

Методика исследования пространственного распределения параметров среды и продуктов горения в жилом помещении и смежных с ним пространствах

Антошин А.А.¹, Волков С.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,
пр-т Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

²Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь

Поступила 11.10.2018

Принята к печати 12.11.2018

Статья посвящена проблеме повышения эффективности технических средств обнаружения пожара в жилых помещениях и смежных с ними пространствах. Целью настоящей работы являлась разработка методики исследования пространственного распределения продуктов горения, включая токсичные продукты удушающего и раздражающего действия как по высоте помещений стандартной квартиры в жилом доме, так и по ее площади, а также определение зависимости между контролируемой пожарной сигнализацией параметрами окружающей среды в жилых помещениях и опасными факторами пожара.

Предложенная методика предусматривает измерение концентрации основных газообразных продуктов сгорания (удушающих и раздражающих), образующихся при горении материалов характерных для жилых помещений. Дано обоснование мест расположения средств измерения в помещении, где возник пожар, и в смежных с ним пространствах, учитывающие наиболее вероятное положение человека как во время эвакуации, так и во время отдыха. Показано влияние стадии пожара на величину потока оптического излучения, рассеянного дымом.

Полученные результаты позволят разработать методику испытаний пожарных извещателей, предназначенных для защиты жилых помещений и находящихся в них людей, сформулировать критерии эффективности функционирования (алгоритмы работы) извещателей, используемых для защиты жилых помещений.

Ключевые слова: извещатель пожарный, жилое помещение, токсичные газы, продукты горения, опасные факторы пожара.

DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

Адрес для переписки:

Волков С.А.
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь
e-mail: volkovsa@tut.by

Address for correspondence:

Volkau S.A.
Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus
Soltysa str., 183a, Minsk 220046, Belarus
e-mail: volkovsa@tut.by

Для цитирования:

Антошин А.А., Волков С.А.
Методика исследования пространственного распределения параметров среды и продуктов горения в жилом помещении и смежных с ним пространствах.
Приборы и методы измерений.
2018. – Т. 9, № 4. – С. 347–358.
DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

For citation:

Antoshyn A.A., Volkau S.A.
[Experimental Test Procedure of the Spatial Distribution of Environmental Parameters and Products of Combustion in a Residential Area and Adjacent Spaces].
Devices and Methods of Measurements.
2018, vol. 9, no. 4, pp. 347–358 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

Experimental Test Procedure of the Spatial Distribution of Environmental Parameters and Products of Combustion in a Residential Area and Adjacent Spaces

Antoshyn A.A.¹, Volkau S.A.²

¹Belarusian National Technical University,
Nezavisimosty Ave., 65, Minsk 220013, Belarus

²Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus
Soltysa str., 183a, Minsk 220046, Belarus

Received 11.10.2018

Accepted for publication 12.11.2018

Abstract

This article is dedicated to the issue of efficiency increase of fire detection equipment in living accommodation and adjacent spaces. This research is intended to develop the testing methodology for spatial pattern of combustion products, including toxic gases with asphyxiant and irritant effects, in both height and area of rooms in a standard apartment building, as well as correlation identification between controlled by fire alarm parameters of environment in living rooms and dangerous fire factors.

Proposed methodology includes the concentration measurement of the basic gaseous combustion products (asphyxiant and irritant), generated in the process of materials burning in living accommodation. Justification of measurement facilities location in the fire scene and adjacent spaces is provided, considering the most likely position of a person during the evacuation and leisure time. The impact of fire stage on the flow rate of optical radiation diffused by smoke is shown.

The findings will enable to develop the testing methodology for fire detectors designed to protect living accommodations and people located in them, formulate the functioning effectiveness criteria (operation algorithms) for detectors, used in living accommodations.

Keywords: fire detector, living room, toxic gases, combustion gases, dangerous fire factors.

DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

Адрес для переписки:

Волков С.А.
Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь
ул. Солтыса, 183а, г. Минск 220046, Беларусь
e-mail: volkovsa@tut.by

Address for correspondence:

Volkau S.A.
Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus
Soltysa str., 183a, Minsk 220046, Belarus
e-mail: volkovsa@tut.by

Для цитирования:

Антошин А.А., Волков С.А.
Методика исследования пространственного распределения параметров среды и продуктов горения в жилом помещении и смежных с ним пространствах.
Приборы и методы измерений.
2018. – Т. 9, № 4. – С. 347–358.
DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

For citation:

Antoshyn A.A., Volkau S.A.
[Experimental Test Procedure of the Spatial Distribution of Environmental Parameters and Products of Combustion in a Residential Area and Adjacent Spaces].
Devices and Methods of Measurements.
2018, vol. 9, no. 4, pp. 347–358 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-4-347-358

