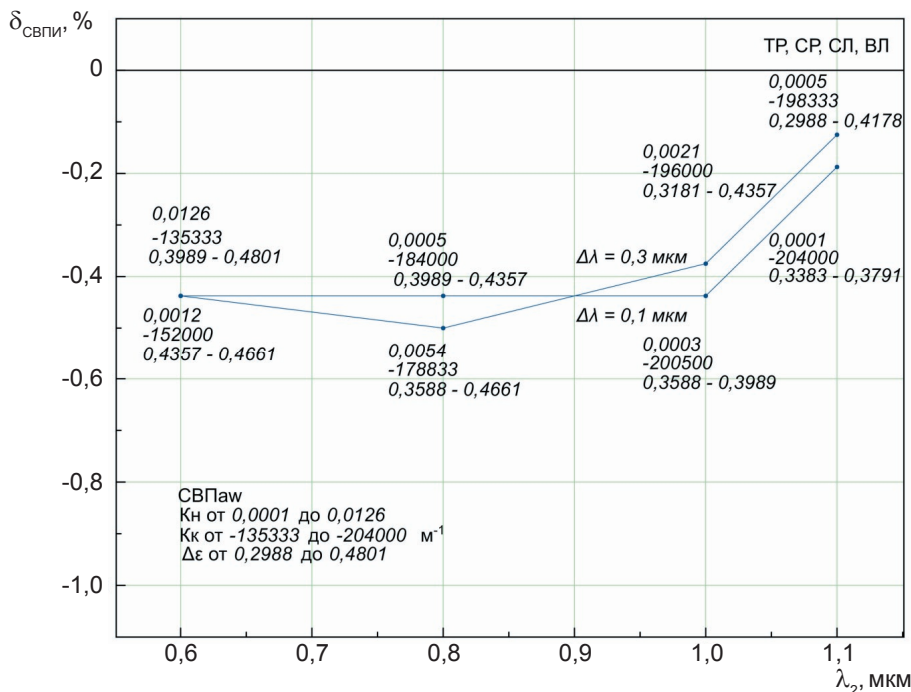


Рис. 2. Изменения погрешностей линейной СВПИ от λ_2 для СВПаw-распределения и граничных значений $\Delta\lambda$

по спектру и температуре. Объяснить эти колебания можно, прежде всего, погрешностями трудно реализуемых высокотемпературных экспериментальных исследований оптических свойств этого металла. Поэтому, известные экспериментальные данные для ВВПазw-, СВПаw-, ВВГазw- и СВГазw-распределений в спектральном диапазоне от 0,3 до 1,5 мкм аппроксимировали следующими полиномами шестой степени:

$$\begin{aligned} \varepsilon_a &= -(-0,09058751\lambda_n^6 - 0,6024\lambda_n^5 + 1,6045\lambda_n^4 - \\ &- 2,2555\lambda_n^3 + 1,8327\lambda_n^2 - 0,6475\lambda_n + 0,4234344); \\ \varepsilon_a &= -0,0906\lambda_n^6 + 0,6024\lambda_n^5 - 1,6045\lambda_n^4 + \\ &+ 2,2555\lambda_n^3 - 1,8327\lambda_n^2 + 0,6475\lambda_n + 0,4015; \\ \varepsilon_a &= -0,091\lambda_n^6 + 0,2693\lambda_n^5 - 0,2682\lambda_n^4 + \\ &+ 0,0177\lambda_n^3 + 0,1144\lambda_n^2 + 0,1443\lambda_n + 0,2656; \\ \varepsilon_a &= -(-0,0909875\lambda_n^6 + 0,2693\lambda_n^5 - 0,2682\lambda_n^4 + \\ &+ 0,0177\lambda_n^3 + 0,1144\lambda_n^2 + 0,1443\lambda_n - 0,5593343). \end{aligned}$$

Предложенная аппроксимация обеспечивает исключение значительной части указанной случайной погрешности. В исследованном спектральном диапазоне 0,3-1,4 мкм исключенная часть достигает 0,3 % (за счет усреднения). Зависимости для аппроксимированных распределений излучательной способности также приведены на рис. 1 и обозначены соответственно СВПаw, СВГазw, ВВПазw и ВВГазw.

