

УДК 614.841

Контраст изображения объекта, наблюдаемого в условиях задымления, при поляризационной фильтрации излучения, рассеянного частицами дыма

А.И. Кицак

*НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь,
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь*

Поступила 20.03.2020

Принята к печати 18.08.2020

Целью работы являлось исследование контраста изображения объекта, наблюдаемого в задымленной среде, с применением поляризационной фильтрации излучения, рассеянного частицами дыма в сторону наблюдателя, и сопоставление данного контраста с контрастом изображения, формируемого без фильтрации, для оценки возможности разработки комплекта оптических принадлежностей пожарного-спасателя, улучшающего видение объектов в условиях дымообразования при пожаре.

Достижение поставленной цели осуществлялось методом экспериментального моделирования процесса передачи изображений чёрно-белого объекта с резкой границей перехода чёрное/белое через различные типы аэрозолей дыма с применением поляризационной фильтрации излучения, рассеянного частицами дыма, и без фильтрации и оценке контрастов изображений.

Проведены исследования контрастов изображений для различных оптических плотностей дымов в двух схемах регистрации, когда приёмная оптическая система расположена вблизи источника подсветки объекта на расстоянии ≈ 150 мм от него, и когда она расположена на удалении от источника подсветки объекта на расстоянии ≈ 800 мм.

Установлено, что способ формирования изображения объекта с применением поляризационной фильтрации излучения помехи обратного рассеяния (ПОР) позволяет снизить скорость уменьшения контраста изображения с увеличением оптической плотности дыма в сравнении с регистрацией изображения без фильтрации ПОР. Существенная разница в контрастах изображений, регистрируемых с поляризационной отсечкой ПОР и в отсутствие фильтрации, наблюдается для «светлых» дымов (пиролиз древесины, тление хлопка) на средних удельных оптических плотностях дыма.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке оптических принадлежностей пожарного-спасателя для улучшения условий наблюдения объектов в неблагоприятных условиях видения: задымлении, парообразовании, тумане.

Ключевые слова: дым, дальность наблюдения, помеха обратного рассеяния излучения, контраст изображения, поляризационная фильтрация.

DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

Адрес для переписки:

А.И. Кицак
НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь,
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь
e-mail: kitsak48@yandex.ru

Address for correspondence:

A.I. Kitsak
Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Soltys str., 183a, Minsk 220046, Belarus
e-mail: kitsak48@yandex.ru

Для цитирования:

А.И. Кицак.
Контраст изображения объекта, наблюдаемого в условиях задымления, при поляризационной фильтрации излучения, рассеянного частицами дыма.
Приборы и методы измерений.
2020. – Т. 11, № 3. – С. 245–254.
DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

For citation:

A.I. Kitsak.
[Contrast of Image of an Object Observed in Smoke Conditions using Polarizing Filtering of Radiation Scattered by Smoke Particles].
Devices and Methods of Measurements.
2020, vol. 11, no. 3, pp. 245–254 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

Contrast of Image of an Object Observed in Smoke Conditions using Polarizing Filtering of Radiation Scattered by Smoke Particles

A.I. Kitsak

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Soltys str., 183a, Minsk 220046, Belarus

Received 20.03.2020

Accepted for publication 18.08.2020

Abstract

The aim of the work was to study the contrasts of the images of an object observed in a smoky environment, using polarizing filtering of radiation scattered by smoke particles towards the observer, and without filtering. Prospects for developing optical accessories for firefighters to improve the observation of objects in smoke were evaluated by comparing image contrasts.

The goal was achieved by experimentally simulating the process of transmitting images of a black- and-white object with a sharp black/white transition boundary through various types of smoke aerosols using polarizing filtering of radiation scattered by smoke particles, and without filtering and evaluating image contrasts.

Studies of image contrasts for different optical densities of smoke in two registration schemes were performed, when the receiving optical system is located near the illumination source of the object at a distance of ≈ 150 mm from it, and when it is located at a distance from the illumination source of the object at a distance of ≈ 800 mm.

It is established that the method of forming the image of the object using polarization filtering of radiation backscattering (RBS) reduces the rate of image contrast reduction with an increase in optical smoke density compared to image registration without filtering (RBS).

A significant difference in the contrasts of images recorded with filtration (RBS) and in the absence of it is observed for "light" fumes (smoldering of wood, cotton) at average optical densities of smoke.

The results obtained can be used in the development of optical accessories for firefighter-rescuer to improve the conditions of observation of objects in adverse conditions of vision: smoke, vaporization, fog.

Keywords: smoke, range of observations, the backscattering of laser light, the image contrast, polarization filtering.

DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

Адрес для переписки:

А.И. Кицак
НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций
МЧС Республики Беларусь,
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь
e-mail: kitsak48@yandex.ru

Address for correspondence:

A.I. Kitsak
Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Soltys str., 183a, Minsk 220046, Belarus
e-mail: kitsak48@yandex.ru

Для цитирования:

А.И. Кицак.
Контраст изображения объекта, наблюдаемого в условиях задымления, при поляризационной фильтрации излучения, рассеянного частицами дыма.
Приборы и методы измерений.
2020. – Т. 11, № 3. – С. 245–254.
DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

For citation:

A.I. Kitsak.
[Contrast of Image of an Object Observed in Smoke Conditions using Polarizing Filtering of Radiation Scattered by Smoke Particles].
Devices and Methods of Measurements.
2020, vol. 11, no. 3, pp. 245–254 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2020-11-3-245-254

Введение

В настоящее время на рынке снаряжений пожарного-спасателя предлагается широкий выбор различных типов и конструкций фонарей. Использование в современных фонарях мощных светодиодных источников излучения позволяет добиться высоких значений светового потока и обеспечить приемлемую освещённость в отсутствие рассеивающей среды на расстояниях ≈ 170 – 300 метров. Особенностью применения таких мощных фонарей для наблюдения объектов в аэрозольных средах является появление интенсивного излучения, рассеянного частицами дыма в сторону наблюдателя, приводящего к его частичному ослеплению и фактически к уменьшению дальности видения.

Известно [1], что в разрабатываемых в настоящее время системах наблюдения в случайно неоднородных средах (вода, атмосферный аэрозоль) для подавления помехи обратного рассеяния излучения используется поляризационная фильтрация. Она заключается в расположении на входе приёмной оптической системы поляризатора, ось поляризации которого ориентируется под определённым углом для устранения фона рассеянного излучения. Эффективность отсеки излучения обратного рассеяния определяется степенью поляризации излучения подсветки объекта и оптическими свойствами неоднородной среды (размерами и формой рассеивающих частиц, а также оптической плотностью среды).

Применение поляризационного способа фильтрации рассеянного излучения для улучшения видения в аэрозолях дыма до настоящего времени на практике не рассматривалось.

Целью данной работы является исследование характеристик качества изображений (контраста изображения), формируемых в задымленных средах с применением поляризационной фильтрации рассеянного излучения, и сопоставление данных характеристик с характеристиками изображений, получаемых традиционным способом, для оценки возможности разработки комплекта оптических принадлежностей пожарного-спасателя, улучшающих видение объектов в условиях дымообразования при пожаре.

Основные характеристики качества изображения объекта, формируемого оптической системой через случайно-неоднородную среду, и способы их оценки

Основными характеристиками качества изображения объекта, наблюдаемого глазами или

формируемого оптической системой (объективом фотокамеры), являются пространственное разрешение (угловое либо линейное) по объекту, контрастность и отношение сигнал/шум.

Под пространственным разрешением понимают минимальное угловое либо линейное расстояние между двумя деталями изображения объекта, наблюдаемыми отдельно при идеальном зрении. Величина разрешения, например углового γ , определяется средней длиной волны излучения λ , в котором формируется изображение объекта, и размером приёмной апертуры оптической системы d , регистрирующей изображение (диаметром объектива фотокамеры). Математически связь γ с параметрами λ и d выражается соотношением вида:

$$\gamma = \frac{1,21\lambda}{d}. \quad (1)$$

Контраст изображения характеризует степень различимости светлых и тёмных участков изображения. Величина контраста K определяется выражением:

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

где I_{\max} – максимальная яркость светлого участка изображения; I_{\min} – минимальная яркость тёмного участка изображения. Значение контраста зависит от условий наблюдения (регистрации изображения) объекта. Например, величины освещённости объекта, мощности собственных шумов регистрирующего приёмника, наличия фоновой засветки.

Параметр отношение сигнал/шум η учитывает влияние на качество изображения объекта собственных шумов регистрирующего материала приёмника излучения, фона посторонней засветки приёмника, флуктуаций мощности полезного сигнала и определяется соотношением:

$$\eta = \frac{I_{\text{пс}}}{I_{\text{пм}}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{пс}}$ – интенсивность полезного сигнала; $I_{\text{пм}}$ – интенсивность помехи.

Учёт параметра η важен, когда интенсивность полезного сигнала сравнивается с интенсивностью помехи.

При наблюдении (регистрации изображений) объектов в случайно-неоднородных средах типа толщи воды, различного рода аэрозолей (тумана,

дыма) часть излучения, исходящего от объекта, рассеивается на оптических неоднородностях этих сред, теряет фазовую и амплитудную информацию об объекте, что приводит в итоге к размытию деталей изображения объекта, ухудшению его контрастности и уменьшению дальности наблюдения.

Величина разрешаемого элемента изображения в данном случае определяется угловым или линейным размером изображения пятна размытия точечного диффузного источника, расположенного в плоскости объекта и сформированного используемой оптической системой через толщину аэрозольной среды, расположенной между объектом и оптической системой.

Существенное ухудшение условий наблюдения объектов в аэрозольных средах происходит в активном режиме наблюдения, т. е. когда осуществляется направленная подсветка объектов с помощью специальных фонарей, прожекторов. Основной причиной снижения видимости объектов (уменьшения контрастности) является излучение, рассеянное частицами аэрозоли в направлении «назад», которое попадает в глаза наблюдателя либо накладывается на изображение, регистрируемое оптической системой.

