



The Analysis of the Effects of Semi-Spherical Background Illumination in the Process of Infra-Red Inspections of Power Facilities

Alexey TADZHIBAEV

Petersburg power engineering institute of professional development, Saint-Petersburg, Russia;
e-mail: iee@peipk.spb.ru

Abstract

An analysis was carried out concerning the density of energy brightness and background illumination during remote infra-red inspections of power facilities. Dependencies were obtained which allow to determine the density of semi-spherical brightness in the spectra of infra-red equipment. Approaches were substantiated in order to determine full spectrum density, while inspecting vertical surfaces.

Keywords: infra-red thermographic inspection, background illumination, energy brightness density.

Анализ влияния полусферической фоновой засветки при дальнем термографическом обследовании объектов энергетики

Алексей И. ТАДЖИБАЕВ

Характерной особенностью мобильного тепловизионного обследования линий электропередачи, съемки объектов энергетики с использованием средств авиации, в том числе бесплатных летательных аппаратов, является наличие на трассе наблюдения источников излучения, существенно влияющих на точность измерения и на достоверность получаемых результатов. Поэтому в настоящей статье приводится анализ плотности энергетической яркости и фоновой засветки.

В зависимости от конкретных условий на трассе наблюдения атмосфера может иметь однородные либо неоднородные свойства. Для энергетической яркости однородного участка атмосферы спектральная плотность равна:

$$B(\lambda, T_a(Z)) = \frac{1}{\pi} R(\lambda, T_a(Z)) \cdot (1 - \tau_a(\lambda, Z)),$$

где $T_a(Z)$ – температура воздуха на высоте Z ;

$\varepsilon(\lambda) = 1 - \tau_a(\lambda, Z)$ – коэффициент излучения столба атмосферы.

Анализ спектральной плотности энергетической яркости на трассе, имеющей слои с различным содержанием влаги на вертикальных и наклонных трассах, проводится в соответствии с выражением:

$$B(\lambda, \Theta) = \frac{1}{\pi} \int_{Z_2}^{Z_1} R(\lambda, T_a(Z)) \cdot \frac{d\tau_a(\lambda, Z, \Theta)}{dZ} dZ,$$

где Z_1 и Z_2 — высота оператора и контролируемого объекта над уровнем моря;
 $d\tau_a(\lambda, Z, \Theta)/dZ$ — производная изменения коэффициента пропускания.

Фоновая освещенность находящегося на земной поверхности объекта формируется излучением верхней полусферы.

В работах [4] приведены результаты моделирования нисходящего излучения на основе данных о погодных показателях Европы. Описание погодных комплексов, принятых для анализа, приведено в табл. 1. В таблице принято обозначение МДВ – метрологическая дальность видимости.

Таблица 1. Погодные комплексы средних широт Европы

Месяц, час	Параметры					
	Облака, баллы	Высота облаков, км	МДВ, км	Температ. воздуха T_a , °К	Относит. влажность h_r , %	Частота повтора, %
Январь, 3часа	0–3	1	15	261,4	73	28
Январь, 3часа	10	1,5	15	261,4	73	69
Январь, 15часов	0–3	1	30	262,7	73	36
Январь, 15часов	10	1,5	30	262,7	73	51
Апрель, 3часа	0–3	1	15	274,5	63	57
Апрель, 3часа	10	1,5	15	274,5	63	39
Апрель, 15часов	0–3	1	30	280,5	46	42
Апрель, 15часов	10	1,5	30	280,5	46	31
Июль, 3часа	0–3	1	30	286,7	64	77
Июль, 3часа	10	1,5	30	286,7	64	11
Июль, 15часов	0–3	1	35	293,1	45	43
Июль, 15часов	10	1,5	35	293,1	45	15
Октябрь, 3часа	0–3	1	15	278,8	67	43
Октябрь, 3часа	10	1,5	15	278,8	67	67
Октябрь, 15часов	0–3	1	30	282,2	55	34
Октябрь, 15часов	10	1,5	30	282,2	55	46

На основе данных исследований были получены вертикальные профили распределения атмосферных параметров, необходимых для анализов прозрачности и излучения атмосферы. Примеры высотных распределений приведены на графиках на рис. 1 и рис. 2. за январь, апрель, июль, октябрь.

Расчет распределения спектральной плотности яркости нисходящего излучения в функции зенитного угла Θ проводился по формуле:

$$B(\lambda, \Theta) = \frac{1}{\pi} \int_{\infty}^0 R(\lambda, T_a(Z)) \cdot \frac{d\tau_a(\lambda, Z, \Theta)}{dZ} \cdot dZ,$$

где $R(\lambda, T_a(Z))$ – функция Планка; $T_a(Z)$ и $d\tau_a(\lambda, Z, \Theta)/dZ$ – температура на высоте Z и производная пропускания атмосферы.

