

УДК 614.8

ИСПЫТАНИЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО СИГНАЛИЗАТОРА ОПАСНОГО УРОВНЯ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ДЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ

Ковалышин Вл. В., Ковалышин В.В., д.т.н., доц., Пелех Р.Л.
Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности
ГСЧС Украины

e-mail: kovalyshyn.v@gmail.com

В работе представлены статистические данные по травматизму и гибели пожарных на Украине при выполнении служебных обязанностей. С использованием математической модели для определения плотности теплового потока на пожаре изображены графически зависимости для определения безопасного расстояния с учетом различных условий: высоты пламени, температуры горения, фронта пламени (факела) места расположения датчиков сигнализатора опасного уровня плотности теплового потока, угла наклона факела. Проведены полигонные испытания индивидуальных приборов оповещения о достижении критических параметров тепловых потоков для защитной одежды того или иного типа с использованием манекена и испытателя. Предложены рекомендации по размещению датчиков сигнализатора опасного уровня плотности теплового потока. Во время полигонных испытаний защитная одежда пожарных оснащенная сигнализаторами опасного уровня не получила термических повреждений.

The paper presents statistics on injuries and deaths of firefighters on duty in Ukraine. A mathematical model for determining the heat transfer rate on the different types of model fires is developed. According to the model characteristic curves for determining safe operating distances to the fire are drawn (such conditions as flame height, combustion temperature, torch-like flame front, location of the device sensors, angle of the torch are taken into account). Field testing of individual heat transfer rate alarm devices for protective clothing of different types is held with the involvement of a dummy and a test person. The recommendations for the placement of alarm device are offered. During the field tests all the protective clothing equipped with alarm devices remained undamaged.

(Поступила в редакцию 11 июля 2014 г.)

Введение

За 2006-2012 годы на Украине во время выполнения задач по назначению работниками пожарно-спасательных подразделений оперативно-спасательной службы гражданской защиты получено 202 травмы, из них 10 – со смертельным исходом.

Термические поражения являются одной с основных причин гибели и травм пожарных на пожарах, поскольку вследствие опасного уровня плотности теплового потока, который превышает возможности защитной одежды пожарных, последний выходит из строя (рис. 1). Есть несколько возможностей борьбы с этим явлением: изменение тактики тушения, выбор безопасных расстояний тушения, использование более совершенного защитного снаряжения с приборами контроля температуры и тепловых потоков.

Такие случаи не единичны в практической деятельности, ликвидации пожаров с мощными источниками теплового облучения. В [1-6] рассматривается вопрос разработки и изготовления приборов, которые предупреждали бы пожарного о достижении критических значений плотности тепловых потоков для защитной одежды различного назначения. Очень важно не только изготовление этих приборов, но и методика их испытаний. Особенно важна подготовка пожарных к работе с этими приборами.



Рисунок 1 – Элементы обгоревшей теплозащитной одежды ТК-1200

Результаты и обсуждение. Чтобы обеспечить безопасность пожарному-спасателю тепловой поток $q_{к.з.о.}$, на который рассчитана защитная одежда пожарного различного типа, должен быть больше величины теплового потока источника излучения (факела) $q_{ф}$ и с учетом коэффициента безопасности β , $q_{к.з.о.} \geq \beta q_{ф}$.

В работе [6] определен коэффициент безопасности и он равен 1,2. В соответствии с этим коэффициентом выбранные режимы работы прибора СТП-02 [3]. Рассмотрим случай, который встречается в практической работе пожарных. Персональный сигнализатор опасного уровня плотности теплового потока СТП-02 (сигнализатор тепловых потоков) предполагается разместить в местах нахождения уязвимых точек на теле человека, а это: лоб, грудь, живот, поясница, спина, предплечье, плечо, бедро, голень, стопа, кисть. В первых испытаниях выбираем для установки датчика область груди, в области сердца, 1,5 метра от уровня земли. Источником излучения является прямоугольный противень размерами $1,5 \times 0,5$ м с площадью горения $0,75 \text{ м}^2$ и высотой пламени $H = 3$ м, $T = 1273$ °К.