В случае наблюдения крупных объектов в условиях пожара, когда разрешением мелких деталей можно пренебречь, основной характеристикой качества изображения может являться степень его контрастности, т. е. отличимость объекта наблюдения от окружающего фона. Данный фон может создаваться, например, освещением от источника пожара, а также излучением, рассеянным на частицах аэрозоли дыма, пара и других неоднородностях воздушной среды в зоне пожара. Предельное значение контраста K изображения объекта, при котором объект может быть отличим человеком от фона, удовлетворяет условию $K \geq 0,02$.

Для улучшения качества изображения объектов, наблюдаемых в аэрозольных средах, применяются различные способы и устройства обработки и формирования изображений, позволяющие снизить или исключить влияние рассеянного на частицах аэрозоля излучения на качество изображения [1, 2–6].

В настоящее время для наблюдения объектов в задымленной среде при пожаре применяются тепловизионные камеры. Несмотря на высокое качество формируемых ими изображений объек-

тов, излучающих тепло, широкое применение их ограничено высокой стоимостью, сравнительно большим весом и ухудшением работы при длительном нахождении в зоне теплового излучения пожара [4].

Наиболее простейшим способом повышения качества изображения объектов является поляризационная фильтрация фона рассеянного излучения (излучения, рассеянного, например, подстилающей поверхностью Земли, атмосферным аэрозолем, аэрозолем дыма), различного рода бликов. Этот способ часто используется в обычной фотографии в пассивном режиме получения изображений, т. е. когда регистрируется излучение самого объекта (тепловое) либо отражённое им излучение естественных источников.

Фотографирование объектов в данном случае осуществляется через поляризационный фильтр, установленный с определённой ориентацией плоскости поляризации перед объективом фотокамеры. При больших плотностях аэрозольных сред существенного улучшения качества изображения в пассивном режиме формирования изображений достичь невозможно вследствие малых различий степеней поляризации полезного сигнала, отражённого от объекта, и рассеянного аэрозолем излучения.

Большой интерес вызывает применение поляризационной фильтрации рассеянного излучения в активных схемах наблюдения с применением подсветки объекта непрерывным либо импульсным полностью поляризованным излучением. Примером источников такого излучения могут являться лазерные излучатели.

Как показал проведённый анализ литературных данных [7] по исследованию поляризационных характеристик излучения, распространяющегося в различных типах аэрозольных сред, таких, например, как атмосферная аэрозоль, аэрозоль дыма, наблюдается высокая степень поляризации излучения, рассеянного частицами аэрозолей в направлении «назад». Выявленный факт высокой поляризации излучения, рассеянного «назад», и то, что плоскость поляризации этого излучения ортогональна плоскости поляризации исходного излучения, позволяет надеяться на эффективную его блокировку на этапе формирования изображения объекта поляризационным фильтром, установленным перед приёмной оптической системой.

Схема экспериментальной установки для регистрации изображения объекта через различные типы аэрозолей дыма методом поляризационной фильтрации рассеянного излучения и обычным фотографированием

Для оценки эффективности поляризационного способа повышения качества изображения объектов, наблюдаемых в аэрозолях дымов, была собрана экспериментальная установка для регистрации изображений объекта через задымленную среду. Оптическая схема установки представлена на рисунке 1.

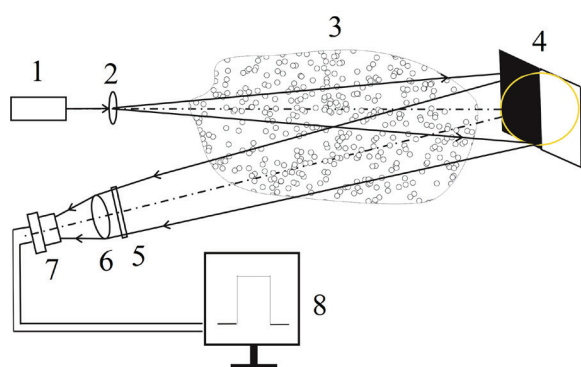


Рисунок 1 – Оптическая схема регистрации изображения объекта через аэрозоль дыма: 1 – лазер; 2 – микролинза; 3 – оптически неоднородная среда (дым); 4 – бинарный объект; 5 – поляризационный фильтр; 6 – приёмная оптическая система; 7 – ПЗС- датчик; 8 – компьютер

Figure 1 – Optical scheme of object image registration through a smoke aerosol: 1 – laser; 2 – microlens; 3 – optically inhomogeneous medium (smoke); 4 – binary object; 5 – polarizing filter; 6 – receiving optical system; 7 – CCD sensor; 8 – computer

Схема включает лазерный источник излучения 1 мощностью 20 мВт, генерирующий на длине волны $\lambda = 532$ нм, микролинзу 2 диаметром 5 мм с фокусным расстоянием 9 мм, чёрно-белый объект 4, поляризатор 5, приёмную оптическую систему 6 с апертурой 55 мм и фокусным расстоянием 80 мм, фотоприёмник 7, компьютер 8.