Полусферическая яркость зависит от ориентации освещаемой площадки. Спектральная плотность фоновой засветки для горизонтальной поверхности может быть определена по формуле:

$$B_{hs}^h(\lambda) = \sum_{j=1}^{N-1} B(\lambda, \Theta) \cdot f(\Theta_{j+1} - \Theta_j), \quad (1)$$

где $B(\lambda, \Theta)$ — спектральная плотность яркости нисходящего излучения атмосферы при зенитном угле $\Theta = (\Theta_{j+1} + \Theta_j)/2$; $f(\Theta_{j+1} - \Theta_j) = \sin^2 \Theta_{j+1} - \sin^2 \Theta_j$ — весовая функция.

На основе этих данных спектральная плотность освещенности горизонтальной поверхности на уровне поверхности Земли равна:

$$E_{hs}^h(\lambda) = \pi \cdot B_{hs}^h(\lambda).$$

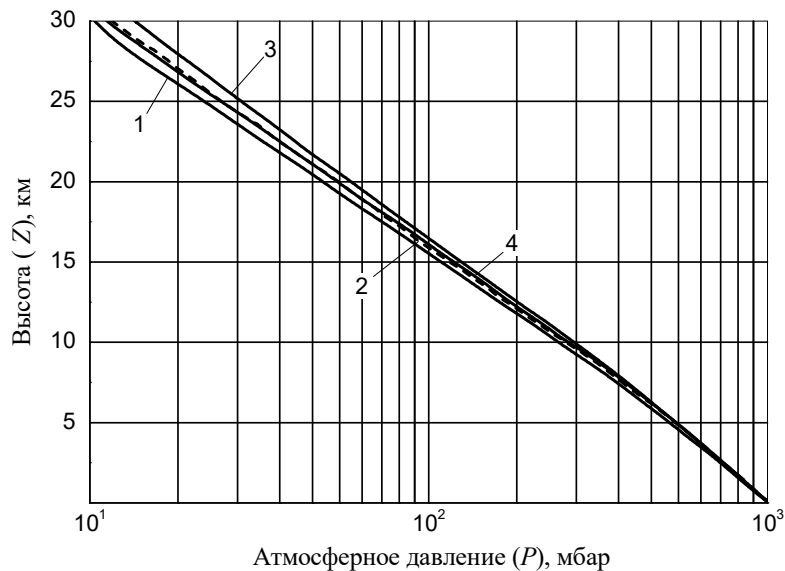


Рис. 1. Профили атмосферного давления в диапазоне высот 0–30 км

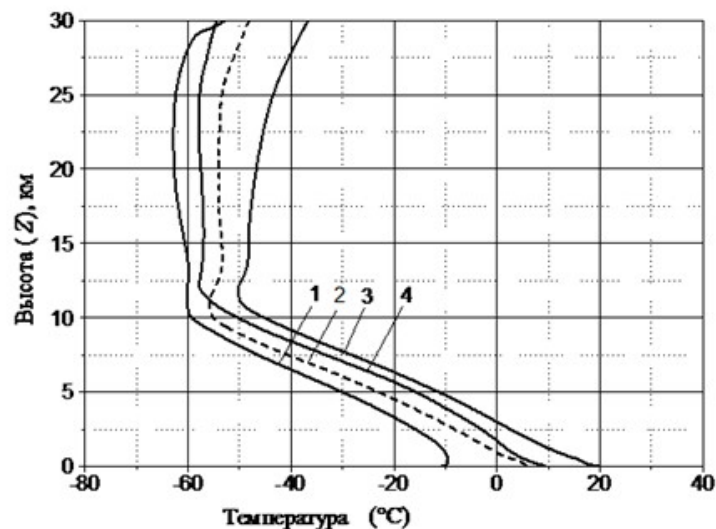


Рис. 2. Профили температуры в диапазоне высот 0–30 км

На рис. 3 приведены данные по спектральной плотности полусферической яркости для зимних и осенних условий (1 — осень, облачно; 2 — осень, ясно; 3 — зима, облачно; 4 — зима, ясно), а на рис. 4 для весны и лета (1 — весна, облачно; 2 — весна, ясно; 3 — лето, облачно; 4 — лето, ясно) в области 7,5–14 мкм.

