

УДК 621.397.6

Анипко О.Б., Приймак А.Н., Сиренко С.Н., Илларионов А.Н., Гутниченко Е.А.

ЭКРАНИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРГИРОВАННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Способность тел в различной степени поглощать падающее излучение делает их контрастными, что положено в основу инфракрасных приборов наблюдения. Эта контрастность становится еще большей, если имеются источники теплоты. Применительно к объектам военной техники такие эффекты снижают их скрытность в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн, а, следовательно, позволяют обнаруживать их.

Защищенность является комплексным свойством объектов бронетанковой техники (БТТ), которое в первую очередь предполагает обеспечение скрытности от обнаружения [1]. В этой связи практический интерес представляет поиск повышения скрытности от обнаружения в ИК диапазоне. В качестве одного из способов обеспечения скрытности в ИК диапазоне является экранирование волн этого спектра, которое может быть осуществлено в том числе созданием на пути этих волн мелкодисперсной среды, которую создают распыливанием этой жидкости.

Физический эффект такого рода экранирования заключается в том, что тепловой поток излучения встречаясь с каплями многократно переотражается, при этом капли поглощают часть энергии потока и, таким образом, пройдя дисперсный слой, поток излучения обладает уже меньшей энергией. Это, в свою очередь, приводит к меньшей возможности обнаружить источник и идентифицировать его.

С целью получения количественных характеристик описанного эффекта было проведено экспериментальное исследование по экранированию теплового источника диспергированной жидкостью.

Программа эксперимента по экранированию теплового источника диспергированной жидкостью

Материалы

В качестве источника теплового излучения использовался горящий сухой спирт.

Экранирование осуществлялось диспергированным потоком воды, расход которой определялся объемно-весовым методом.

Измерительные приборы и измеряемые величины

Измеряемыми величинами в процессе проведения эксперимента являются температура над пламенем (пластина) горящего сухого спирта с экранированием и без и расход диспергируемой воды для создания экрана.

Измерение температуры осуществлялось пирометром ОНИМБУС 760 с точностью измерения температуры 0,5 °С.

Расход жидкости определяли объемно-весовым методом.

Порядок проведения эксперимента

1. Установить:

- сухой спирт на подставку;
- закрепить пирометр и лазерной меткой выверить точку измерения температуры над пламенем;
- установить форсунку между пирометром и источником теплового излучения (рисунок 1);

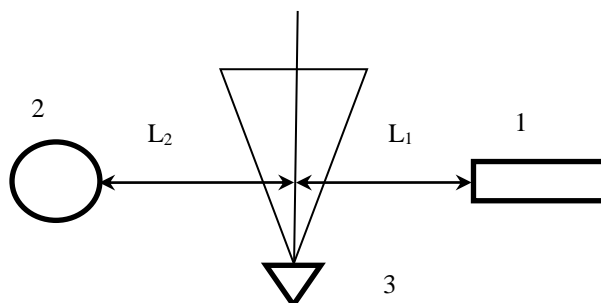


Рисунок 1

1. Пирометр; 2. Источник теплового излучения; 3. Форсунка

L_1 и L_2 – расстояния между пирометром и форсункой и форсункой и источником теплового излучения; расстояние от пирометра до источника теплового излучения

$$L = L_1 + L_2 ;$$

2. Инициировать горение топлива источника теплового излучения.
3. Убедиться, что пламя не достигает контрольной точки измеряемой температуры.
4. Измерить температуры до достижения стационарности процесса (температура в контрольной точке не меняется) и занести результат измерения в протокол.
5. Отметить уровень жидкости в емкости и её массу; занести данные в протокол.
6. Одновременно включить секундомер и форсунку.
7. Через 3–5 секунд после включения измерить температуру пирометром и занести в протокол.
8. По истечении жидкости определить время, затраченное на распыление.

Обработка результатов

По пунктам 4 и 7 определить эффективность экранирования или разность температур.

По данным п.п. 5, 6 и 8 определить массовый и объемный расходы жидкости при экранировании.

Повторить эксперимент 2, 3 раза. Определить среднее значение эффективности экранирования для фиксированного расхода жидкости.

Провести эксперименты для большего и меньшего расходов жидкости и различной степени диспергирования (Оср капель) воды.

В результате проведенных измерений для 4-х значений $T_{и}$ в диапазоне температур 210–290 °С были получены значения температуры с экранированием источника. Эти данные в виде графика $T_{из} = f(T_{и})$ представлены на рис. 2.