В качестве поляризатора использовалась поляризационная плёнка [8–9] с коэффициентом пропускания k излучения на длине волны $\lambda = 532$ нм, равном $k = 0,56$, и степенью поляризации $P = 0,3$. Плёнка крепилась во вращающемся в вертикальной плоскости барабане с нанесёнными на его ободке значениями градусов. Значения

градусов отсчитываются относительно риски, нанесённой на другом (неподвижном) барабане, связанном с узлом крепления поляризатора.

Фотоприёмником являлся многоэлементный датчик с пространственно-зарядовой связью марки *TohibaTCD1304AP* (ПЗС-датчик). Элементарные приёмники датчика расположены вдоль одной линии, поэтому его ещё называют ПЗС-линейкой. Светочувствительная площадка элементарного приёмника ПЗС-датчика имеет форму прямоугольника шириной 14 мкм и высотой 200 мкм. Число микроприёмников равно 3647.

Регистрация изображений на установке осуществлялась следующим образом. Линейно поляризованное излучение (степень поляризации $P = 0,3$) полупроводникового лазера непрерывного действия с длиной волны $\lambda = 532$ нм, диаметром пучка 5 мм и расходимостью ≈ 3 мрад направлялось на положительную линзу 2 с фокусным расстоянием 9 мм. Расширенное линзой излучение освещало объект 4. В качестве объекта использовался плоский непрозрачный экран с наклеенными на нём двумя широкими чёрной и белой полосами, образующими резкий переход от чёрного к белому. Изображение объекта представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Исходное изображение объекта

Figure 2 – Initial image of the object

Ширина полос объекта равнялась 400 мм, высота – 800 мм. Отражённое от объекта 4 излучение (рисунок 1), пройдя через поляризатор 5, попадало в приёмную оптическую систему 6, которая формировала изображение объекта в плоскости светочувствительных элементов приёмника 7. Распределение интенсивности по изображению объекта вдоль горизонтальной оси (поперёк границы раздела чёрного и белого) регистрировалось светочувствительными элементами приёмника 7, сохранялось в памяти компьютера 8 и отображалось на его мониторе.

Изображения объекта регистрировались для разных типов дымов при различных их оптических плотностях в двух положениях приёмной оптической системы относительно источника подсветки объекта. Вблизи источника на расстоянии ≈ 150 мм, что соответствует, примерно, расстоянию от глаз пожарного-спасателя до фонаря подсветки, закреплённому на его каске, либо установленному на груди, и на удалении ≈ 800 мм, которое имитирует расстояние от глаз пожарного-спасателя до фонаря подсветки, находящегося в его руке.

Регистрация осуществлялась при двух ориентациях плоскости пропускания поляризатора 5, когда плоскость пропускания поляризатора была параллельна плоскости поляризации излучения подсветки объекта и когда она была перпендикулярна ей. Первый случай соответствовал фильтрации (блокировке) фона излучения, рассеянного частицами дыма в направлении «назад», второй – отсутствию его фильтрации.

Результаты экспериментального исследования контраста изображений бинарного объекта, формируемых в условиях задымления при поляризационной фильтрации помехи обратного рассеяния излучения подсветки и без фильтрации

Контрасты изображений бинарного объекта, регистрируемые при наличии дыма, вычислялись по формуле (2) и оценивались для точек изображений вблизи резкой границы перехода от светлой части объекта к тёмной на равноудалённых от границы расстояниях.

Во всех экспериментах объект находился на расстоянии от источника подсветки, равном 8,8 м.

На рисунке 3 представлены зависимости относительных (по отношению к контрасту изображения, зарегистрированного в отсутствие дыма K_0) контрастов K/K_0 изображений объектов от удельной оптической плотности D дыма, образуемого модельным очагом пожара ТП2 (пиролиз древесины)¹.

Оценка удельной оптической плотности D осуществлялась по формуле:

¹ Система стандартов пожарной безопасности. Системы пожарной сигнализации. Извещатели дымовые точечные. Общие технические условия: СТБ 11.16.03-2009.

$$D = \frac{10}{L} \log \frac{I_0}{I}, \quad (4)$$

где I_0 – величина сигнала, регистрируемого приёмником излучения в отсутствие дыма; L – длина пути излучения от источника до приёмника; I – величина сигнала, регистрируемого приёмником излучения при наличии дыма.

Зависимости получены при расстоянии от источника излучения до приёмной оптической системы ≈ 150 мм.

