

ВЛИЯНИЕ ПЛАМЕН ПРИ ГОРЕНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ НА РЕГИСТРАЦИЮ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ИК-ДИАПАЗОНЕ

Е.Л. Лобода¹, В.В. Рейно²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет
г. Томск, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук
г. Томск, Россия

В настоящее время одним из перспективных бесконтактных подходов для измерения температурных характеристик объектов является определение температуры объекта по его излучению в ИК-диапазоне с использованием тепловизоров [1]. При использовании этого подхода возникает ряд трудностей связанных с оптикофизическими свойствами исследуемых объектов, например, такими как коэффициент излучения, которые достаточно хорошо изучены для твердых тел, но при этом для пламен мало исследованы и зависят от множества факторов, как, например, влагосодержание природных горючих материалов [2]. При исследовании природных пожаров при помощи ИК-методов возникает задача по определению температуры реперного объекта, излучение которого экранируется пламенем фронта пожара, находящимся между тепловизором и регистрируемым объектом.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования влияния пламени, образующегося при горении степных горючих материалов (СГМ) на энергетическую яркость абсолютно черного тела (АЧТ).

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки, где источники излучения и регистрирующая аппаратура находятся на одной оптической оси.

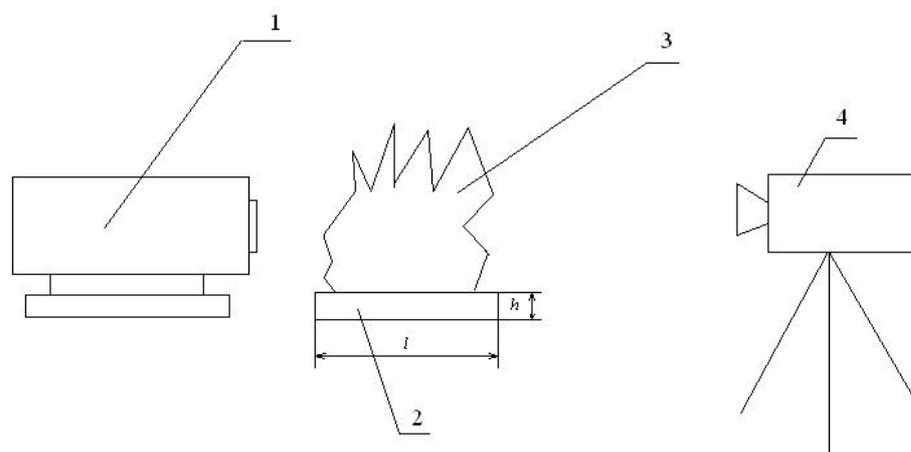


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – модель АЧТ-45/100/1100, 2 – слой СГМ с длиной l и высотой h , 3 – пламя фронта горения СГМ, 4 – тепловизор JADE J530SB.

В качестве модели АЧТ использовался излучатель АЧТ-45/100/1100 Омского завода ОАО НПП «Эталон» с диапазоном изменения температуры от 573 К до 1373 К. Слой СГМ состоял из естественной смеси растений, произрастающих в районе г. Карасук Новосибирской области с ботаническим составом, приведенным в [3]. Длина слоя СГМ l варьировались от 0,2 м до 0,8 м, а высота слоя менялась от 0,05 м до 0,08 м. Влагосодержание СГМ составляло 7,9 %, значение которого определялось при помощи анализатора влажности AND MX-50 с точностью 0,01%. Масса слоя СГМ определялась при

помощи электронных весов AND HL-400 с точностью 0,1 г и варьировалась от 50 г до 210 г. Зажигание слоя СГМ производилось равномерно по всей длине l . Температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление контролировались при помощи метеостанции Meteoscan RST01923. Температура воздуха варьировалась в пределах $T_e=(288-293)$ К. Относительная влажность воздуха изменялась в пределах $\varphi=(20-35)$ %, атмосферное давление $P_e=(9,94 \cdot 10^4 - 1,02 \cdot 10^5)$ Па.

Интенсивность ИК-излучения пламени и модели АЧТ, спектр излучения которого приведен на рис. 2а. Распределение температуры АЧТ и пламени регистрировалось при помощи тепловизора JADE J530SB с узкополосным дисперсионным оптическим фильтром F0616 со спектральным интервалом 2,5-2,7 мкм, позволяющим измерять температуру в диапазоне 583-1773 К с погрешностью измерений не превышающей 1% и частотой регистрации 50 кадров/с. При измерениях использовались калибровки завода-изготовителя для выбранного типа объектива и фильтра. Съемка производилась с объективом имеющим фокусное расстояние $F=50$ мм, а матрица тепловизора имела разрешение 320x240 пикселей. Расстояние от тепловизора до АЧТ составляло 3 м, а расстояние от тепловизора до центра пламени составляло 2 м. Дополнительно температура в пламени на оси АЧТ и вне его видимости тепловизором контролировалось при помощи термопар типа ВР с диаметром спая 50 мкм. Температура пламени дополнительно контролировалась термопарой и по ней корректировалось среднее значение коэффициента излучения $\varepsilon=0,77$ [1] пламени, что для узкой спектральной области регистрации 2,5-2,7 мкм является приемлемым, так как именно в этом диапазоне основные продукты горения водяной пар и углекислый газ имеют сильную линию излучения. Спектр излучения пламени, полученный при помощи спектрографа SOLAR TII MS2001i и спектральная характеристика фильтра приведены на рис. 2б.