Введение

Согласно статистическим данным, основную часть пожаров составляют пожары в жилом секторе [1]. Для обнаружения пожара в жилых помещениях наиболее часто используют автономные дымовые пожарные извещатели (принимают решение о пожаре по величине потока ИК излучения рассеянного на частицах дыма). Также имеются пожарные извещатели с более широким набором принципов его обнаружения [2, 3]: ионизационные, тепловые максимальные и тепловые дифференциальные, газовые, дымовые точечные и комбинированные. Многие из этих извещателей определяют значения физических величин, факторов пожара, которые в ряде случаев не являются опасными. Поэтому для прогнозирования возникновения опасности на основе информации, получаемой от пожарных извещателей, необходимо знать, как связаны между собой параметры окружающей среды, контролируемые пожарными извещателями, и опасные факторы пожара, воздействующие на людей и материальные ценности в условиях разных типов пожара в помещении.

Попытка установить связь между факторами пожара и опасными факторами пожара предпринимались в работах [3, 4], где авторы стремились установить связь между удельной оптической плотностью окружающей среды, чувствительностью точечных дымовых пожарных извещателей, оптико-электронных и ионизационных, и относительной эффективной дозой, характеризующей воздействие на человека вдыхаемых им токсичных газов, образующихся при горении содержащей пенополиуретан мебели. В работе [4] в условиях тестового пожара контролировались угарный газ, углекислый газ и цианистый водород.

Важными для эффективной работы системы пожарной сигнализации являются критерии, лежащие в основе обоснования значений параметров окружающей среды, при достижении которых формируется сигнал пожар. Проблеме определения таких критериев посвящена работа [4], где определяются критерии для формирования сигнала «пожар» исходя из допустимых для человека значений опасных факторов пожара. В качестве таких границ для оценки воздействия теплоты и угарного газа предлагается использовать величину относительной эффективной дозы. Она не должна превышать 0,3. Кроме того, для определения критерия формирования сигнала «пожар» используют соотношение между

требуемым и необходимым временем эвакуации в условиях пожара. В качестве фактора пожара, вызывающего формирование сигнала «пожар», в рассматриваемых случаях бралось значение оптической плотности задымленной среды при пламенном горении или тлении пенополиуретана.

Большое значение для обоснованности требований к пожарным извещателям для жилых помещений имеет скорость развития обнаруживаемого ими пожара. Именно с этой целью в работах [3, 5] рассматривалась динамика изменения опасных факторов пожара при горении современной мебели, основным компонентом которой является пенополиуретан. В работе [6] исследовалась динамика распределения температуры в горящем и смежном помещениях, не оборудованных системой дымоудаления.

В работе [7] сделана попытка сопоставить условия, которые создают при испытании пожарных извещателей в испытательном канале с характеристиками окружающей среды в условиях реального пожара. Сравнивалось изменение оптической плотности, температуры и концентрации углекислого и угарного газов в испытательном канале (*FE/DE*) при тлеющем или пламенном сжигании пенополиуретана и в полномасштабном эксперименте. Авторы показали, что в испытательном канале при выполнении необходимых требований можно воспроизвести условия реального пожара.

Следует также отметить, что сегодня на рынке пожарной автоматики появляются новые типы пожарных извещателей, например мультикритериальные, позволяющие принимать решение о пожаре из сравнения значений и характера изменения во времени разных параметров окружающей среды (температура, концентрация продуктов горения и др.). Тем не менее существующие методики испытаний извещателей оценивают их эффективность лишь по одному из показателей и не позволяют определить эффективность пожарного извещателя в реальной обстановке при пожаре в жилых помещениях.

Особенности воздействия на человека образующихся при пожаре газообразных токсичных веществ рассматривались в работах [8, 9] и ISO 1357¹.

¹Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data: ISO 13571:2012. – Availability. 15.09.2012. – ISO/TC 92/SC 3, 2012. – 28 p.

Согласно этому документу опасными для человека являются не только удушающие газы (угарный газ, цианистый водород и т.п.), но и раздражающие газы (хлористый водород, двуокись серы, двуокись азота, акролеин, формальдегид и др.). Состав газообразных продуктов, образующихся при термическом разложении пенополиуретана и некоторых других полимеров, изучался в работе [10], где было установлено, что при термическом разложении практически всех исследованных групп полимерных материалов (9 групп), помимо оксидов углерода, в среде содержатся оксиды азота, акролеин и формальдегид. Для некоторых групп материалов были выявлены оксиды серы и галогеноводороды. В случае пенополиуретана имеет место большой выход хлористого водорода. Следует отметить, что эти результаты получены в лабораторных условиях и не в полной мере отражают ситуацию реального пожара в помещении.