Анализ полученных результатов показывает, что зависимости для аппроксимированных и экспери-

Таблица 2
Пределы погрешностей линейной СВПИ для СВПаw-распределения с граничными Кн 0,0005 и 0,0126 при значениях Кк от -135333 до -198333 м⁻¹; Δε = 0,2988 - 0,4801; Δλ = 0,3 мкм и T = 1600 К

Кн	λ_2 , мкм	Погрешности	
		$\Delta = T_{\text{свпи}} - T$, К	$\Delta = (T_{\text{свпи}} - T/T) \times 100$, %
0,0005	1,1	-2,0	-0,13
0,0126	0,6	-7,0	-0,44

ментальных распределений качественно совпадают. Причем погрешности для аппроксимированных распределений меньше или равны погрешностям для экспериментальных распределений. Объясняется это тем, что в условиях исследований аппроксимированные распределения излучательной способности более линейны, чем экспериментальные. Погрешности линейной СВПИ для СВГ- и СВП-распределений минимальны, по модулю практически одинаковы и не превышают 0,75 % (0,50 % – для рабочего спектрального диапазона наиболее приемлемых кремниевых детекторов излучения), а для ВВПзw-, ВВГзw-, ВВПазw- и ВВГазw-распределений – достигают 1,2; 1,3 и 1,0; 1,1 % соответственно. Такой разброс погрешностей вычисляют отклонениями экспериментальных распределений излучательной способности вольфрама от сглаженных аппроксимированных.

Поэтому для последующего анализа в основном использованы результаты исследований, полученные для аппроксимированных распределений. Зависимости погрешностей от длины средней волны для экспериментальных и аппроксимированных спектральных распределений излучательной способности имеют сложный аналитический вид с несколькими экстремумами. Для $\lambda_2 = (1,0; 1,1)$ мкм значения погрешностей определяют доминирующим влиянием Кн, которое усиливается воздействием излучательной способности. При $\lambda_2 = 1,0$ мкм Кн = 0,0012 ($\varepsilon_1 = 0,4397$; $\varepsilon_2 = 0,3860$ и $\varepsilon_3 = 0,3317$), а при $\lambda_2 = 1,1$ мкм – 0,0005 (0,4157; 0,3569 и 0,2831). Для значений $\lambda_2 = (0,6; 0,8)$ мкм заметное влияние на погрешности оказывает излучательная способность на λ_1 , λ_2 и λ_3 (соответственно 0,4799; 0,4505; 0,3980 и 0,4499; 0,4178; 0,3586). Поэтому погрешности для $\lambda_2 = 0,8$ мкм при меньшем Кн больше, чем погрешности для $\lambda_2 = 0,6$ мкм.

У погрешностей линейной СВПИ характер систематический и у них бывают различные знаки: $\delta_{\text{свг}} > 0$; $\delta_{\text{ввг}} > 0$; $\delta_{\text{свп}} < 0$ и $\delta_{\text{ввп}} < 0$. Это свидетельствует о принципиальной возможности использования линейной СВПИ с введением температурных поправок и усреднением результатов сравнительных измерений температуры объектов с более значительной и изменяющейся нелинейностью спектральных распределений излучательной способности.

Установлена закономерная связь погрешностей с характером распределений излучательной способности. Минимальный уровень погрешностей, последовательно повышающийся для ВВП-, СВГ- и ВВГ-распределений, получен для СВП-распределений. Эта закономерность определяется количеством рабочих длин волн в областях высоких и низких значений излучательной способности. Погрешности измерений в трехволновой СВПИ температур излуче-

Пределы погрешностей линейной СВПИ для смещенных СВПаw-распределений с граничными ε 0,1988 и 0,8499 при значениях Кн 0,0005 и 0,0054; Кк -135333 и -178833 м⁻¹; $\Delta\lambda = 0,3$ мкм и $T = 1600$ К