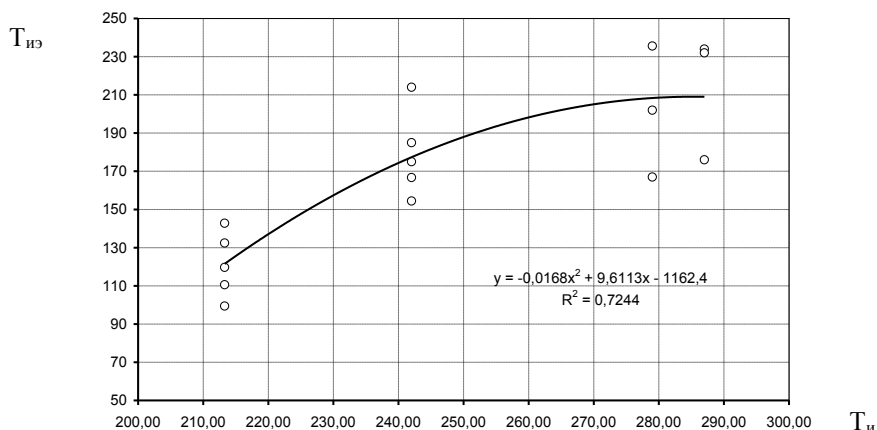


Рисунок 2 – Функция $T_{из} = f(T_{и})$ при экранировании источника ИК излучения диспергированной жидкостью

Как видно с повышением температуры источника эффект снижения температуры за счет экранирования диспергированной жидкостью практически остается неизменным и лежит в диапазоне от 94 К для $T_{и} = 212$ °С до 69...77 К для $T_{и} = 278$ °С и $T_{и} = 298$ °С соответственно.

Функция $T_{из} = f(T_{и})$ с использованием метода наименьших квадратов стандартной процедуры среды электронных таблиц EXCEL была получена в виде

$$T_{из} = 9,611T_{и} - 0,0168T_{и}^2 - 1162,4, \quad (1)$$

где $T_{и}$ и $T_{из}$ – измерение температуры источника без экранирования и с экранированием соответственно, °С.

Если температурный эффект от экранирования диспергированной жидкостью обозначить через ΔT

$$\Delta T = T_{и} - T_{из}, \quad (2)$$

то с учетом (1) выражение (2) можно переписать в виде:

$$\Delta T = T_{и} - (9,611T_{и} - 0,0168T_{и}^2 - 1162,4) = T_{и} - 9,611T_{и} + 0,0168T_{и}^2 + 1162,4. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет оценить температурный эффект от диспергирования жидкостью в указанном диапазоне температур при фиксированном расходе диспергированной жидкости $G_b = 310^3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$. Следует подчеркнуть, что эта оценка будет соответствовать некоторому среднему значению (функция рис. 2).

С учетом методической ошибки и погрешности интерполяции точность оценки ΔT составит $\pm 16\%$.

При диспергировании T_n не меняется, прибор фиксирует некоторую температуру, которая искажается из-за изменения пропускной способности атмосферы и поглощения части теплового потока излучением от источника с температурой T_n . Для условий эксперимента при $T_n \sim 200^\circ\text{C}$, как видно эффективная температура составила $\sim 90 \dots 118^\circ\text{C}$. С использованием соотношений для максимальной дальности обнаружения:

$$D_{\max}^2 = \frac{\tau_{\text{об}} S_{\text{об}} \varepsilon_{\text{ц}} T_{\text{ц}}^4 \cos \alpha \sigma S_{\text{ц}} K}{\pi m \sqrt{q_{\text{пдф}} \Phi_{\text{пор}}^* \chi}} \left[z \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_{\text{М}}} \right) - z \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_{\text{М}}} \right) \right], \quad (4)$$

где $K = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{\lambda} \tau_a d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{M_{e\lambda}}{(M_{e\lambda})_{\max}} d\lambda}$ – коэффициент использования потока излучения; $\tau_{\text{об}}$, $S_{\text{об}}$ – коэффициент

пропускания и площадь, м^2 , объектива передающей камеры; $S_{\text{ц}}$, $\varepsilon_{\text{ц}}$, $T_{\text{ц}}$ – площадь соответственно; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянный коэффициент; m – допустимое значение отношения сигнал/шум; $q_{\text{п}}$ – площадь чувствительной площадки ПИ, см^2 ; Δf – полоса пропускания частот усилителя фототока, Гц; $\Phi_{\text{пор}}^*$ – удельный порог чувствительности приемника, $\text{Вт}/(\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2})$, приводимый в каталогах и измеренный по черному телу с заданной температурой T^* , χ – коэффициент использования ПИ; $M_{e\lambda}^*$ – спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела с температурой T^* , $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{мкм})$; S_{λ} , λ_1 , λ_2 – спектральная чувствительность, коротковолновая и длинноволновая границы чувствительности ПИ соответственно; $\frac{M_{e\lambda}}{(M_{e\lambda})_{\max}}$ – относительное значение спектральной плотности энергетической светимости объекта с температурой $T_{\text{ц}}$; τ_a – спектральной коэффициент пропускания атмосферы на горизонтальной трассе длиной D_{\max} ; $\lambda_{\text{М}}$ – длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости объекта наблюдения, мкм ; z – функции, определяемые по табл.