В работах [3, 5] условия проведения исследований наиболее полно соответствовали реальным в жилом помещении. Исследовано горение различных материалов и предметов интерьера, изучены распределение по высоте температуры, оптической плотности среды и концентрации угарного, углекислого газов как в горящем помещении, так и на путях эвакуации. В одном из тестов в небольшом количестве обнаружена синильная кислота. Однако следует отметить, что исследования были направлены в основном на определение эффективности различных типов пожарных извещателей, определялось время их реагирования при горении различных видов пожарной нагрузки в зависимости от их расположения. Исследование распределения токсичных газов и других параметров среды (например, температуры) по площади помещения с очагом пожара и смежных с ним пространствах не проводилось.

Анализ исследований показывает, что до сих пор остается недостаточно исследованным распределение продуктов горения (включая токсичные удушающие и особенно раздражающие газы) в жилых помещениях и смежных с ними пространствах как в горизонтальной плоскости, так и по высоте помещения. Важным является изучение распределения токсичных продуктов сгорания не только на путях эвакуации, но и в местах возгорания, так как, по статистике, наибольшее количество пожаров в жилом

секторе происходит именно в зоне отдыха человека. Не установлены взаимосвязи между опасными факторами пожара и параметрами среды в помещении при пожаре.

Целью настоящей работы являлась разработка методики исследования распределения продуктов горения, включая токсичные продукты удушающего и раздражающего действия как по высоте помещений стандартной квартиры в жилом доме, так и по ее площади, а также определение связи параметров окружающей среды в жилых помещениях и смежных с ними пространствах с опасными факторами пожара, что позволит определить требования к пожарным извещателям и тестовым пожарам при проведении их испытаний.

Методика эксперимента

Исследование распределения продуктов горения в помещении при пожаре в условиях, максимально приближенных к реальным [3, 5], означает проведение исследований в жилом помещении с типовой планировкой и инженерно-техническим оснащением (вентиляцией). Типовое жилище, как правило, имеет одну или несколько жилых комнат, имеющих выход в смежные помещения (коридор, прихожая и т.п.), кухню, санузел и оборудовано естественной вентиляцией на кухне и в санузлах. Примером такого помещения может служить однокомнатная/двухкомнатная квартира с отдельной кухней, объединенные между собой прихожей (рисунок 1). Материал стен – железобетонные панели, газосиликатные блоки, кирпич или дерево. Высота потолка – 2,5–3,0 м. На рисунке 1 указаны примерные размеры помещений. Вход в жилое помещение и кухню осуществляется через дверные проемы размерам $2,0 \times 0,9$ м.

В качестве горючего для тестовых пожаров в жилой (спальной) комнате предложен макет мягкой мебели, с помощью которого можно моделировать как пламенное горение, так и тление мягкой мебели. Макет мягкой мебели представляет собой две пластины пенополиуретана плотностью 28 кг/м^3 размером $50 \times 50 \times 10$ см в чехлах из хлопчатобумажной ткани (для имитации тлеющего пожара) или синтетической ткани (для имитации пламенного пожара), расположенные под углом 90° друг к другу и образующие конструкцию Г-образной формы. Макет размещается на высоте $0,4\text{--}0,5$ м от пола.