Из рис. 2 мы видим, что при $q = 40 \text{ кВт/м}^2$ (тепловое облучение, которое выдерживает теплоотражающий костюм на протяжении определенного времени) и увеличении угла наклона пламени безопасное расстояние $y_0(L)$ увеличивается. Если это перевести на случаи практической работы пожарных, то такая ситуация может случиться в любую минуту на пожаре при изменении скорости воздушных потоков, например изменение скорости и направления ветра. А это свидетельствует о том, что должны быть приборы, которые обеспечат безопасную работу в защитной одежде и будут предупреждать заранее о достижении безопасного расстояния с определенным коэффициентом безопасности. Например при вертикальном пламени $q_{к.з.о.} = q_{кр.} = 40 \text{ кВт/м}^2$ будет достигнуто на расстоянии $L_1 = 2,75$ м, а при наклонном пламени на 30° $q_{кр.} = 40 \text{ кВт/м}^2$ на расстоянии $L_3 = 3,45$ м.

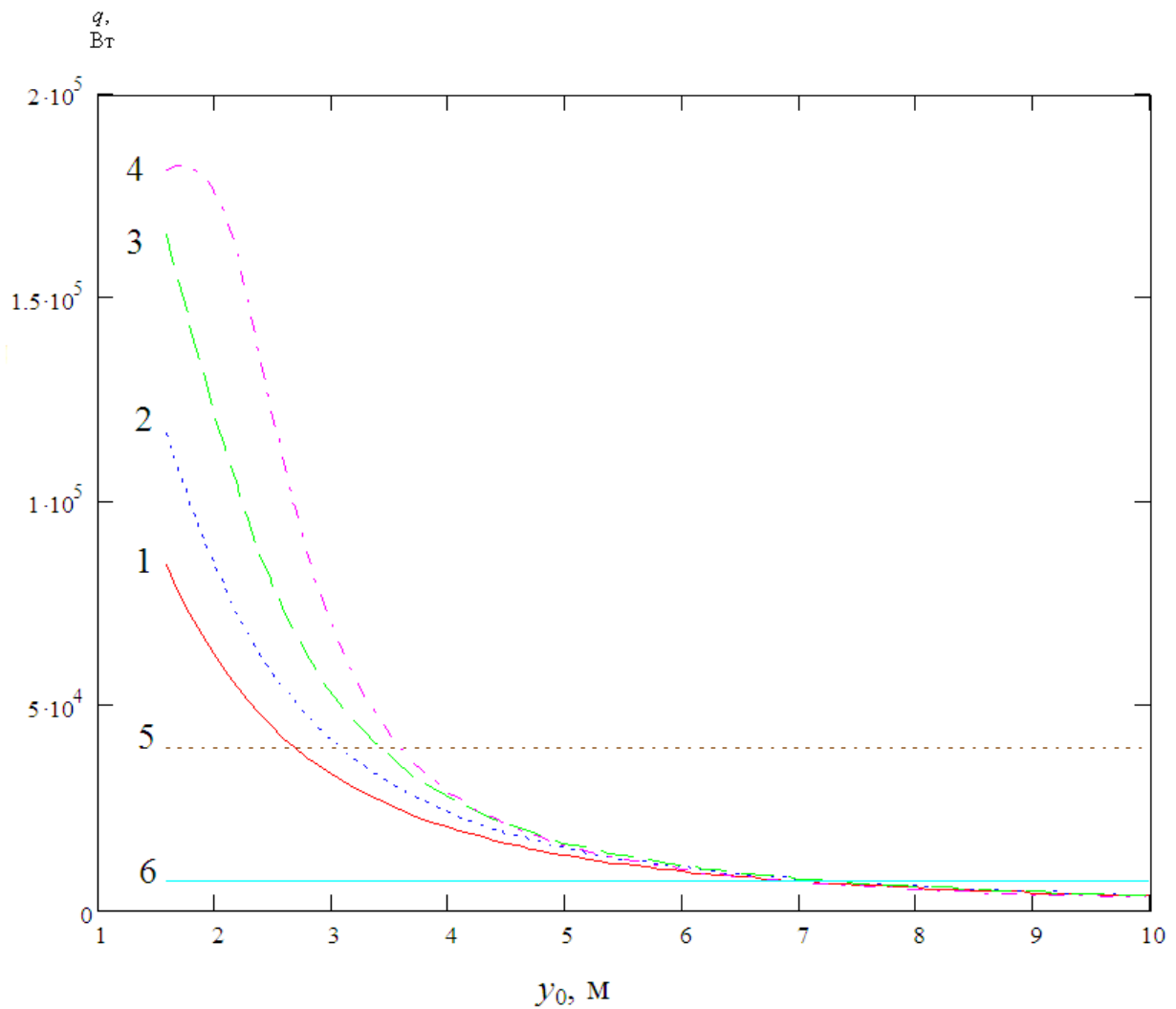


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности теплового потока от расстояния до основного пламени высотой 3 м и шириной 1,5 м, вертикального (кривая 1) и наклоненного от вертикали на угол 15° (кривая 2), 30° (кривая 3) и 45° (кривая 4), горизонтальная прямая 5 построена на уровне 40 кВт/м², а 6 – на уровне 7 кВт/м²

Аналогичные расчеты проведены по формуле 1 с ссылкой на рис. 3, вывод которой представлен в [6], и для других случаев, которые могут встречаться на пожарах и отражены в таблице 1.

$$q = \int_0^{H \cos \alpha} \int_{-r}^r \frac{\varepsilon \sigma T^4}{\pi} \cdot \frac{(y_0 - y)(\cos \alpha (y_0 - y) - \sin \alpha (h - z))}{(x^2 + (y - y_0)^2 + (z - h)^2)^2} \cdot \frac{dx dz}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 ε – относительная степень черноты (для поверхностей факела $\varepsilon = 0,95$);
 σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴);
 H – высота факела, м;
 $2r$ – ширина факела, м;
 T – температура факела, К;
 h – высота размещения датчика (элементарная вертикальная поверхность) восприятия теплового потока, м.

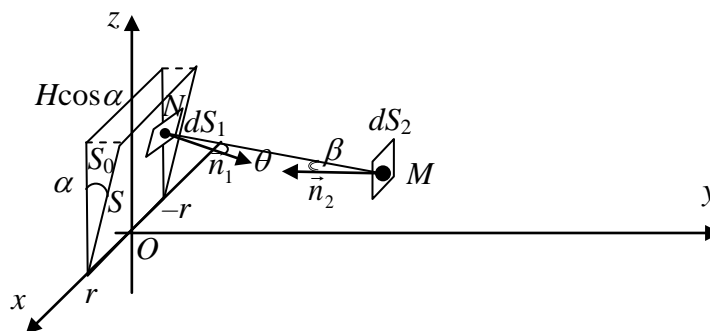


Рисунок 3 – Излучение с поверхности, наклоненной под углом α до вертикали, на элементарную вертикальную поверхность

Таблица 1 - Определение безопасного расстояния от пламени к пожарному в защитной одежде ($q_{кр.} = 40 \text{ кВт/м}^2$), который оснащенный персональным сигнализатором плотности теплового потока в различных условиях пожара

Температура поверхности пламени $T, \text{ К}$	Высота пламени $H, \text{ м}$	Высота размещения радиометра $h, \text{ м}$	Расстояние от пламени $y_0, \text{ м}$, на которой тепловой поток составит 40 кВт/м^2 для угла наклона плоскости α°		
			0°	15°	30°
1 200	2,0	1,0	1,287	1,551	1,809
		1,2	1,270	1,548	1,794
		1,5	1,180	1,469	1,661
1 200	2,5	1,0	1,393	1,697	2,035
		1,2	1,411	1,740	2,088
		1,5	1,393	1,755	2,100
973	2,0	1,0	0,427	0,672	0,867
		1,2	0,418	0,723	1,012
		1,5	0,361	0,744	1,097
973	2,5	1,0	0,448	0,681	0,824
		1,2	0,456	0,748	0,973
		1,5	0,448	0,832	1,194

Из таблицы 1 видно, что датчик СТП-02, который находится на высоте 1,2 м при высоте пламени 2 и 2,5 м как правило, больше воспринимает облучения и соответственно безопасное расстояние больше. Тепловое облучение по высоте размещения датчиков отличается. При высоте пламени 2-2,5 м датчики лучше размещать на высоте 1-1,2 м. А еще лучше использовать не менее двух датчиков. Безопасное расстояние увеличивается с изменением температуры пламени, то есть от того что горит и в каком количестве. Безопасное расстояние с наклоном пламени увеличивается (рис. 2) и это необходимо учитывать при работе пожарных вблизи пламени.

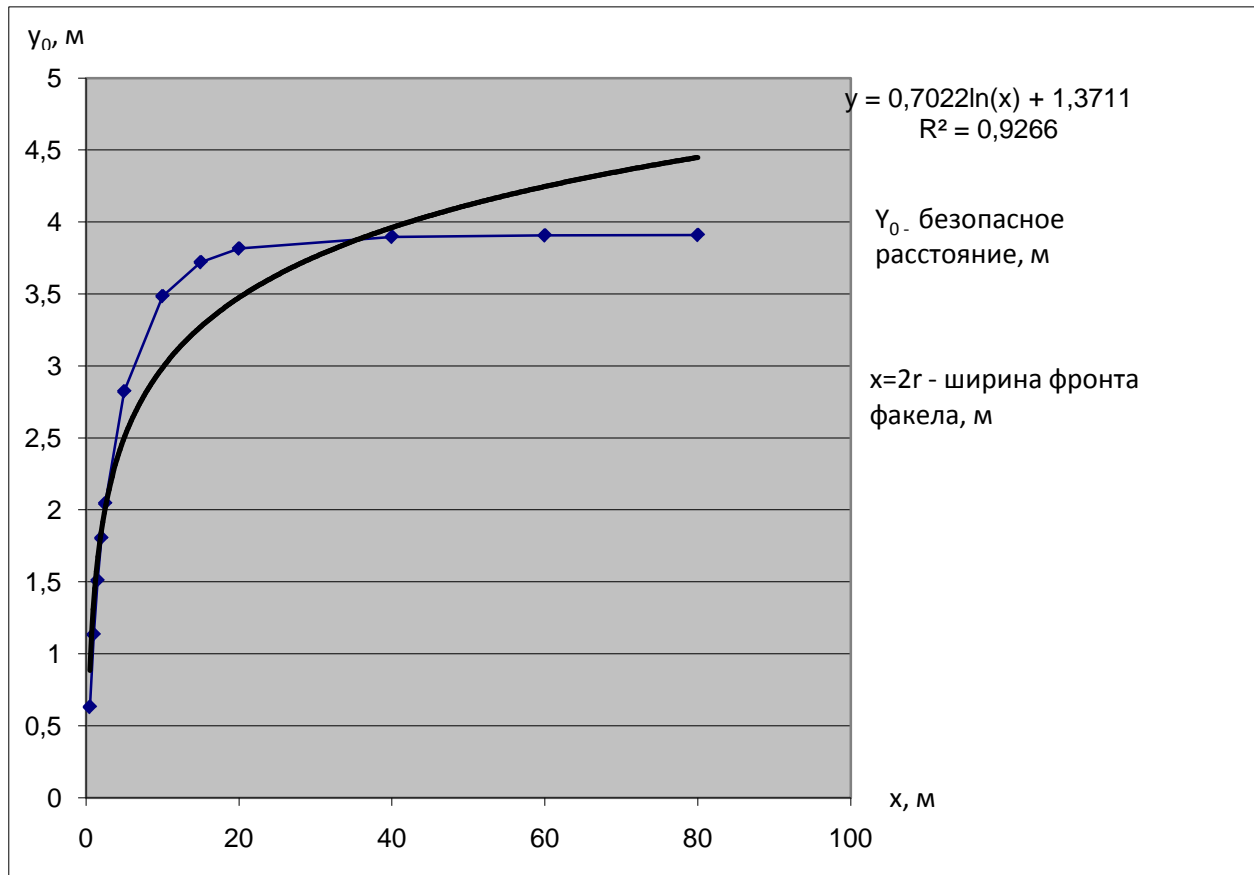


Рисунок 4 – Изменение безопасного расстояния в зависимости от фронта факела: кривая 1 (с точками) – расчетные значения; кривая 2 – аппроксимационная кривая

Анализируя изменения рис. 4 безопасного расстояния для $q = 40$ КВт/м² при $H = 3$ м; $h = 1,5$ м для различной ширины фронта пламени можно сказать, что до 5 м ширины фронта пламени безопасное расстояние меняется значительно, до 20 м несколько меньше, после 20 м безопасное расстояние практически не меняется. Это объясняется основными законами лучистого теплообмена. С учетом теоретических исследований были проведены лабораторные и полигонные испытания СТП-02.

Испытания проводились в соответствии с «Методикой полигонных испытаний персонального сигнализатора опасного уровня плотности теплового потока (СТП-02) защитной одежды пожарного» [8]. Для испытания были отобраны три СТП-02. Прибор работает в двух режимах сигнализации для каждого типа защитной одежды. Параметры срабатывания были проверены в лабораторных условиях на электрическом источнике излучения в двух режимах.

Для 1-го типа защитной одежды (защитная одежда общего назначения $q_{з.о} = 7$ КВт/м²):

- Режим «Опасно». В момент воздействия теплового потока плотностью в пределах от 5,6 до 7 кВт/м² включается импульсный звуковой сигнал (предупредительный), который продлится пока плотность излучения находится в зоне от 5,6 до 7 кВт/м².

- Режим «Покинуть зону». В момент воздействия теплового потока 7 кВт/м² и более включается непрерывный сигнал тревоги, который можно выключить, зажав одновременно в течение 5 секунд две кнопки с правой и левой стороны СТП-02. Одновременное нажатие кнопок в течение 5 секунд делает невозможным случайное отключение данного режима.

Для 2-го типа защитной одежды (теплозащитная одежда $q_{з.о} = 40$ КВт/м²):

- Режим «Опасно». В момент воздействия теплового потока плотностью в пределах от 32 до 40 кВт/м² включается импульсный сигнал (предупредительный), который продлится пока плотность излучения находится в зоне от 32 до 40 кВт/м².

- Режим «Покинуть зону». В момент воздействия теплового потока 40 кВт/м² и более включается непрерывный сигнал тревоги, который можно выключить, зажав одновременно в течение 5 секунд две кнопки с правой и левой стороны СТП-02. Одновременное зажимание кнопок в течение 5 секунд делает невозможным случайное отключение данного режима.

Мощность звукового сигнала на расстоянии 0,3 м составляет 90 дБ. Частота сигнала тревоги 2,8 +0,2 кГц. Период повторения предупредительного сигнала 1,0 с. Определены угол восприятия теплового облучения датчиком СТП-02, который для каждого прибора определяется и составляет 79-80°.

Лабораторные испытания не всегда совпадают с полигонными испытаниями. После лабораторных испытаний работоспособность СТП-02 проверили на полигоне с использованием манекена.

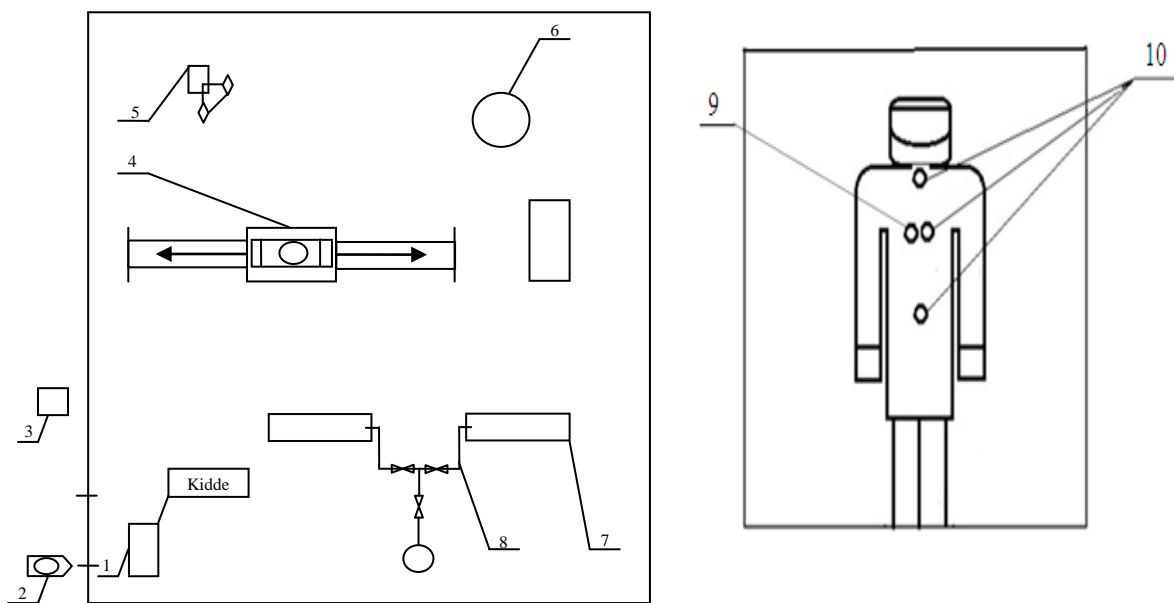


Рисунок 5 – Полигон для проверки работоспособности персонального сигнализатора опасного уровня плотности теплового потока для защитной одежды пожарного:

1 – газовая установка Kidde; 2 – пожарный автомобиль; 3 – медицинский пост; 4 – манекен, который установлен на подвижной платформе; 5 – пирометр; 6 – противень с топливом круглой формы; 7 – противень с топливом прямоугольной формы; 8 – установка для постоянной подачи топлива в противень; 9 – датчик прибора ВТП-01 для измерения плотности теплового потока; 10 – датчик плотности СТП-02

На манекен крепят четыре датчика, три из них СТП-02 (рис. 5, рис. 6). Было исследовано, что при 3 л дизельного топлива, 0,5 л бензина А-92 площади горения 0,75 м². Высота пламени находится в пределах 2-2,5 метра. Согласно нашим расчетам безопасное расстояние находится в пределах 1,18 м (при $H = 2$ м, $h = 1,5$ м) и 2,1 м (при $H = 2,5$ м, $h = 1,5$ м). Датчики закрепили согласно рис. 5 на разной высоте. Все датчики сработали при включенном I режиме в пределах 17-18 с предупредительный сигнал, 20-22 с – постоянный сигнал. В положении II-го режима в пределах 30-40 с предварительный сигнал (прибор ВТП-01 показывал 27-28 кВт/м²). Постоянный сигнал начал работать при 37-40 кВт/м² (по измерениям ВТП-01) на 42-50 с.



Рисунок 6 – Испытания теплозащитной одежды с использованием приборов ВТП -01 и СТП-02

Следующим этапом наших испытаний было использование испытателей-добровольцев (рис. 7). Предварительно проверили состояние их здоровья (давление, сердцебиение, температуру тела) и допустили к испытанию двух испытателей. Перед входением в зону высокой температуры и задымления испытатель включился в дыхательный аппарат «Dräger». На куртке защитной одежды устанавливали датчики СТП-02 по разным схемам: один датчик, два датчика, два датчика не на одной параллели. Испытатель сначала подошел к имитатору огня фирмы «Kidde». Установлен один датчик на высоте 1,5 м, прибор выставлен на второй режим. Испытатель чувствовал высокую температуру, сигнал датчика не срабатывал. Он несколько раз попытался повернуться на 10-15° в одну и в другую сторону до срабатывания сигнала. Прерывистый сигнал сработал через 110 с, опыт был прекращен. Провели три опыта с различными СТП-02 время срабатывания 115 и 112 с.

Следующий опыт провели на горении противней с одним датчиком, время срабатывания 100 с, 105 с, 102 с, $h = 1,5$ м.

Третий опыт с двумя датчиками на высоте 1,5 и 1,2 м от уровня горизонтальной поверхности полигона. Срабатывания первого датчика через 80 с в первом опыте, в других опытах 71 и 75 с.

Четвертый опыт, датчики разместили на высоте 1,20 и 1,00 м в разных параллелях. Первым сработал нижний датчик через 54 с, верхний через 71 с. В этот момент начал работать постоянный сигнал у первого СТП-02. В целях безопасности другие опыты проводили к срабатыванию предупредительного сигнала. В пяти опытах срабатывание предупредительного сигнала услышали на 58 с, 54 с, 65 с, 52 с, 69 с. В четырех случаях срабатывал нижний датчик, это подтвердило наши теоретические расчеты.

Кроме того, в рамках разработки полигона для тренировки к работе с высокими температурами в защитной одежде и психологической адаптации пожарных, проведена тренировка при горении 4-х противней, и работе газовой установки «Kidde». Испытателю поставлена задача по очереди подойти к противням, которые горят. При срабатывании предупредительного сигнала отойти на безопасное расстояние и приблизиться к следующему противню. На все эти противни и горения газового фонтана испытатель потратил 8 минут, из них 3 минуты на отработку упражнения на установке-имитаторе горения газа.



Рисунок 7 – Отработка упражнений испытателем на отдельных рабочих местах

Заключение. При размещении датчика СТП-02 на груди на высоте 1,5 м время срабатывания самое большое. Это объясняется тем, что психологически человек старается защитить уязвимые места и отворачивается от воздействия высоких тепловых потоков, высокой температуры.

В случае размещения на защитной одежде 2-х датчиков вероятность их срабатывания выше. Увеличивается угол обзора, который перекрывают два датчика. После нескольких отработок упражнений с использованием СТП-02 добровольцы быстрее ориентируются, как действовать. Лучше устанавливать два датчика не на одной параллели и на разной высоте 1-1, 2 м. При высоте пламени 3 и более метров датчики можно устанавливать и выше (до 1,5 м).

Датчики СТП-02 целесообразно размещать в тех местах, в которых спасатель меньше чувствует температуру и которые лучше защищены, и при работе дают возможность датчику находиться перпендикулярно к центру пламени.

Ни в одном из экспериментов, в котором использовался СТП-02, защитная одежда пожарного не была повреждена. Необходимо продолжить исследования по оптимальному расположению датчиков и их параллельному подключению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. Бомштейна К.Г.; Под ред. Кошмарова Ю.А. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
2. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл // Пер. с англ. Под редакцией Хрусталева Б.А. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
3. Ковалишин, Вол.В. Персональний сигналізатор небезпечного рівня густини теплового потоку для захисного одягу пожежників / Вол.В. Ковалишин, М.М. Семерак, В.В. Ковалишин // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДУ БЖД. – 2014. – № 24. – С. 62-67.
4. Мичко, А.А. Математичне моделювання теплового випромінювання для випробовування захисного одягу пожежників-рятувальників / А.А. Мичко, А.Д. Кузик, А.С. Лин // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДУ БЖД, 2009. – № 14. – С. 171-176.
5. Романенко П.Н. Теплопередача в пожарном деле / П.Н. Романенко, Н.Ф. Бубырь, М.П. Башкирцев. – М.: Высшая школа МВД СССР, 1969. – 425 с.

6. Ковалишин Вол.В. Визначення коефіцієнта безпечної роботи для різного типу захисного одягу пожежників / Вол.В. Ковалишин, А.Д. Кузик, Вас.В. Ковалишин // Вісник ЛДУ БЖД. – Львів: ЛДУ БЖД, 2014. – № 9. – С.11-17.
7. Математичне моделювання та дослідження величини теплового потоку факела пожежі / М.М. Семерак, А.М. Домінік, М.І. Мигаленко, Д.В. Руденко // Вісник ЛДУ БЖД. – 2013. – № 7. – С. 210-217.
8. Ковалишин В.В. Методика полігонних випробувань персонального сигналізатора небезпечного рівня густини теплового потоку (СТП-02) захисного одягу пожежника / В.В. Ковалишин, А.С. Лин, Вол. Ковалишин. – Львів: ЛДУ БЖД, – 2014. –14 с.