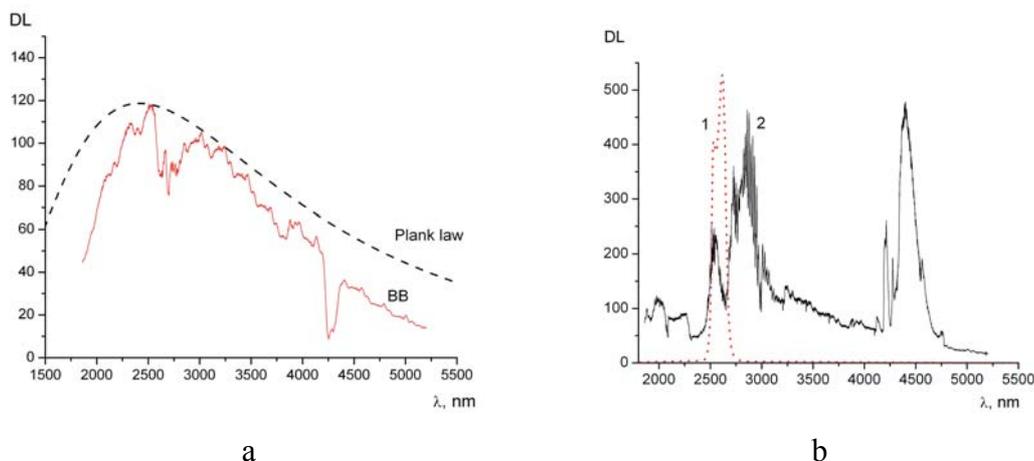


Рис. 2. а - спектр АЧТ-45/100/1100, полученный при помощи спектрографа SOLAR TII MS2001i и кривая Планка. б - спектральная характеристика фильтра F0616 (кривая 1) и спектр пламени при горении исследуемых РГМ (кривая 2), полученный при помощи спектрографа SOLAR TII MS2001i.

В результате проведения эксперимента было обнаружено, что регистрируемая тепловизором температура АЧТ при появлении перед ним пламени возрастает не более, чем на 10% от истинной температуры АЧТ T_{BB} (рис. 3). При этом регистрируемая температура АЧТ имеет многократные изменения как и изменения температуры в пламени, измеренные вне оси видимости АЧТ (рис. 3).