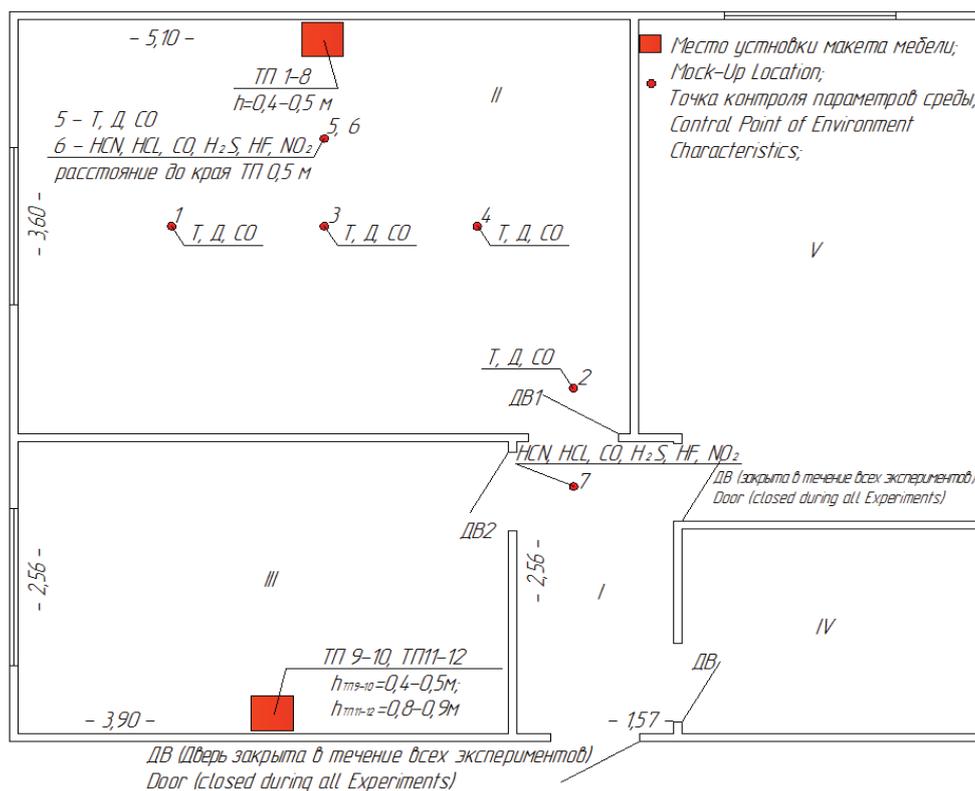


Рисунок 1 – План квартиры с указанием мест контроля параметров среды: 1–7 – точки размещения средств измерения; T – датчик измерения температуры; Д – датчик измерения оптической плотности среды; CO – датчик измерения угарного газа; ТП – тестовый пожар; HCN, HCl, CO, H₂S, HF, NO₂ – датчик измерения HCN, HCl, CO, H₂S, HF, NO₂ соответственно; I – прихожая (4,02 м²); II – жилая комната (18,36 м²); III – кухня (9,98 м²); IV – ванная комната (4,10 м²); V – жилая комната (10,05 м²)

Figure 1 – Plan of the apartment with the points of control of the environmental parameters: 1–7 – measuring points; T – thermocouple; Д – smoke detector (optical density detector); CO – carbonmonoxide sensor; ТП – experimental configuration; HCN, HCl, CO, H₂S, HF, NO₂ – sensors of HCN, HCl, CO, H₂S, HF, NO₂ respectively; I – hallway (4,02 м²); II – living room (18,36 м²); III – kitchen (9,98 м²); IV – bathroom (4,10 м²); V – living room (10,05 м²)

Материал для чехла выбирался с учетом применимости его в качестве обивки при изготовлении мебели и способности поддерживать процесс тления/горения. Известно, что при воздействии тлеющей сигареты на материалы из искусственных волокон и шерсти воспламенения и распространения тления не происходит, образующаяся при этом корка нагара препятствует поддержанию процесса тления. Материалы, состоящие из волокон хлопка и льна, при тлении выделяют достаточное количество тепловой энергии для поддержания и как результат распространения тления по поверхности на значительное расстояние. При образовании достаточно большой концентрации газообразных горючих продуктов горения и их нагреве возможно самовоспламенение.

В качестве источников зажигания предлагается использовать тлеющую сигарету

(для тлеющего пожара) и газовую горелку (для пламенного пожара)². Сигарета, используемая в качестве малокалорийного источника зажигания, должна иметь следующие характеристики (без учета фильтра): длину (60 ± 5) мм; диаметр (8,0 ± 0,5) мм; массу (1,0 ± 0,1) г. Время тления части сигареты длиной 50 мм должно составлять (12 ± 3) мин.

²Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость: ГОСТ Р 53294-2009. – Введ. 01.05.2009. – М. : Стандартинформ, 2009. – 18 с.

Furniture – Assessment of the ignitability of upholstered furniture – Part 1: Ignition source smouldering cigarette: EN 1021-1:2014. – Availability. 13.08.2014. – CEN/TC 207, 2014. – 22 p.

Furniture – Assessment of the ignitability of upholstered furniture – Part 2: Ignition source match flame equivalent: EN 1021-2:2014. – Availability. 13.08.2014. – CEN/TC 207, 2014. – 24 p.

Для определения времени тления делают метки на сигарете на расстоянии 5 и 55 мм от зажигаемого конца. Зажигают сигарету и пропускают через нее воздух до установления тления. На данную операцию следует использовать от 5 до 8 мм длины сигареты. Затем нанизывают сигарету на острие горизонтально расположенной проволоки на расстоянии 13 мм от незажженного конца. После достижения границей тления отметки 55 мм сигарета удаляется. Сигарета должна размещаться на макете таким образом, чтобы тлеющий конец сигареты находился на расстоянии не менее 100 мм от края образца, при этом сигарета должна располагаться в стыке пенополиуретановых пластин.

Пламенное горение пенополиуретановых пластин инициировалось при помощи газовой горелки, которая представляет собой трубку, изготовленную из нержавеющей стали с внутренним диаметром $(6,5 \pm 0,1)$ мм и длиной не менее 200 мм. Газовая горелка подсоединяется гибким шлангом через вентиль и устройство для измерения расхода газа к баллону с пропан-бутановой смесью. Длина гибкого шланга от 2,5 до 3,0 м. Расход газа составляет $44 \text{ см}^3/\text{с}$. В таких условиях пламя горелки подобно пламени спички длиной около 4 см. Газовая горелка размещается на макете таким образом, чтобы трубка газовой горелки проходила горизонтально и соприкасалась с поверхностью образца без нажима. Пламя горелки должно находиться в стыке пенополиуретановых пластин на расстоянии не менее 100 мм от края образца. Время воздействия пламени газовой горелки на образец составляет (15 ± 1) с.