$\Delta\varepsilon$	Распределения $\varepsilon = f(\lambda)$	Погрешности	
		$\Delta = T_{\text{СВПИ}} - T, \text{ К}$	$\delta = (T_{\text{СВПИ}} - T/T) \times 100, \%$
при $\lambda_2 = 0,8$ мкм			
0,7586 - 0,8499	$\varepsilon_{\text{СВПаw}} + 0,4$	-5,0	-0,31
0,3586 - 0,4499	$\varepsilon_{\text{СВПаw}}$	-8,0	-0,50
0,2586 - 0,3499	$\varepsilon_{\text{СВПаw}} - 0,1$	-10,0	-0,63
при $\lambda_2 = 1,1$ мкм			
0,6988 - 0,8178	$\varepsilon_{\text{СВПаw}} + 0,4$	-1,2	-0,08
0,2988 - 0,4178	$\varepsilon_{\text{СВПаw}}$	-1,9	-0,13
0,1988 - 0,3178	$\varepsilon_{\text{СВПаw}} - 0,1$	-2,5	-0,16

ния S_1, S_2 и S_3 уменьшаются с повышением $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ и ε_3 . Чем больше длин волн находится в области высоких значений излучательной способности, тем меньше погрешности СВПИ. Для объектов с ВВГ- и СВГ-распределениями λ_1, λ_2 и λ_3, λ_3 находятся в области низких значений ε . А в случаях ВВП- и СВП-распределений в области низких значений ε находятся только $\lambda\lambda_1$ и λ_3 . В соответствии с термодинамическими законами теплового излучения Вина и Планка и выведенными из них пирометрическими уравнениями погрешности измерений S_1, S_2 и S_3 также определяют длинами волн λ_1, λ_2 и λ_3 , и тогда $\delta_{\text{ВВГ}} > \delta_{\text{СВГ}}$, так как $\lambda_3 > \lambda_1$. Тем не менее, для изученных распределений излучательная способность является доминирующей при определенном влиянии длины волны, и поэтому $\delta_{\text{ВВГ}} > \delta_{\text{СВП}}$.

В случаях линейных спектральных распределений излучательной способности ТР, СР, ВЛ и СЛ погрешности линейной СВПИ равны нулю.

Для разработки, оптимизации и практического использования методов и средств линейной СВПИ необходимо изучить влияние λ_2 в реальных диапазонах изменений остальных оптических характеристик симметрично-волновой пирометрии излучения то есть $\Delta\lambda, \text{Кн, Кк}$ и $\Delta\varepsilon$. Влияние перечисленных характеристик на погрешности линейной СВПИ исследовано для основного, наиболее изученного и типичного для нецветных металлов и их сплавов, СВПаw-распределения излучательной способности вольфрама и представлено на рис. 2 и в табл. 2, 3.

В системе координат $\delta_{\text{СВПИ}}-\lambda_2$, при изменении λ_2 от 0,6 до 1,1 мкм, минимальные и максимальные погрешности линейной СВПИ равны для $\Delta\lambda = (0,3; 0,1)$ мкм соответственно, а с изменением λ_2 от 0,6 до 0,9 мкм эти погрешности достигают 0,50 и 0,44 %. Если же $\lambda_2 > 0,9$ мкм, – указанные погрешности снижаются до 0,13 и 0,18 % (при доминировании погрешностей для $\Delta\lambda = 0,1$ мкм). Установленные закономерности можно объяснить доминирующим влиянием Кн при определенном влиянии $\Delta\varepsilon$. Например, с увеличением λ_2 от 0,6 до 1,1 мкм Кн для $\Delta\lambda 0,3$ и 0,1 мкм уменьшается от 0,0126 до 0,0005 и от 0,0012 до 0,0001 соответственно. В коротковолновой части спектра погрешности при $\Delta\lambda = 0,3$ мкм превышают, а в длинноволновой – соответственно меньше на 0,06 % погрешностей для $\Delta\lambda = 0,1$ мкм. Объяснить

это можно повышением линейности СВПаw-распределения в длинноволновой части спектра для исследованных значений λ_2 и $\Delta\lambda$.

В табл. 2 представлены пределы погрешностей линейной СВПИ для граничных значений Кн при указанных значениях остальных оптических характеристик $\Delta\lambda, \lambda_2, \text{Кк}$ и $\Delta\varepsilon$. Полученные результаты свидетельствуют о доминирующем влиянии Кн при более слабом воздействии других характеристик. С увеличением Кн от 0,0005 до 0,0126, даже при положительном, снижающемся за счет ε , воздействии λ_2 погрешность возрастает от 0,13 до 0,44 % (от 2 до 7 К).