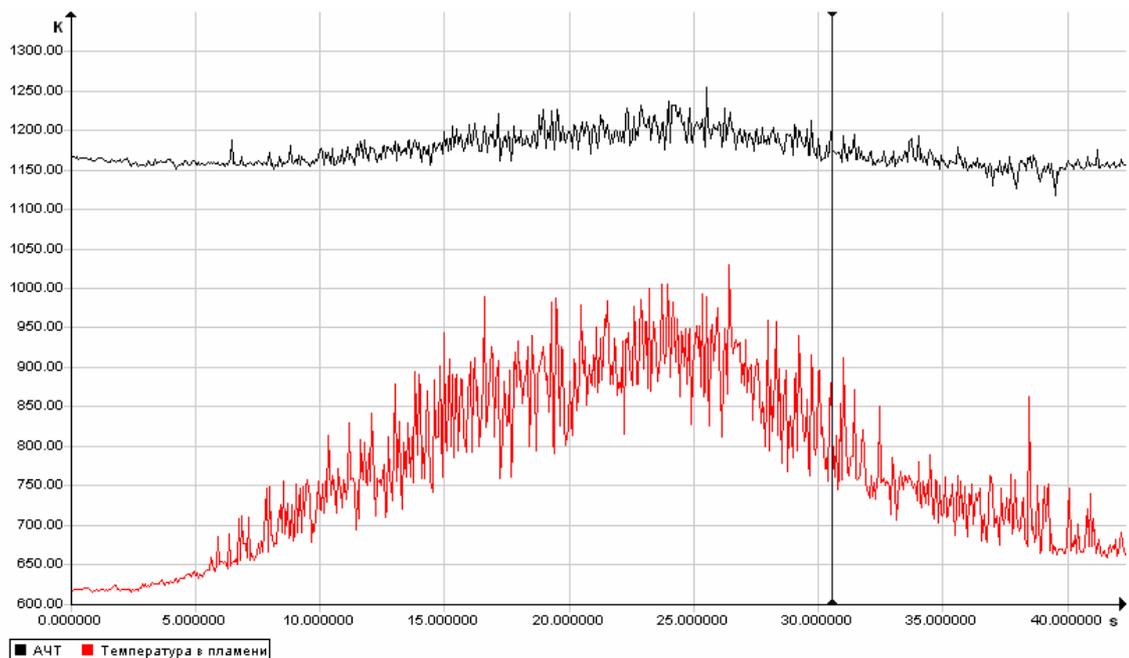


Рис. 3. Изменение регистрируемой тепловизором температуры АЧТ и температуры пламени с коэффициентом излучения $\varepsilon=0,77$ [1].

При этом термопары, размещенные в пламени на оси излучения АЧТ не регистрировали каких-либо отличий как средних, так и максимальных температур от показаний термопар, расположенных вне оси «видимости» АЧТ. На рис. 4 приведены графики температуры в пламени, измеренной термопарой (кривая 1) и температуры, зарегистрированной тепловизором (кривая 2) в момент когда АЧТ было открыто и в момент его закрытия экраном. Видно, что в момент закрытия АЧТ экраном температуры, зарегистрированные тепловизором и термопарой практически совпадают. Это дает возможность сделать вывод о том, что излучение АЧТ не оказывает сколько-нибудь существенного влияния на температуру в пламени.

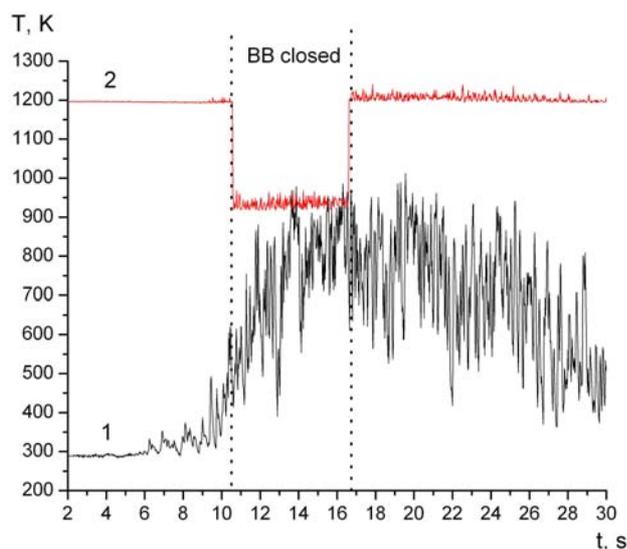


Рис. 4. Изменение регистрируемой термопарой температуры пламени (кривая 1) и регистрируемой тепловизором температуры АЧТ и пламени (кривая 2).

Для анализа результатов тепловизионных измерений на тепловизионном изображении распределения энергетической яркости выбирались две области с одинаковой площадью (рис. 5)

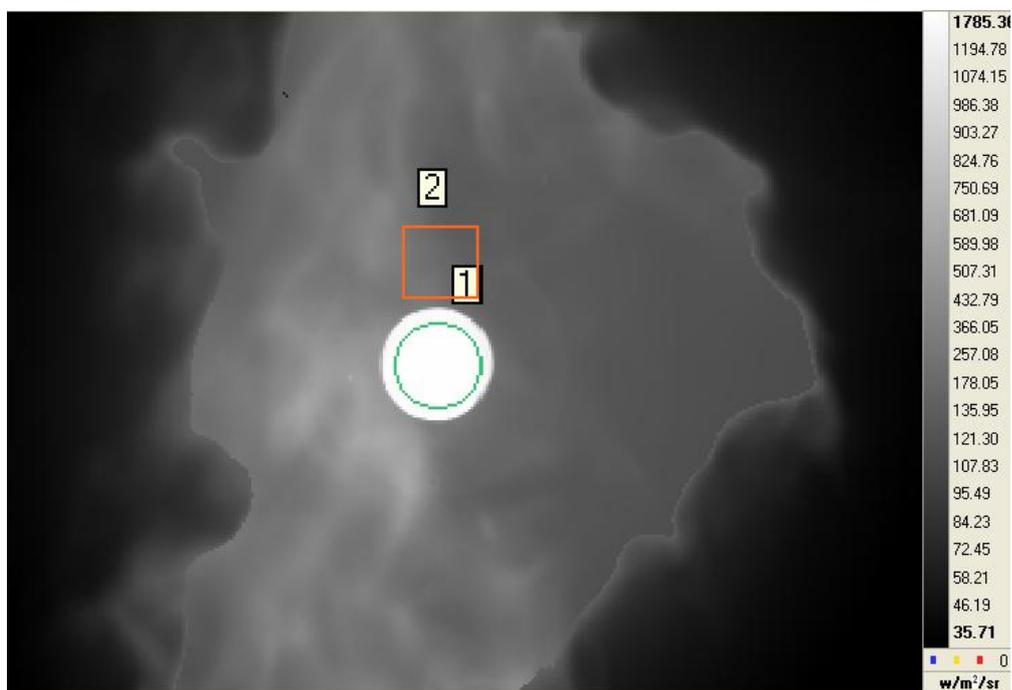


Рис. 5. Тепловизионное изображение распределения энергетической яркости фронта горения СГМ и АЧТ.