Исходя из возможных вариантов возникновения и развития пожара в жилом помещении, исследованы 12 сценариев развития пожара, называемых далее тестовыми пожарами (от ТП-1 до ТП-12). Тестовые пожары характеризуются местом расположения очага, типом горения горючего (пламенное или тление), особенностями естественной вентиляции (дверь открыта/закрыта), расположением средств измерения в помещениях. Средства измерения располагаются в различных местах (точках) помещения в зависимости от цели эксперимента (исследование динамики продуктов горения в горизонтальной и вертикальной плоскостях помещения, распространение продуктов горения в смежные помещения).

Расположение средств измерений показано на рисунке 1. В таблице 1 приводятся данные, характеризующие тестовые пожары.

В точках с первой по четвертую средства измерения температуры, концентрации угарного газа и потока оптического излучения, рассеянного дымом устанавливаются у потолка на высоте $(2,5-3,0)$ м и на высоте 0,5 м от пола, что соответствует положению пожарного извещателя и головы спящего человека (тестовые пожары ТП-1 и ТП-2). Расположение средств измерения вблизи двери, окна, середины комнаты и глухой стены позволяет получить распределение измеряемых параметров в горизонтальной плоскости на разных высотах. Вертикальное распределение температуры, концентрации угарного газа и потока оптического излучения, рассеянного дымом исследуется в точках 1, 2, 4 и 5 при размещении средств измерений вблизи потолка и на высотах 2,0; 1,5 и 0,5 м (тестовые пожары ТП-3 и ТП-4). Распределение продуктов горения в смежные пространства (коридор, смежная комната) с учетом наличия сообщения между ними (двери открыты/закрыты) исследуются в тестовых пожарах от ТП-5 до ТП-12. В шестой и седьмой точках измеряется концентрация удушающих и раздражающих токсичных газов. На высоте 0,5 м (положение головы спящего человека) измеряется концентрация удушающего газа, а на высоте 1,5 м (положение головы человека, стоящего в полный рост) – концентрация раздражающего газа. Обусловлено это тем, что удушающий газ наиболее опасен для спящего человека, а раздражающий препятствует его безопасной эвакуации.

Оборудование и средства измерения

Для измерения температуры газовой среды и интенсивности рассеянного дымом оптического излучения применяются термодатчики С2000-ИП-03 и дымовые датчики ДИП-34А-04. Датчики входят в состав адресно-аналоговой измерительной системы, содержащей устройства С2000-КДЛ и АРМ «Орион Про», производства НПВ «Болид». Такие измерительные системы позволяют выполнять измерение температуры в градусах Цельсия и величины рассеянного дымом потока оптического излучения не реже одного раза в секунду.

Таблица 1/ Table 1

Тестовые пожары
Experimental configurations

Тестовый пожар Experimental configurations	Тип горения топлива Scenario	Сжигаемое топливо Mock-up	Источник зажигания Ignition	Расположение очага пожара Mock-up location	Вентиляция (Doors)	Номера и высоты расположения точек контроля Numbers and heights of the control points locations
ТП1	Тлеющий Smoldering	Макет мебели 1 Mock-up 1	Сигарета Cigarette	Жилая комната Living room	ДВ1 закрыта Door 1 closed	№ 1–4, 6 $h_{1-4} - 2,5^*$ и 0,5 м $h_6 - 0,5$ м
ТП2	Пламенной Flaming	Макет мебели 2 Mock-up 2	Газовая горелка Gas-light			
ТП3	Тлеющий Smoldering	Макет мебели 1 Mock-up 1	Сигарета Cigarette	Жилая комната Living room	ДВ1 закрыта Door 1 closed	№ 1, 4, 6 $h_{1,4} - 2,5^*$; 2,0; 1,5 и 0,5 м $h_6 - 1,5$ м
ТП4	Пламенной Flaming	Макет мебели 2 Mock-up 2	Газовая горелка Gas-light			
ТП5	Тлеющий Smoldering	Макет мебели 1 Mock-up 1	Сигарета Cigarette	Жилая комната Living room	ДВ1 закрыта Door 1 closed	№ 2, 5, 7 $h_{2,5} - 2,5^*$; 2,0; 1,5 и 0,5 м $h_7 - 1,5$ м
ТП6	Пламенной Flaming	Макет мебели 2 Mock-up 2	Газовая горелка Gas-light			
ТП7	Тлеющий Smoldering	Макет мебели 1 Mock-up 1	Сигарета Cigarette	Жилая комната Living room	ДВ1 открыта Door 1 open	№ 2, 5, 7 $h_{2,5} - 2,5^*$; 2,0; 1,5 и 0,5 м $h_7 - 1,5$ м
ТП8	Пламенной Flaming	Макет мебели 2 Mock-up 2	Газовая горелка Gas-light			
ТП9	Тлеющий Smoldering	Макет мебели 1 Mock-up 1	Сигарета Cigarette	Кухня Kitchen	ДВ1 и ДВ2 открыты Doors 1, 2 open	№ 2, 5, 6 $h_{2,5} - 2,5^*$; 2,0; 1,5 и 0,5 м $h_6 - 0,5$ м
ТП10	Пламенной Flaming	Макет мебели 2 Mock-up 2	Газовая горелка Gas-light			
ТП11	Тлеющий Smoldering	Хлеб Bread	Электроплитка Electric	Кухня Kitchen	ДВ1 и ДВ2 открыты Doors 1, 2 open	№ 2, 5, 6 $h_{2,5} - 2,5^*$; 2,0; 1,5 и 0,5 м $h_6 - 0,5$ м
ТП12	Пламенной Flaming	Масло Butter	Stove			

* точка размещения средств измерения приведена для помещения с высотой потолка 2,5 м.

* – control point location is stated for the accommodation with the height of 2,5 m.

Результаты измерения интенсивности рассеянного дымом оптического излучения даются в единицах с размерностью децибел деленный на метр (дБ/м*) и соответствуют удельной оптической плотности среды в измерительной камере наполненной дымом, образованным при горении древесины. Калибровка измерительной системы выполнялась производителем в стандартном испытательном дымовом канале.

Дым, образующийся при тлении макета мебели, содержащего пенополиуретан с синтетической или хлопчатобумажной тканью, имеет не только другой цвет (черный), но и формируется в условиях, которые отличаются от лабораторных. Для установления соотношения между значениями удельной оптической плотности газовой среды, содержащей дым, образующийся при горении пенополиуретана

совместно с тканью и соответствующими показаниями адресно-аналоговой измерительной системы (калибровка адресно-аналоговой измерительной системы), использовалась установка, моделирующая пожары в начальной стадии развития [11].

Размещение измерительной системы контроля температуры и оптических характеристик среды в помещении при калибровке показано на рисунке 2.

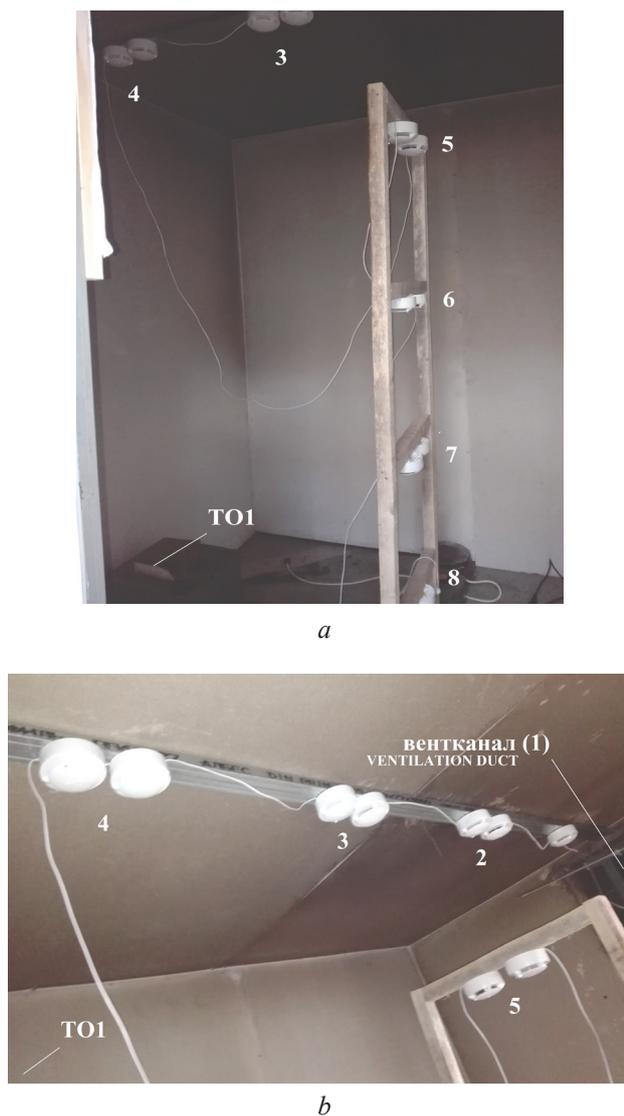


Рисунок 2 – Размещение измерительной системы контроля температуры и оптических характеристик среды при калибровке по вертикали (а) и горизонтали (b): 1–8 – точки размещения средств измерений; TO1 – тестовый очаг

Figure 2 – Placement of a measuring system for monitoring the temperature and optical characteristics of environment during calibration horizontally (a) and vertically (b): 1–8 – measuring points; TO1 – mock-up

В ходе калибровки используемый тестовый пожар проходил три стадии: начальную, развитого пожара и затухание. В соответствии с этим оптическая плотность газовой среды вначале нарастала, а после достижения максимального значения уменьшалась. Полученные соотношения между оптической плотностью среды и показаниями адресно-аналоговой измерительной системы с датчиком ДИП-34А-04, диаграммы калибровки, приведены на рисунках 3 и 4. Приведенные диаграммы калибровки показывают соотношение между показаниями измерительной системы в дБ/м³ и удельной оптической плотностью газовой среды, содержащей дым, образованный при горении пенополиуретана с тканью при увеличении плотности дыма и при его уменьшении в окружающей среде. Ширина полосы, в которой находятся измеренные значения³, дает инструментальную неопределенность, которая не превышает 0,15 дБ/м в диапазоне значений удельной оптической плотности от 0,05 дБ/м до 0,80 дБ/м в начале тестового пожара (первые 200 с пожара).

После выгорания горючего концентрация дыма постепенно уменьшалась и показания измерительной системы (рисунок 4) уменьшались от 2,5 дБ/м³ до 0,10 дБ/м³, соответствующим значениям удельной оптической плотности от 0,35 дБ/м до 0,05 дБ/м в интервале времени от 1033 до 1303 с. Пламенное горение пожара наблюдалось до 600 с.

Из представленных результатов видно, что в начале пламенного горения тестового пожара для формирования максимального выходного сигнала требуется создание большего значения удельной оптической плотности среды (0,7 дБ/м), чем при его затухании (0,35 дБ/м). Сделанный вывод подтверждается результатами исследования динамики изменения рассеивающей способности дыма и удельной оптической плотности среды в измерительном канале при горении макета мягкой мебели, полученными авторами ранее (рисунок 5).

³Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения: РМГ29–2013. – Введ. 01.01.2015. – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 56 с.

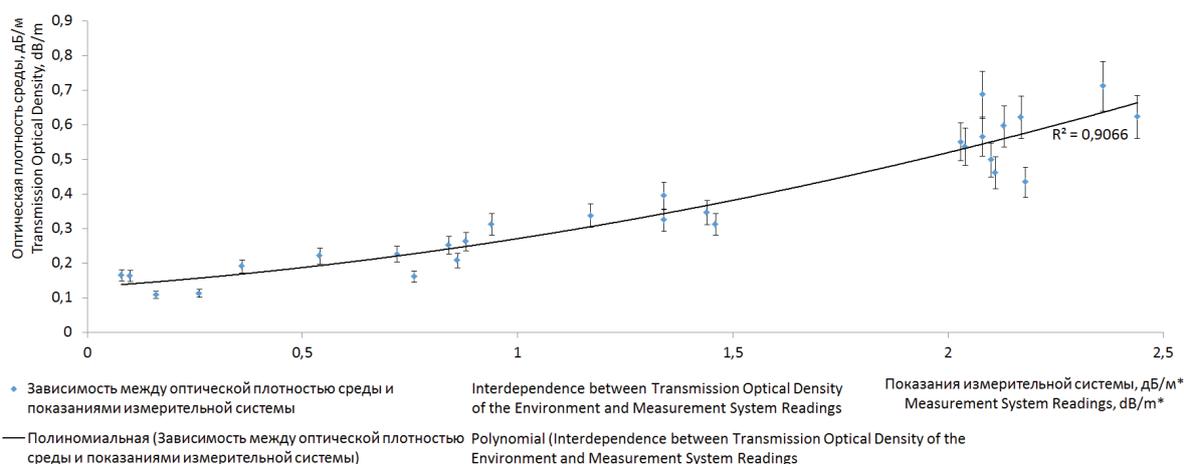


Рисунок 3 – Соотношение между оптической плотностью среды и показаниями адресно-аналоговой измерительной системы при нарастании оптической плотности среды

Figure 3 – Interdependence between transmission optical density of the environment and measurement system readings (when the optical density of the environment increases)