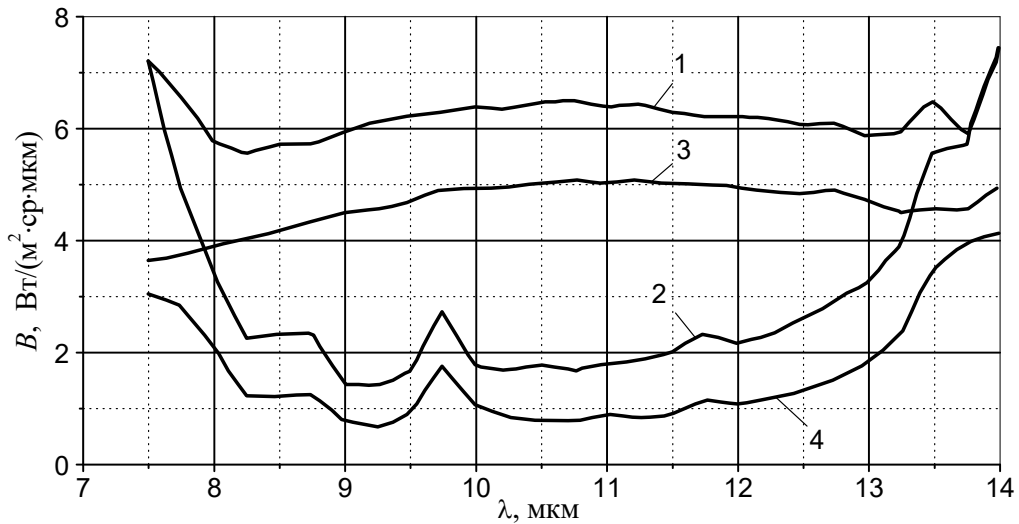


Рис. 3. Спектральная плотность полусферической яркости осенью и зимой

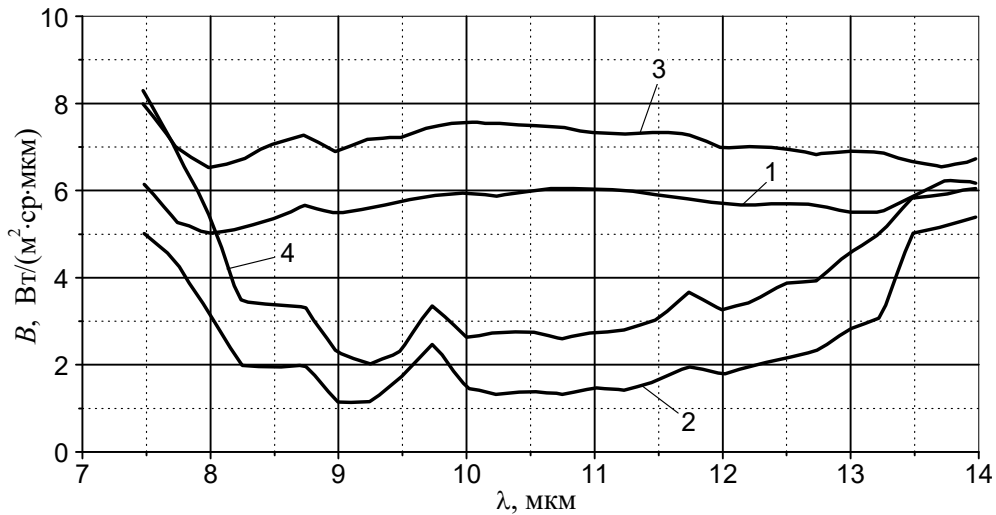


Рис. 4. Спектральная плотность полусферической яркости весной и летом

Для вертикальной поверхности спектральная плотность полусферической яркости $B_{hs}^h(\lambda)$ определяется по формуле (1), но с весовой функцией:

$$f(\Theta_{j+1} - \Theta_j) = (\sin \Theta_{j+1} + \sin \Theta_j) \cdot (\cos \Theta_j - \cos \Theta_{j+1}) / \pi. \quad (2)$$

Освещенность нижней полусферы для объектов над поверхностью земли определяется излучением поверхности земли с температурой T_g и излучением нижнего слоя атмосферы, находящегося ниже обследуемой поверхности. Освещенность горизонтальной поверхности от нижней полусферы можно принять равной:

$$E_{es}^h(\lambda) \cong R(\lambda, T_g),$$

где $T_g = T_a$ – температура воздуха принимается равной температуре поверхности земли.

Вертикальные поверхности освещаются половиной верхней полусферы и половиной нижней полусферы, и поскольку основной вес в освещенности имеют пригоризонтные слои атмосферы и участки земной поверхности, то:

$$E_{es}^V(\lambda) \cong 0,5 \cdot R(\lambda, T_a).$$

Полная спектральная плотность освещенности вертикальной поверхности определяется формулой:

$$E^v(\lambda) = \pi \cdot B_{hs}^v(\lambda) + E_{es}^v(\lambda).$$

Полученные спектральные плотности полусферической яркости для основных областей спектра наблюдения тепловизионной аппаратуры могут использоваться для оценки фоновой засветки от небосвода при работе терморadiометрической аппаратуры в принятых условиях атмосферы.

Литература

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М. ИД Спектр, 2013.
2. Tadjibaev A.I., Gass A.A. Infrared thermography inspection of vacuum circuit breakers // Proceedings of the Infrared Information Exchange. – 1999.
3. Таджибаев А.И. Анализ искажений при термографических обследованиях энергетических установок // Энергонадзоринформ. 2000. № 1(3).
4. Афонин А.В., Казанский В.В., Яцек В.С. Моделирование спектральной освещенности элементов земной поверхности от небосвода в тепловой ИК области спектра // Оптический журнал. 2000. № 2.
5. Афонин А.В., Таджибаев А.И. Инфракрасная термография в энергетике. Излучения в инфракрасном диапазоне: учебное пособие. – СПб.: ПЭИПК, 2000.
6. Таджибаев А.И. Методические основы моделирования и анализа температурных признаков пространств изоляции электроустановок // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 28. – СПб.: ПЭИПК, 2005. – С. 8–35.
7. Афонин А.В., Таджибаев А.И. Инфракрасная термография/ под ред. А.И. Таджибаева – СПб.: ПЭИПК, 2009 – 104 с.