Для СВПаw-распределения при увеличении λ_2 от 0,6 до 1,1 мкм Кк изменяется в пределах от -135333 до -198333 м⁻¹. Установлено, что в этих пределах влияние Кк несоизмеримо мало по сравнению с воздействием $\Delta\lambda, \lambda_2, \text{Кн}$ и $\Delta\varepsilon$. Например, для $\Delta\lambda = 0,3$ мкм и $\lambda_2 = 0,8$ мкм Кк = -178946 м⁻¹. При значительных изменениях Кк от -78833,3 до -278833 м⁻¹, перекрывающих значения Кк для СВПаw-распределения (-178946 м⁻¹), погрешность СВПИ практически не изменяется.

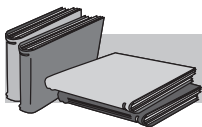
Погрешности линейной СВПИ для граничных значений ε при указанных значениях $\Delta\lambda, \lambda_2, \text{Кн}$ и Кк приведены в табл. 3. Пределы погрешностей получены для смещенных на +0,4 и -0,1 по шкале ε СВПаw-распределений. В табл. 3 несмещенное СВПаw-распределение для $\lambda_2 = (0,8$ и $1,1)$ мкм Кн и Кк равны 0,0054; 0,0005 и -178833; -135333 м⁻¹ соответственно. С уменьшением ε от 0,8499-0,7586 до 0,3499-0,2586 и от 0,8178-0,6988 до 0,3178-0,1988 погрешности СВПИ возрастают для $\lambda_2 = (0,8$ и $1,1)$ мкм соответственно от 0,31 до 0,63 и от 0,08 до 0,16 %. Это свидетельствует о том, что при таких искусственно выбранных широких диапазонах изменений излучательной способности влияние $\Delta\varepsilon$ на погрешности СВПИ заметно, но в несколько раз меньше доминирующего, определяющего основной уровень погрешностей, влияния Кн. Например, при переходе от $\lambda_2 = 0,8$ к 1,1 мкм Кн уменьшается от 0,0054 до 0,0005 и это приводит к снижению погрешностей в 4 раза.

Приведенные в табл. 3 результаты исследований также подтверждают адекватность разработанного авторами направления СВПИ. При повышении излучательной способности вольфрама на 0,4 погрешности СВПИ для $\lambda_2 = (0,8$ и $1,1)$ мкм соответственно уменьшаются от 0,50 до 0,31 и от 0,13 до 0,08, а при уменьшении ее на 0,1 – увеличиваются практически на такую же величину, то есть от 0,50 до 0,63 и от 0,13 до 0,16. Это свидетельствует о том, что в соответствии с обобщающим пирометрическим уравнением погрешности СВПИ подчиняются экспоненциальному воздействию ε , вытекающему из термодинамических законов теплового излучения.

Выводы

В результате представленных исследований установлены закономерности влияния длины средней волны (λ_2) на методические погрешности симметрично-волновой пирометрии излучения (СВПИ) термометрируемых объектов с различными распределениями излучательной способности (ε). Погрешности термометрии объектов с термодинамически равновесным, серым, возрастающим и спадающим линейными распределениями ε не зависят от λ_2 и равны нулю. Для окрашенных термометрируемых объектов со спадающими и возрастающими выпуклыми и вогнутыми монотонными спектральными распределениями ε (СВП-, СВГ-, ВВП- и ВВГ-распределениями) зависимости погрешностей от λ_2 имеют сложный аналитический вид с несколькими экстремумами, определяемыми остальными оптическими характеристиками систем СВПИ и термометрируемых объектов. Минимальные, не превышающие

0,5 %, погрешности имеют место для СВГ- и характерных для нецветных металлов и их сплавов СВП-распределений. Погрешности для СВГ- и ВВГ-распределений соответственно не превышают 1,3 и 1,5 %. Причем у погрешностей характер систематический и у них различные знаки: $\delta_{\text{СВГ}} > 0$; $\delta_{\text{ВВГ}} > 0$; $\delta_{\text{СВП}} < 0$ и $\delta_{\text{ВВП}} < 0$, допускающие использование линейной СВПИ с введением температурных поправок и усреднением результатов сравнительных измерений температуры объектов с более значительной и изменяющейся нелинейностью спектральных распределений излучательной способности. Определены погрешности СВПИ нецветных металлов и их сплавов при максимально допустимых изменениях оптических характеристик систем СВПИ и термометрируемых объектов, то есть ширины рабочего спектрального диапазона, а также коэффициентов нелинейности и крутизны спектральных распределений ε и ее значений.



ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Л. Ф., Корниенко А. Л. Инновационные технологии многоцветовой термометрии / Вимірювальна техніка та метрологія. – Львов. – 2012. – № 73. – С. 45-51.
2. Жуков Л. Ф., Корниенко А. Л. Новые технологии многоцветового бесконтактного и световодного термоконтроля металлических сплавов // Металл и литье Украины. – 2012. – № 9. – С. 29-35.
3. Жуков Л. Ф., Корниенко А. Л. Симметрично-волновая многоцветовая термометрия металлургических объектов с неизвестной и случайно изменяющейся излучательной способностью // Там же. – 2012. – № 11. – С. 36-40.
4. Снопко В. Н. Спектральные методы оптической пирометрии нагретой поверхности. – Минск: Наука и техника, 1988. – С. 152.
5. Thomas L. K. J. Sci. Instr. – 1986. – Ser. 2, V. 1. – P. 311.
6. Латыев Л. Н., Чеховской В. Я., Шестаков Е. Н. Теплофизика высоких температур. – М.: Энергия, 1969. – С. 666.
7. Latyev L. N., Chekhovskoi V. Ya., Shestakov E. N. High Temp. – High Press. – 1970. – V. 2. – P. 175.

Анотація

Жуков Л. Ф., Корнієнко А. Л.

Вплив спектральних характеристик систем пірометрії випромінювання на методичні похибки багатокольорової лінійної симетрично-хвильової термометрії металургійних об'єктів

Досліджено вплив оптичних характеристик пірометрії випромінювання на похибки багатокольорової лінійної симетрично-хвильової термометрії металургійних об'єктів з різними спектральними розподілами випромінювальної здатності. Встановлено, що для найбільш характерних спадаючих випуклих спектральних розподілів випромінювальної здатності чистої поверхні не кольорових металів та їх сплавів похибки не перевищують 0,5 %. На базі отриманих фізичних закономірностей розроблено основи оптимізації оптичних характеристик симетрично-хвильової пірометрії випромінювання, які забезпечують двократне зниження похибок.

Ключові слова

одно-, багатокольорова термометрія, симетрично-хвильова термометрія, температура випромінювання, температура об'єкту, випромінювальна здатність, спектральний розподіл випромінювальної здатності

Summary

Zhukov L. F., Kornienko A. L.

Influence of the spectral characteristics of radiation pyrometry systems on truncation errors of multicolor linear symmetrical wave thermometry of steel objects

The effect of the optical characteristics of radiation pyrometry on errors of multi-color linear symmetrical wave thermometry of metal objects with different spectral distributions of emissivity. It is found that the errors for the most typical decaying convex spectral distributions of emissivity of clean surface of ferrous metals and their alloys do not exceed 0.5 %. On the basis of the received physical relationships there was developed a framework to optimize the optical characteristics of symmetric-wave radiation pyrometry, providing twofold reduction of error.

Keywords

single-color thermometry, multi-color thermometry, symmetrical-wave thermometry, temperature of radiation, temperature of object, emissivity, spectral distribution of emissivity

Поступила 20.12.13

**Предлагаем разместить в нашем журнале
рекламу продукции или рекламного материала
о Вашем предприятии**

РАСЦЕНКИ НА РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ

(цены приведены с учетом налога на рекламу)

2, 3-я страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400 грн.	цветная	1050 грн.
черно-белая	700 грн.	черно-белая	500 грн.
1/2 страницы формата		1/2 страницы формата А4	
цветная	900 грн.	цветная	800 грн.
черно-белая	500 грн.	черно-белая	450 грн.
1/4 страницы формата		1/4 страницы формата А4	
цветная	550 грн.	цветная	300 грн.
черно-белая	300 грн.	черно-белая	200 грн.

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %