

УДК 614.841

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВИДИМОСТИ ПРИ ЗАДЫМЛЕНИИ

Суриков А.В.*, Лешенюк Н.С.**, д.ф.-м.н., профессор, Кунцевич Б.Ф.***, к.ф.-м.н.,
Горобец В.А.***

*Институт переподготовки и повышения квалификации Республики Беларусь

**Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

***Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси

e-mail: shurikoff@bk.ru

Приведены результаты исследований улучшения видимости в задымленных помещениях с помощью оптико-электронной системы, основанной на применении метода стробирования по дальности. Разработана и представлена методика исследования системы, а также характеристики приборной базы. Приведена сравнительная оценка видимости в условиях задымления с помощью указанной системы, осветительного фонаря и тепловизора.

The results of research visibility in a smoky environment using opto-electronic system, based on the method of sampling for range, are reported. Developed and presented research methodology of system researching and characterization of the material base. The comparative evaluation of visibility in smoke with the using opto-electronic system, a lighting lantern and a thermal camera is presented.

(Поступила в редакцию 10 июня 2014 г.)

Введение

Ежегодно в Республике Беларусь происходит примерно 8 000 пожаров, на которых гибнет около 1 000 человек. Примерно 85 % пожаров происходят в зданиях, где постоянно или временно находятся люди. Скорость проведения аварийно-спасательных работ, поиска и спасения пострадавших во многом ограничивается вследствие задымления и плохой видимости. Характеристики основных технических средств, применяемых для улучшения видимости в условиях ограниченной прозрачности атмосферы при ликвидации чрезвычайных ситуаций (осветительные фонари, телевизионные системы, тепловизионные приборы) недостаточны для успешного их проведения. Перспективным представляется использование для этих целей оптико-электронных приборов, работа которых основана на применении метода стробирования. Такие системы также называют активно-импульсными системами видения (АИСВ). Подобные системы нашли довольно широкое применение в различных отраслях техники для улучшения видимости главным образом в условиях тумана [1].

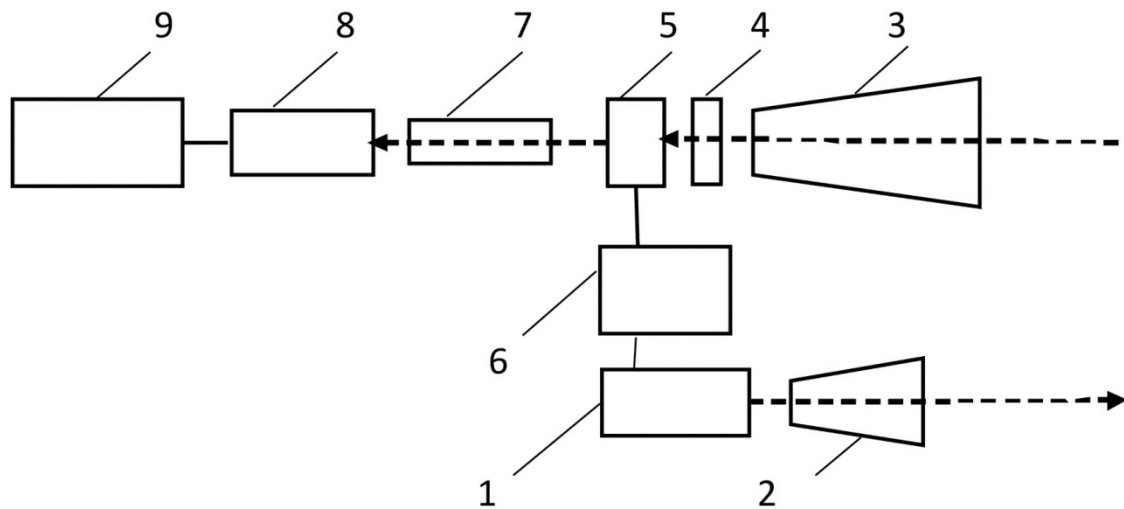
Об эффективности работы АИСВ в условиях задымления в литературе приведены противоречивые данные. В работах [2, 3] говорится, что при задымлении АИСВ в своих традиционных областях спектра неработоспособны. Однако в работе [4, стр. 147] приведен пример применения АИСВ для визуализации объекта при горении древесины. Исследования проводились с применением активно-импульсной системы «ZOND» в камере длиной 22 м, заполненной древесным дымом с оптической плотностью $3 \pm 0,1$ Дб, что соответствует коэффициенту ослабления $0,136 \pm 0,004 \text{ м}^{-1}$. Указано, что удовлетворительное изображение объекта наблюдения получено при применении активно-импульсного режима. Возможность применения АИСВ для решения задач МЧС подтверждена в работе [5].

В данной работе приведены результаты исследований повышения видимости с помощью оптико-электронной системы АИСВ в задымленных помещениях в полигонных

условиях. Дана сравнительная оценка видимости в условиях задымления с применением указанной системы, осветительного фонаря и тепловизора и рассмотрена возможность повышения видимости с помощью исследуемой системы.

Экспериментальная часть

Действие активно-импульсных систем видения основано на импульсном методе зондирования и наблюдения, предложенном академиком А.А. Лебедевым в 1936 г. (см. [2]). Сущность метода сводится к следующему. Объект наблюдения освещается короткими световыми импульсами, длительность которых значительно меньше времени распространения света до объекта и обратно. При этом объект наблюдается с помощью прибора, снабженного быстродействующим затвором, открывающимся в такт с посылкой световых импульсов на определенное время. В том случае, когда временная задержка между моментом излучения импульса и моментом открывания затвора равна удвоенному времени, необходимому для прохождения светом расстояния до объекта и обратно, наблюдатель будет видеть только сам объект и участок пространства, непосредственно его окружающий. Глубина этого пространства определяется как временем открытого состояния затвора, так и длительностью светового импульса. Для реализации этого метода необходимы импульсный осветитель, генерирующий достаточно короткие импульсы света – лазерный излучатель, а также преобразователь изображения, в качестве которого применяется электронно-оптический преобразователь (ЭОП), оснащенный быстродействующим затвором [6]. Принципиальная схема разработанной системы видения показана на рис. 1.



1 – лазерный осветитель; 2 – объектив-формирователь; 3 – приемной объектив; 4 – оптический фильтр; 5 – электронно-оптический преобразователь (ЭОП); 6 – электронный блок стробирования по дальности; 7 – согласующий объектив; 8 – видеокамера (ПЗС матрица); 9 – ЖКИ монитор

Рисунок 1 – Принципиальная схема опто-электронной системы улучшения видимости в дыму

Внешний вид экспериментального образца приведен на рис. 2.

Общие технические характеристики экспериментального образца исследуемой опто-электронной системы приведены в таблице 1.

Эксперимент проводился в д. Загорье Борисовского района Минской области при следующих условиях: температура окружающего воздуха – 15 °С; относительная влажность –

86 %; оптическая плотность < 0,01 дБ/м. Исследования осуществлялись в помещении с двускатной кровлей и размерами: длина – 33 м; ширина – 8 м; высота в центре – 4 м.



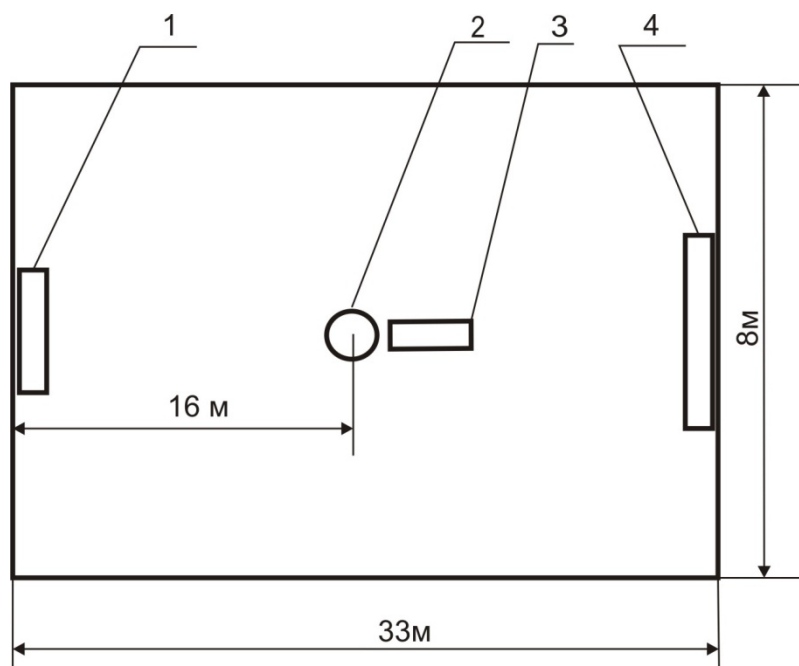
Рисунок 2 – Внешний вид экспериментального образца оптико-электронной системы улучшения видимости в дыму

В помещении для измерения концентрации дыма размещался измеритель оптической плотности среды ИОП-1 (диапазон измерения оптической плотности среды 0,00 – 3,00 дБ с абсолютной погрешностью измерения не более $\pm 0,02$ дБ). Измеритель ИОП-1 размещался на высоте 1,5 м, что соответствовало высоте оптической оси наблюдения с помощью исследуемого экспериментального образца оптико-электронной системы улучшения видимости.

Таблица 1 – Основные технические характеристики экспериментального образца исследуемой оптико-электронной системы

Параметр системы	Значение
Длина волны излучения лазерного осветителя, нм	850
Пиковая мощность импульса лазерного излучения, Вт	320
Длительность импульса излучения, нс	~ 60
Частота следования импульсов, Гц	5 000 – 10 000
Расстояние до границы зоны наблюдения, м:	
– минимальное	10
– максимальное	500
Глубина зоны наблюдения, м:	
– минимальная	15
– максимальная	120
Увеличение, крат.	3
Угол обзора, град:	
– по вертикали	6
– по горизонтали	20
Масса прибора, кг	2

План помещения и размещение оборудования и тестового очага пожара показано на рис. 3.



1 – исследуемое оборудование; 2 – тестовый очаг пожара; 3 – измерительная аппаратура;
4 – объект наблюдения

Рисунок 3 – План помещения для проведения огневых испытаний исследуемого образца

Измерения расстояний выполнялись с помощью лазерного дальномера Bosch DLE 50 Professional, имеющего абсолютную погрешность измерения $\pm 0,0015$ м.

В качестве источника тестового пожара использовалась резина (масса 7 кг), уложенная на металлическом поддоне размерами 540x540x20 мм. Горючий материал воспламенялся бензином, поджог которого осуществлялся открытым пламенем.

Для исследования разрабатываемой системы была применена методика визуального определения дальности видимости с помощью щита-ориентира [7], адаптированная к условиям эксперимента. Данная методика введена Международной комиссией по освещенности (МКО), признана Международной электротехнической комиссией (IEC, 1987 г.), официально принята Всемирной метеорологической организацией (ВМО, 1993 г.) в качестве метода определения видимости в атмосфере. Так как визуальная оценка видимости зависит от индивидуальной способности восприятия и интерпретации, а также от характеристик источника света и коэффициента пропускания, с целью сравнимости результатов визуальных наблюдений за видимостью в задымленном помещении различными наблюдателями установлены единые требования к ориентирам видимости и к зрению наблюдателя – наблюдатели, которые проводят визуальные наблюдения за видимостью, должны иметь остроту зрения 1,0 на каждый глаз.

В качестве ориентира видимости применялся щит, представляющий собой черно-белый квадрат, размером 0,40x1,20 м, в виде четырех расположенных в шахматном порядке клеток.

В развитие методики и с учетом особенностей применения разработанной системы улучшения видимости, заключающееся не только в ориентировании спасателей-пожарных в задымленном помещении, но и в поиске пострадавших, дополнительно в качестве ориентира

выступал человек, одетый в боевую одежду спасателя, имеющую накладки в виде полос шириной 50 мм из флуоресцирующего и световозвращающего материала [8].

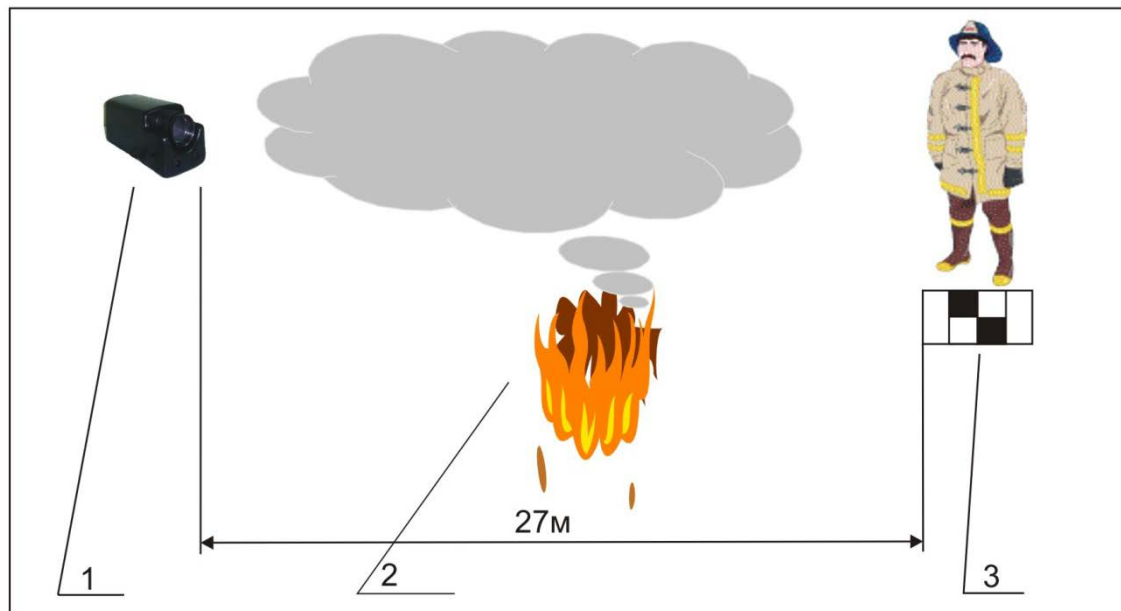
Данное условие было реализовано для учета не только непосредственного присутствия человека за слоем дыма, но и с целью изучения эффективности применения разрабатываемой системы в качестве стационарного средства видеонаблюдения в теплодымокамерах, применяемых для тренировок личного состава газодымозащитных служб органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям в условиях непригодных для дыхания.

Для сравнения эффективности применения разрабатываемой системы с имеющимися на вооружении органов и подразделений техническими средствами, в качестве последних применялись фонарь осветительный специальный ФОС-3 и тепловизор FLIR ThermoCAM E300.

Результаты наблюдения фиксировались фотоаппаратом Canon A570 (7,2 Мп).

Тестовый очаг размещался на расстоянии 16 м от точки размещения исследуемого оборудования. Перед каждым испытанием помещение проветривали до наступления начальных условий испытаний.

Схема исследований приведена на рис. 4.



1 – исследуемая система; 2 – тестовый очаг пожара; 3 – ориентиры

Рисунок 4 – Схема исследований оптико-электронной системы улучшения видимости в условиях задымления

Ориентиры размещались на одной оптической оси с измерителем оптической плотности.

При проведении визуальных наблюдений с целью определения (оценки) видимости выполнялись следующие требования:

- а) глаза наблюдателя находились на уровне размещения измерительной аппаратуры;
- б) наблюдатели, которые проводили визуальные наблюдения за видимостью, имели остроту зрения 1,0 на каждый глаз.

Ориентиры размещались на расстоянии 27 м от объекта исследования.

После инициирования горения тестового очага пожара начиналось визуальное наблюдение за ориентирами.

В момент, когда наблюдатели переставали различать на окружающем фоне ориентир, фиксировались показания измерителя удельной оптической плотности среды $D_{\text{гл}}$ [дБ/м]. При этом видимым ориентиром считался такой, который различался на окружающем фоне хотя бы в виде контура; невидимым ориентиром считался такой ориентир, который сливался с окружающим фоном.

Коэффициент линейного ослабления $\kappa_{\text{осл.}}$, определяемый из закона Бугера-Ламберта, и удельная оптическая плотность дыма, представляющая собой десятичный логарифм отношения начальной и конечной интенсивности излучения, проходящего через задымленную среду с длиной пути равную 1 м, связаны между собой соотношением:

$$\kappa_{\text{осл.}} = 2,303 \cdot D, \quad (1)$$

где $\kappa_{\text{осл.}}$ – коэффициент линейного ослабления, м^{-1} ;
 D – удельная оптическая плотность среды, Б/м [9].

Таким образом определяли значение коэффициента линейного ослабления оптического излучения $\kappa_{\text{осл.гл.}}$ в момент, когда наблюдатели переставали различать на окружающем фоне ориентир.

Согласно закону Бугера-Ламберта определялось значение $\ln(I_{\text{гл}0}/I_{\text{гл}})$ – натуральный логарифм отношения начальной интенсивности оптического излучения (от объекта наблюдения) $I_{\text{гл}0}$ к значению интенсивности светового потока, при котором глаз наблюдателей переставал видеть объект, $I_{\text{гл}}$:

$$\ln \left(\frac{I_{\text{гл}0}}{I_{\text{гл}}} \right) = \kappa_{\text{осл.гл.}} \cdot L_{\text{гл.1}}, \quad (2)$$

где $\kappa_{\text{осл.гл.}}$ – коэффициент линейного ослабления оптического излучения в момент, когда наблюдатели переставали различать на окружающем фоне ориентир, определенный по формуле 1;

$L_{\text{гл.1}}$ – расстояние, на котором находились ориентиры на момент начала исследований ($L_{\text{гл.1}} = 27$ м).

При продолжающемся горении тестового очага пожара, аналогичным образом определялся коэффициент линейного ослабления оптического излучения $\kappa_{\text{осл.с.}}$ в момент, когда на мониторе исследуемой оптико-электронной системы переставали распознаваться ориентиры.

На следующем этапе вычислялось предельное расстояние $L_{\text{гл.2}}$, на котором ориентиры распознавались бы на окружающем фоне при значении коэффициента линейного ослабления оптического излучения равном $\kappa_{\text{осл.с.}}$:

$$L_{\text{гл.2}} = \frac{\ln \left(\frac{I_{\text{гл}0}}{I_{\text{гл}}} \right)}{\kappa_{\text{осл.с.}}} \quad (3)$$

Из формул 1 – 3 следует выражение для определения улучшения видимости $L_{\text{с.}}/L_{\text{гл.2}}$, характеризующее отношение дальности видимости $L_{\text{с.}}$ с применением оптико-электронной системы ($L_{\text{с.}}$ – расстояние, на котором располагались ориентиры на момент начала исследования, равное 27 м) к метеорологической дальности видимости $L_{\text{гл.2}}$ (без применения системы улучшения видимости) при задымлении:

$$\left(\frac{L_c}{L_{гл.2}} \right) = \frac{L_c \cdot \kappa_{осл.с}}{\ln \left(\frac{I_{гл0}}{I_{гл}} \right)} = \frac{L_c \cdot \kappa_{осл.с}}{L_{гл.1} \cdot \kappa_{осл.гл}} = \frac{D_c}{D_{гл.}} \quad (4)$$

где D_c – удельная оптическая плотность среды, зафиксированная в момент, в момент, когда на мониторе исследуемой оптико-электронной системы переставали распознаваться ориентиры, дБ/м;

$D_{гл.}$ – удельная оптическая плотность среды, зафиксированная в момент, когда наблюдатели переставали различать на окружающем фоне ориентир, дБ/м.

С целью сравнительной оценки применения разрабатываемой системы проводились параллельные наблюдения с помощью осветительного фонаря (фиксирование результатов производилось с помощью фотоаппарата Canon A570 (7,2 Мп) и тепловизора).

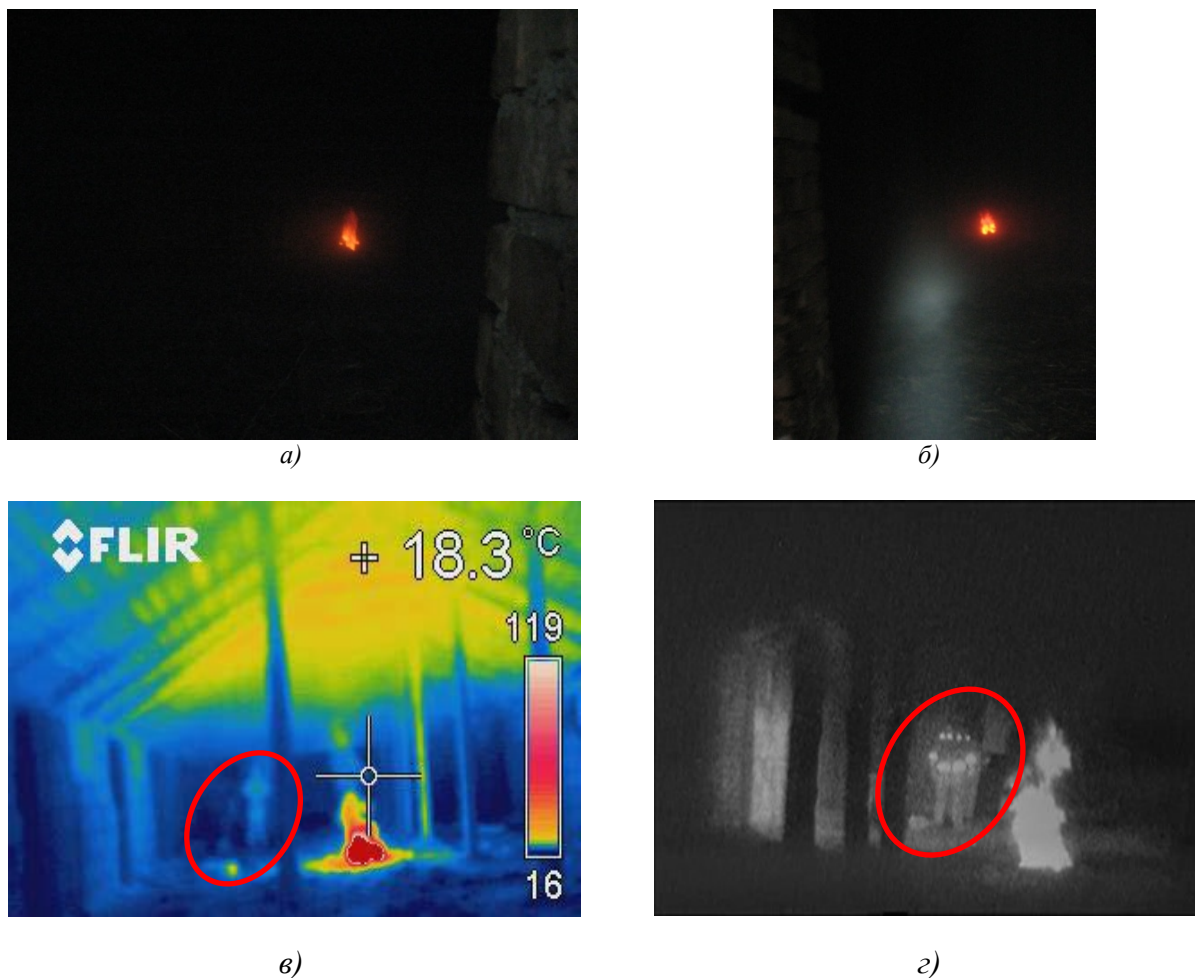
Результаты измерений

Сравнительную оценку видимости проводили согласно разработанной методике. На рис. 5 приведены изображения ростовой фигуры человека, находящегося на расстоянии 27 м, полученные фотоаппаратом Canon A570 без подсветки фонарем ФОС-3 (рис. 5, а) и с подсветкой фонарем (рис. 5, б), тепловизором FLIR ThermoCAM E300 (рис. 5, в) и разрабатываемой оптико-электронной системой с углом обзора равным 20° (рис. 5, г).

Изображения получены в момент времени, когда наблюдатели переставали различать на окружающем фоне ориентиры, и соответствовали показанию измерителя удельной оптической плотности дыма равному 0,32 дБ/м. Зафиксированная удельная оптическая плотность дыма в момент, когда на мониторе исследуемой оптико-электронной системы переставали распознаваться части фигуры человека, на которых отсутствовали световозвращающие элементы, составила 1,13 дБ/м. Световозвращающие элементы на одежде перестали распознаваться при удельной оптической плотности дыма равной 1,44 дБ/м. Количественные показатели проведенных исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты оценки улучшения видимости в условиях задымления с помощью исследуемой оптико-электронной системы при горении резины

№ п.п.	Параметр	Значение
1	Удельная оптическая плотность дыма при потере видимости глазом $D_{гл.}$, дБ/м	0,32
2	Удельная оптическая плотность дыма при потере видимости ростовой фигуры без световозвращающих элементов с помощью системы D_c , дБ/м	1,13
3	Удельная оптическая плотность дыма при потере видимости ростовой фигуры со световозвращающими элементами с помощью системы D_c^1 , дБ/м	1,44
4	Расстояние до наблюдаемого объекта L_c , м	27
5	Метеорологическая дальность видимости при задымлении без световозвращающих элементов $L_{гл.2}$, м	7,6
6	Метеорологическая дальность видимости при задымлении со световозвращающими элементами $L_{гл.2}^1$, м	6
7	Улучшение видимости при применении исследуемой системы $L_c/L_{гл.2}$ при ориентире без световозвращающих элементов	3,53
8	Улучшение видимости при применении исследуемой системы $L_c/L_{гл.2}^1$ при ориентире со световозвращающими элементами	4,5



а) фотоаппаратом Canon A570 без подсветки фонарем; б) фотоаппаратом Canon A570 с подсветкой фонарем ФОС-3; в) тепловизором FLIR ThermoCAM E300; г) разрабатываемой оптико-электронной системой

Рисунок 4 – Изображения, полученные при горении резины при удельной оптической плотности дыма равной 0,32 дБ/м

Заключение

Таким образом, получена сравнительная оценка видимости в условиях задымления при использовании осветительного фонаря, тепловизора и активно-импульсной системы видения. На примере горения резины показано, что улучшение видимости при применении исследуемой системы по сравнению с невооруженным глазом при ориентире без световозвращающих элементов составляет величину 3,5, а с применением световозвращающих элементов – 4,5.

Проведенные исследования и полученные результаты показали перспективность дальнейших разработок активно-импульсных систем с целью их использования для визуализации объектов в задымленной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суриков, А.В. Основные методы и устройства, применяемые и перспективные для улучшения видимости при ЧС / А.В. Суриков, В.О. Петухов, В.А. Горобец // Чрезвычайные

- ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 1 (29). – С. 59-65.
2. Волков, В.Г. Активно-импульсные ПНВ и тепловизионные приборы. Анализ возможностей применения / В.Г. Волков // Фотоника. – 2007. – № 4. – С. 24-28.
 3. Кирпиченко, Ю.Р. Видеоинформационные системы наблюдения и контроля при сложных условиях видимости / Ю.Р. Кирпиченко, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – № 2 (26). – С. 105-110.
 4. Дегтярев, П.А. Исследование и разработка устройств получения видеосигнала в активно-импульсной телевизионной системе наблюдения: Дис. канд. техн. наук: 05.12.04 Томск, 2005. – 233 с.
 5. Сивцев, С.С. Генераторы наносекундной длительности в современных технологических процессах / С.С. Сивцев, В.А. Шалимов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2006. – № 6. – С. 103-105.
 6. Волков, В.Г. Активно-импульсные приборы ночного видения / В.Г. Волков // Специальная техника. – 1998. – № 2. – С. 25-34.
 7. Руководство по определению дальности видимости на взлетно-посадочной полосе: РД 53.21.680-2006. Введ. 16.05.2006. – М. Росгидромет, 2006 – 96 с.
 8. Система стандартов безопасности труда. Одежда пожарная боевая. Общие технические условия: СТБ 1971-2009. Введ. 14.06.09. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 33 с.
 9. Измерение плотности дыма при горении кабелей в заданных условиях. Часть 2. Метод испытания и требования к нему: ГОСТ Р МЭК 61034-2—2005. – Введ. 28.12.2005. – М. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации: ОАО «ВНИИКП», 2005. – 7 с.