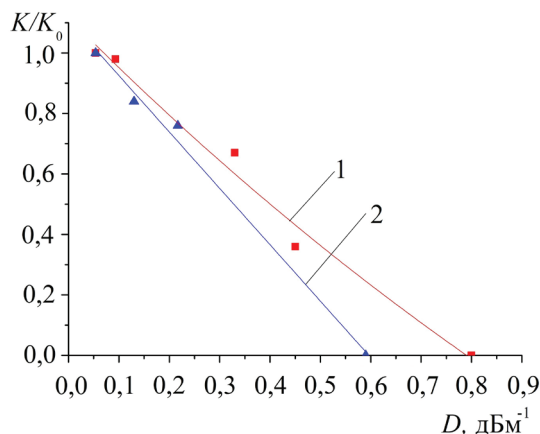


Рисунок 3 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений бинарного объекта, регистрируемых вблизи источника подсветки способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (пиролиз древесины)

Figure 3 – Dependence of relative contrasts of binary object images registered near the illumination source by filtering (1) and without filtration scattered radiation (2) on the specific optical density D of smoke (wood pyrolysis)

Кривая 1 отображает изменение контраста изображений с увеличением средней удельной оптической плотности дыма при фильтрации ПОР. Кривая 2 получена в отсутствие фильтрации ПОР. Видно, что с увеличением удельной оптической плотности дыма контраст изображений уменьшается. Однако скорость уменьшения контраста изображений, полученных при фильтрации ПОР, меньше, чем изменение его в изображениях, регистрируемых без фильтрации. Сравнение величин контрастов данных изображений для оптической плотности дыма, равной, например, $D = 0,4$ дБм⁻¹, показывает, что контраст изображения, формируемого с отсечкой ПОР, примерно в 2 раза выше контраста изображения, регистрируемого без фильтрации ПОР.

На рисунках 4 и 5 приведены изображения объекта, полученные при удельной оптической плотности дыма, равной $D = 0,5 \text{ дБм}^{-1}$, соответственно без фильтрации ПОР и её отсечке. Справа на изображениях объекта виден след излучения источника (длина волны излучения $\lambda = 650 \text{ нм}$), использовавшегося для контроля удельной оптической плотности дыма.

Из рисунка 5 видно, что контраст отфильтрованного изображения выше контраста изображения, полученного без фильтрации ПОР (помеха обратного рассеяния в виде яркого снопа лучей, накладывающаяся на изображение объекта (рисунок 4), практически полностью устранена). Однако яркость отфильтрованного изображения очень мала. Этот факт объясняется тем, что используемый в экспериментах поляризатор имел низкий коэффициент пропускания излучения $k = 0,56$.

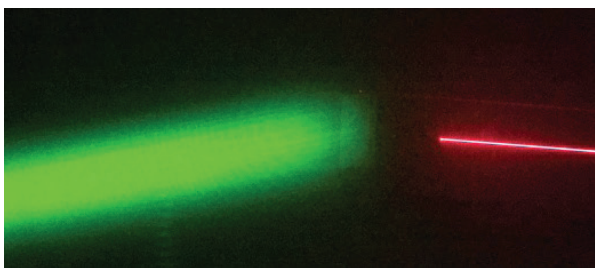


Рисунок 4 – Изображение бинарного объекта, зарегистрированное без фильтрации рассеянного излучения ($D = 0,5 \text{ дБм}^{-1}$) вблизи источника подсветки объекта

Figure 4 – Image of a binary object registered without filtering scattered radiation ($D = 0.5 \text{ dBm}^{-1}$) near the illumination source

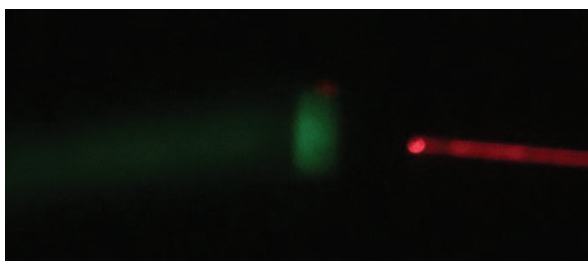


Рисунок 5 – Изображение бинарного объекта, зарегистрированное в условиях фильтрации рассеянного излучения ($D = 0,5 \text{ дБм}^{-1}$) вблизи источника подсветки объекта

Figure 5 – Image of a binary object registered by filtering scattered radiation ($D = 0.5 \text{ dBm}^{-1}$) near the illumination source

Представленные на рисунках 3–5 результаты получены в схеме регистрации, соответствующей

наблюдению объектов с подсветкой источником, расположенным на каске пожарного-спасателя либо его груди. Представляет интерес оценить контрасты изображений, формируемых при подсветке объекта источником, расположенным, например, в руке спасателя.

На рисунке 6 отображены зависимости контрастов изображений, полученных при расстоянии от источника излучения до приёмной оптической системы, равном $\approx 800 \text{ мм}$.

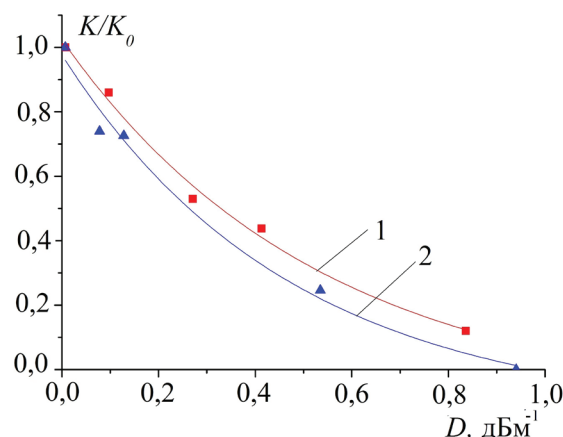


Рисунок 6 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений бинарного объекта, регистрируемых на удалении от источника подсветки способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (пиролиз древесины)

Figure 6 – Dependence of relative contrasts of binary object images registered at a distance from the illumination source by filtering scattered radiation (1) and without filtration (2) on the specific optical density D of smoke (pyrolysis of wood)

Видно, что основные особенности изменения контрастов в зависимости от удельной оптической плотности дыма сохраняются. В то же время сопоставление контрастов изображений объекта, полученных при отсечке ПОР (кривая 1) и без фильтрации (кривая 2), показывает, что они меньше отличаются друг от друга. При удельной оптической плотности дыма $D = 0,4 \text{ дБм}^{-1}$ отношение контрастов равно 1,3. Выравнивание качества изображений можно объяснить уменьшением мощности, регистрируемой ПОР, так как её часть не попадает в приёмный канал вследствие большого пространственного разнесения приёмника и источника излучения [10].

Исследование контраста изображений бинарного объекта, формируемых при двух режимах ре-

гистрации (через поляризационный фильтр и без него), проводилось также для дыма, выделяемого при тлении хлопка (модельный очаг пожара ТПЗ).

Данный тип дыма проявляется при возгорании хлопчатобумажных (волокнистых) материалов. Он, так же как и дым тлеющей древесины, относится к так называемым «светлым» дымам. Такие дымы состоят из твёрдых частиц с размерами от 5 до 10 мкм, хорошо рассеивающими свет.

На рисунке 7 отображены зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений объектов, полученных при фильтрации ПОР (кривая 1) и в её отсутствие (кривая 2) от удельной оптической плотности D дыма тлеющего хлопка.

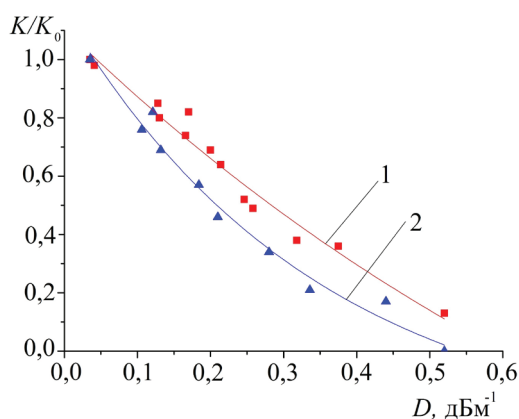


Рисунок 7 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений, регистрируемых способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (тление хлопка). Расстояние между регистрирующей оптической системой и источником подсветки объекта ≈ 150 мм

Figure 7 – Dependences of relative contrasts of images registered by filtering scattered radiation (1) and without filtration (2) on the specific optical density D of smoke (cotton smoldering). Distance between the recording optical system and the object illumination source ≈ 150 mm

Из динамики зависимостей, представленных на рисунке 7, следует, что контраст изображений, получаемых с отсечкой ПОР, выше контраста изображений, регистрируемых в отсутствие её фильтрации. Соотношение контрастов изображений, определённых при удельной оптической плотности дыма $D = 0,4$ дБм⁻¹, равно ≈ 2 .

На рисунке 8 представлены зависимости контрастов изображений, полученных при расстоянии от источника излучения до приёмной оптической системы ≈ 800 мм. Соотношение контрастов изображений, сформированных при отсечке и регистрации ПОР, на удельной оптической плотно-

сти дыма $D = 0,4$ дБм⁻¹ примерно такое же, как и в случае использования очага ТП2 и равно 1,2.

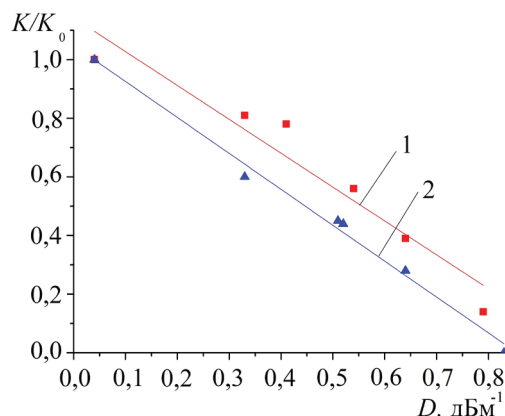


Рисунок 8 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений, регистрируемых способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (тление хлопка). Расстояние между регистрирующей оптической системой и источником подсветки объекта ≈ 800 мм

Figure 8 – Dependences of relative contrasts of images registered by filtering scattered radiation (1) and without filtration (2) on the specific optical density D of smoke (cotton smoldering). Distance between the recording optical system and the object illumination source ≈ 800 mm

На рисунках 9 и 10 приведены зависимости контрастов изображений бинарного объекта, регистрируемых в дымах, образуемых модельными очагами пожаров ТП4 (горение пенополиуретана) и ТП5 (горение *n*-гептана) от оптической плотности дымов.

Как и ранее, кривые 1 на рисунках 9 и 10 характеризуют динамику изменения с ростом удельной оптической плотности дыма контраста изображений, формируемых с фильтрацией ПОР, а кривые 2 – без фильтрации.

Из построенных зависимостей следует, что контрасты изображений, регистрируемых различными способами, практически не отличаются между собой. Это связано с тем, что дымы, выделяемые при горении синтетических материалов (пластмасс) и некоторых органических жидких соединений класса алканов, относятся к так называемым «чёрным» дымам. Они состоят в основном из частиц, поглощающих свет. Поэтому мощность ПОР, возникающей в данном случае, незначительна. Контраст изображений падает в основном вследствие уменьшения регистрируемого полезного сигнала от объекта (поглощения

частицами дыма излучения, отражённого от объекта) и накладывающегося на изображение фона излучения от пламени горящего вещества.

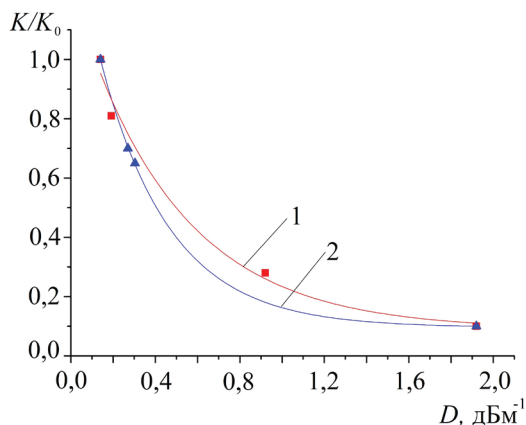


Рисунок 9 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений вблизи границы раздела бинарного объекта, регистрируемых способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (горение пенополиуретана). Расстояние между регистрирующей оптической системой и источником подсветки объекта ≈ 150 мм

Figure 9 – Dependences of relative contrasts of images registered by filtering scattered radiation (1) and without filtration (2) on the specific optical density D of smoke (burning foamex). Distance between the recording optical system and the object illumination source ≈ 150 mm

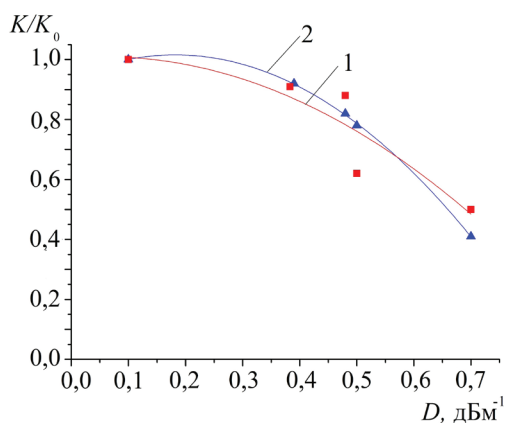


Рисунок 10 – Зависимости относительных контрастов K/K_0 изображений вблизи границы раздела бинарного объекта, регистрируемых способом фильтрации рассеянного излучения (1) и без фильтрации (2), от удельной оптической плотности D дыма (горение n -гептана). Расстояние между регистрирующей оптической системой и источником подсветки объекта ≈ 150 мм

Figure 10 – Dependences of relative contrasts of images registered by filtering scattered radiation (1) and without filtration (2) on the specific optical density D of smoke (burning n -heptane). Distance between the recording optical system and the object illumination source ≈ 150 mm

Исследование контрастов изображений в схеме регистрации, когда приёмная оптическая система располагается на удалении от источника подсветки объекта, не проводилось вследствие очевидности результатов, т. е. отсутствия отличий контрастов, поскольку мощность ПОР в данной схеме еще меньше, чем в рассмотренных выше.

Заключение

Установлено, что способ формирования изображения объекта с применением поляризационной фильтрации излучения помехи обратного рассеяния позволяет снизить скорость уменьшения контраста изображения с увеличением оптической плотности дыма в сравнении с регистрацией изображения без фильтрации помехи обратного рассеяния.

Существенная разница в контрастах изображений, регистрируемых с отсечкой помехи обратного рассеяния и в отсутствие фильтрации, наблюдается для «светлых» дымов (тление древесины, хлопка) на средних удельных оптических плотностях дыма. При удельной оптической плотности дымов, равной $D = 0,4$ дБм⁻¹, отношение контрастов в схеме регистрации вблизи источника подсветки объекта равно ≈ 2 , а при регистрации изображений на удалении от источника составляет $\approx 1,2$.

Выявлено, что при регистрации изображений бинарного объекта через так называемые «чёрные» дымы (горение пластмасс и некоторых органических жидкостей) разница в контрастах изображений, получаемых рассматриваемыми способами, практически отсутствует, что объясняется низким уровнем помехи обратного рассеяния, формируемым данным типом дыма.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке оптических принадлежностей пожарного-спасателя, что позволит улучшить условия наблюдения объектов в неблагоприятных условиях видения: задымлении, парообразовании, тумане.

В настоящее время в НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси ведутся проектные работы по разработке конструкции шлема пожарного с улучшенной функцией видения в аэрозольных средах и защитой глаз пожарного от воздействия излучений ультрафиолетового и инфракрасного диапазона длин волн на основе применения лазерного фонаря и термовлагостойкой поляризационной плёнки.

Список использованных источников

1. Тымкул, В.М. Опτικο-электронные приборы и системы. Теория и методы энергетического расчета / В.М. Тымкул, Л.В. Тымкул. – Новосибирск: СГГА, 2005. – 215 с.
2. Волков, В.Г. Активно-импульсные вертолетные очки ночного видения / В.Г. Волков // Вестник МГТУ имени Баумана. Серия «Приборостроение» – 2011. – С. 143–156.
3. Балоев, В.А. Анализ путей повышения эффективности наземных опτικο-электронных комплексов наблюдения / В.А. Балоев [и др.] // Оптический журнал. – 2012. – Т. 79, № 3. – С. 22–32.
4. Christopher, E. Combination head-protective helmet and thermal imaging apparatus. Patent EP0622030B1, publ. data 21.05.1997.
5. Kim Myung-hwan Smart fire fighting helmet. Patent KR101103516B1, publ. data 06.01. 2012.
6. Gilles Basson Gallet Sa Protective helmet and means for connection of an accessory. Patent CA2382804C, publ. data 05.01.2010.
7. Козлов, В.С. Исследование оптических свойств и дисперсного состава древесных дымовых аэрозолей / В.С. Козлов, М.В. Панченко // Физика горения и взрыва. – 1996. – Т. 32, № 5. – С. 122–133.
8. Агабеков, В.Е. Пленочные поляризаторы для жидкокристаллических устройств отображения информации / В.Е. Агабеков, Н.Г. Арико, Н.А. Иванова // Вести НАН Беларуси. Сер. хим. наук. – 2002. – № 4. – С. 98–112.
9. Сушко, Н.И. Получение и оптические свойства поляризационных пленок на основе нанокмозитов поливиниловый спирт-гетерополиакрилат / Н.И. Сушко, С.А. Загорская, Т.В. Шевченко, О.И. Третинников // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 30–34.
10. Григорьевский, В.И. Устранение помехи обратного рассеяния лазерного излучения в квазинепрерывных лидарах / В.И. Григорьевский, Я.А. Тезадов, А.В. Элбакидзе // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 1. – С. 71–74.

References

1. Timkul V.M. *Optiko-elektronnye pribory i sistemy. Teoriya i metody energeticheskogo rascheta*. [Optoelectronic devices and systems. Theory and methods of energy calculation]. Novosibirsk, CGGA Publ., 2005, 215 p.
2. Volkov V.G. [The active – pulses helicopter glasses of night viewing]. *Vestnik MSTU imeni Baumana. Serya "Priborostroenie"* [Bulletin of the Moscow state technical University. Bauman's. "Instrumentation" Series], 2011, pp. 143–156 (in Russian).
3. Baloev V.A. [The analysis of ways to improve the effectiveness of overhead – based optical-electronic surveillance systems]. *Opticheskii jurnal* [Journal of optical], 2012, vol. 79, no. 3, pp. 22–32 (in Russian).
4. Christopher E. Combination head-protective helmet and thermal imaging apparatus. Patent EP0622030B1, publ. data 21.05.1997.
5. Kim Myung-hwan Smart fire fighting helmet. Patent KR101103516B1, publ. data 06.01. 2012.
6. Gilles Basson Gallet Sa Protective helmet and means for connection of an accessory. Patent CA2382804C, publ. data 05.01.2010.
7. Kozlov V.S., Panchenko M.V. [The investigation of optical properties and dispersed composition of wood smoke aerosols]. *Fizika gorennya i vzryva* [Physics of combustion and explosion], 1996, vol. 32, no. 5, pp. 122–133.
8. Agabekov V.E., Ariko N.G., Ivanova N.A. [Film polarizer's for liquid crystal display devices]. *Vesti NAN Belarus. Ser. Him. Nauk* [Vesti NAN of Belarus. Chem. Scien. Ser.], 2002, no. 4, pp. 98–112 (in Belarus).
9. Suchko N.I., Zagorskaya S.A., Shevchenko T.V., Tretinnikov O.I. [Preparation and optical properties of polarizing films based on nanocomposites polyvinyl alcohol-heteropolyacid]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2016, vol. 2, no. 3, pp. 30–34 (in Belarus).
10. Grigor'evski V.I., Tezadov Y.A., Elbakidze A.V. [The elimination of the interference of backscattering of laser radiation in quasicontinuous lidar]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth and space], 2018, vol. 15, no. 1, pp. 71–74 (in Russian).