В качестве значений энергетической яркости L использовались средние значения L для областей 1 и 2, что позволяло избежать влияния неоднородностей внутри пламени. При отсутствии пламени среднее значение L в области 1 (рис. 5) соответствовало значению энергетической яркости АЧТ (L_{BB}).

В результате экспериментов было обнаружено, что при температуре АЧТ меньше 1100 К зарегистрировать излучение АЧТ не удаётся, т.к. в этом случае максимальные температуры в пламени превышают температуру АЧТ и соответственно максимумы интенсивности излучения тоже, что приводит к экранированию излучения АЧТ слоем пламени. А при температурах АЧТ от 1100 К и выше, что превышает максимальные значения температуры в пламени с учётом его коэффициента излучения, обнаружена следующая зависимость:

$$L_{\Sigma} = k_{dec} L_{BB} + L_{flame}, \quad (1)$$

где L_{Σ} - суммарная энергетическая яркость АЧТ и пламени, L_{BB} - энергетическая яркость АЧТ, L_{flame} - энергетическая яркость пламени, k_{dec} - коэффициент ослабления излучения АЧТ слоем пламени.

В таблице приведены средние значения \bar{k}_{dec} , доверительные интервалы $\bar{k}_{dec} \pm \Delta k_{dec}$ и среднеквадратическое отклонение σ при разных значениях температуры АЧТ и массы СГМ.

Таблица

T_{BB}, K	Значения \bar{k}_{dec} при различных значениях T_{BB} , w и массе СГМ				
	$m, г$	$l, м$	\bar{k}_{dec}	$\bar{k}_{dec} \pm \Delta k_{dec}$	σ
1100	50	0,2	0.619	0.58-0.658	0.0527
1200	50	0,25	0.687	0.665-0.709	0.0383
1200	100	0,35	0.638	0.619-0.656	0.0316
1200	150	0,35	0.605	0.585-0.625	0.0305
1200	200	0,48	0.615	0.593-0.637	0.0322

В результате проведенных экспериментов можно сделать вывод, что для регистрации высокотемпературных реперных объектов с коэффициентом излучения $\epsilon \approx 1$ в ИК диапазоне 2.5-2.7 мкм через слой пламени и расположенные позади пламени от природного пожара их температура должна быть выше максимальных температур в пламени, а их энергетическая яркость определяется по формуле (1). А также становится возможным получить значения k_{dec} - коэффициента ослабления инфракрасного излучения слоем пламени, что весьма важно при изучении механизмов пиролиза внутри самого очага горения и определении оптических характеристик высокотемпературной среды. В случае, если температура регистрируемого объекта ниже температуры пламени, то пламя экранирует объект и достоверные данные о нем получить не представляется возможным.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-4331.2011.1, НОЦ- г/к № 02.740.11.0674, грантов РФФИ № 11-01-673-а, № 11-01-228-а, № 10-01-91054-НЦНИ-а.

Обозначения

m – масса СГМ, T_{BB} – температура АЧТ, w – влагосодержание СГМ, k_{dec} - коэффициент ослабления слоя пламени в диапазоне 2.5-2.7 мкм, σ - среднеквадратическое отклонение, L_{Σ} - суммарная энергетическая яркость АЧТ и пламени, L_{BB} – энергетическая яркость АЧТ, L_{flame} – энергетическая яркость пламени, l – длина слоя СГМ, h – высота слоя СЛГ.

Литература

1. В.П. Вавилов Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.
2. Лобода Е.Л., Рейно В.В. Влияние коэффициента излучения пламени на измерение температур ИК - методами при горении лесных и степных горючих материалов при различном влагосодержании. Частотный анализ изменения температуры // Оптика атмосферы и океана, 2011, № 11. С. 1002-1006.
3. Гришин А.М., Фильков А.И., Лобода Е.Л., Рейно В.В., Руди Ю.А., Кузнецов В.Т., Караваев В.В. Экспериментальные исследования возникновения и распространения степного пожара в натуральных условиях // Вестник Томского государственного университета "Математика и механика", 2011, №2. С. 91 - 102