Можно заключить, что при фиксированном расходе жидкости и дисперсности струи изменение измеряемой температуры на 41 % приводит к уменьшению максимальной дальности на $\sim 22\%$.

Обзор и анализ доступных данных о влиянии погодных условий (табл. 1) и параметрический анализ (4) позволяют выявить обобщенную зависимость максимальной дальности обнаружения от параметров атмосферы. При этом выделены три основных состояния атмосферы: влажный воздух, осадки, туман. Каждое из этих состояний количественно характеризуется соответствующими параметрами – влажность воздуха, интенсивность осадков и водность. Эта зависимость в виде графика представлена на рис. 3.

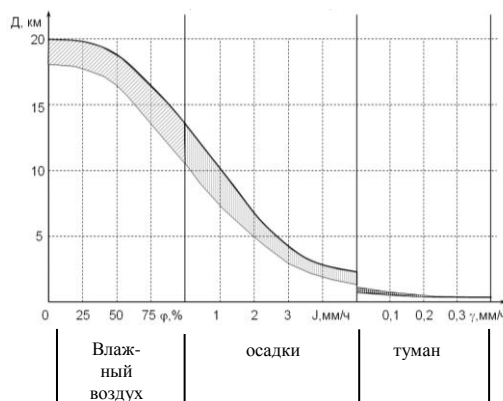


Рисунок 3 – Изменение дальности видения тепловизором в зависимости от прозрачности атмосферы при естественном освещении (где ϕ – относительная влажность, j – интенсивность осадков, γ – водность тумана)

Как видно из графика состояние атмосферы существенно влияет на дальность обнаружения. Из приведенных данных наименьшая пропускная способность атмосферы наблюдается при тумане. Еще раз подчеркнем, что в рассматриваемом диапазоне температур коэффициент поглощения воды $\epsilon_t \sim 0,5-0,65$. Поэтому туман, как гетерогенная система состоящая из газа и капель воды представляет собой наименее проницаемую для ИК излучения среду. Такое свойство тумана может быть использовано для экранирования источников ИК излучения.

Таблица 1 – Неблагоприятные погодные условия

Условия	Осадки, интенсивность	Температура воздуха, °С	Влажность, %	МДВ, км	Ест. осв., лм	Почв.-раст. покров.
1. Лето день, ночь, сумерки	Дождь $J_y = 0,5 - 5 \frac{мм}{ч}$	$+10 \pm 9$	90 ± 10	3 ... 12	$10^{-4} \dots 10^4$	
2. Перех. день, ночь, сумерки						Мокрая трава
3. Туман, день, ночь	Водность тумана $Y_{\psi} = 0,05 \dots 0,25$ $0,1 \dots 0,35 \frac{г}{м^3}$	$+0 \pm 10$ 0 ± 10	100 100	0,1 ... 1 0,3 ... 1	$5 \cdot 10^{-2} \dots 10^4$ $10^{-4} \dots 5 \cdot 10^2$	
4. Мокрый снег	С дождем $J_y = 0,2 \dots 5 \frac{мм}{ч}$	$+3 \pm 5$	90 ± 10	1,6 ... 8	$10^{-4} \dots 10^4$	
5. Снегопад	$0,2 \dots 5 \frac{мм}{ч}$	-10 ± 5	80 ± 10	2.5 ... 10	$10^{-4} \dots 10^4$	

Литература

1. Госсорг Инфракрасная термография. Москва. Мир. 1988 г.
2. Gerald C. Holst. Elektro – optical imaging system performance.
3. STANAG No4347
4. Криксунов Л.З., Падалко Г.А. Тепловизоры. Справочник. Москва, 1986 г.

Bibliography (transliterated)

1. Gossorg Infrakrasnaya termografiya. Moskva. Mir. 1988 g.
2. Gerald C. Holst. Elektro-optical imaging system performance.
3. STANAG No4347
4. Kriksusunov L.Z., Padalko G.A. Teplovizoryi. Spravochnik. Moskva, 1986 g.

УДК 621.397.6

Аніпко О.Б., Приймак А.М., Сіренко С.М., Ілларіонов О.М., Гутніченко Є.О.

ЕКРАНУВАННЯ ДЖЕРЕЛ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДИСПЕРГІРОВАНОЮ РІДИНОЮ

Наведено залежність дальності бачення тепловізорів від вологості повітря.

Anipko O.B., Priimak A.N., Sirenko S. N., Illarionov A.N., Gutnichenko E.A.

SHIELDING SOURCE OF INFRARED RADIATION SHIELDING DISPERSED LIQUID

Shows the dependence range of vision of thermal imagers on moisture of air.