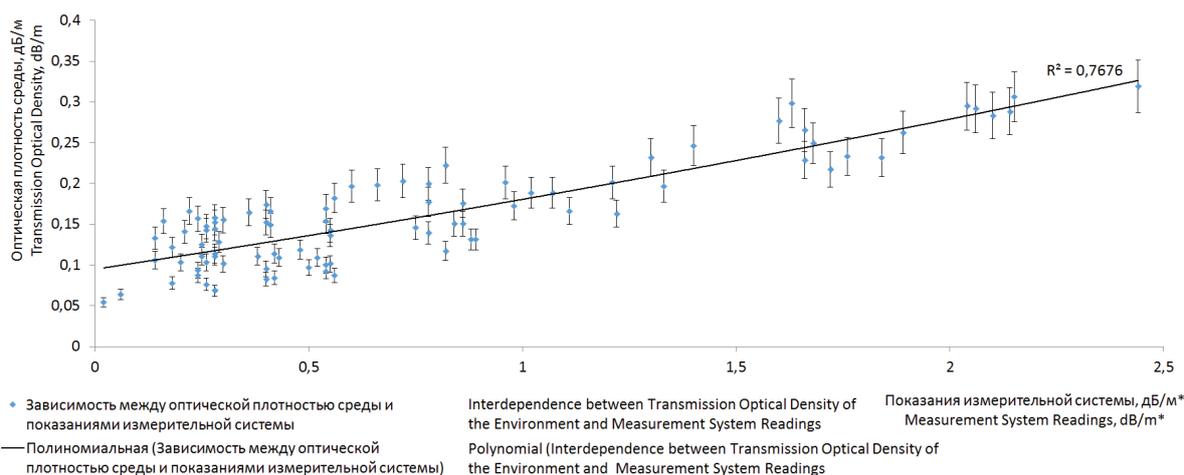


Рисунок 4 – Соотношение между оптической плотностью среды и показаниями адресно-аналоговой измерительной системы при снижении оптической плотности среды

Figure 4 – Interdependence between transmission optical density of the environment and measurement system reading (when the optical density of environment decreases)

Из представленных на рисунке 5 результатов видно, что рассеивающая способность дыма при пламенном горении, например, на сотой секунде, меньше, чем после прекращения пламенного горения на 250 с; удельная оптическая плотность в первом и во втором случае составляла 1,2 дБ/м, а рассеянный поток оптического излучения соответственно равнялся 10 отн. ед. и более 12 отн. ед. Меньшая рассеивающая способность дыма при пламенном горении связана с образованием более мелких частиц при доста-

точном количестве кислорода и высокой температуре в области пламени.

Использованная для измерения температуры газовой среды измерительная система в составе С2000-КДЛ, АРМ «Орион Про» и адресно-аналоговых тепловых датчиков С2000-ИП позволяет измерять температуру в диапазоне от минус 30 до плюс 65 °С с точностью ±1,5 °С. На рисунке 6 приведены полученные при калибровке измерительной системы результаты измерения температуры в испытательной камере размерами

3 × 3 × 2,5 м при горении макета мягкой мебели. Замеры производились в 8 точках и сравнивались с показаниями термоэлектрических преобразователей, подключенных к измерителю-регулятору «Сосна-004». Точки 1–4 располагались под по-

толком по центру помещения. Точки 5–8 размещались по центру помещения на высотах 2,5; 1,5; 1 и 0,5 м (рисунок 2). Результаты измерения температуры в точках 1, 3, 4, 6 приведены на рисунке 6.

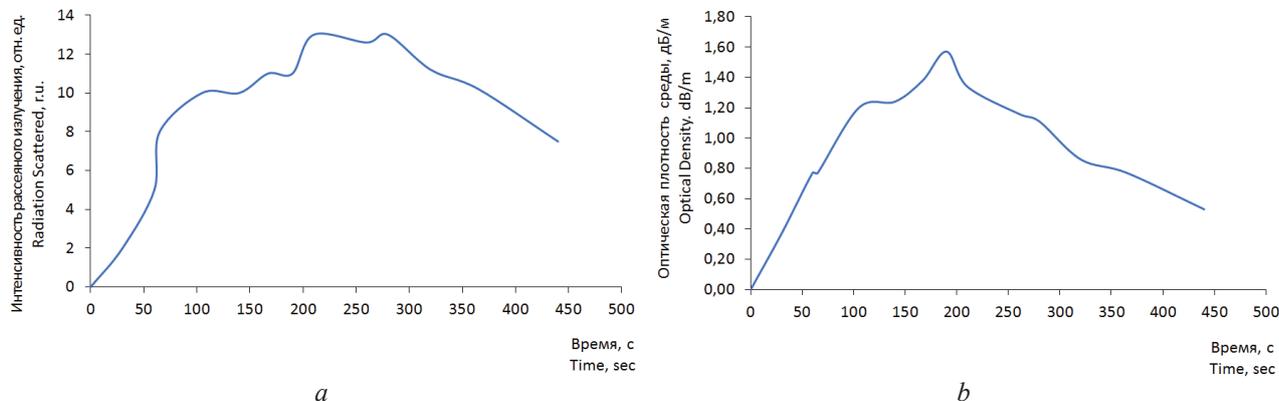


Рисунок 5 – Изменение во времени интенсивности рассеянного излучения (а) и удельной оптической плотности среды (б) при горении макета мягкой мебели в точке 1 (рисунок 2)

Figure 5 – The intensity of the radiation scattered (a) and the optical density (b) variations in time during burning of the furniture mock-up at point 1 (Figure 2)

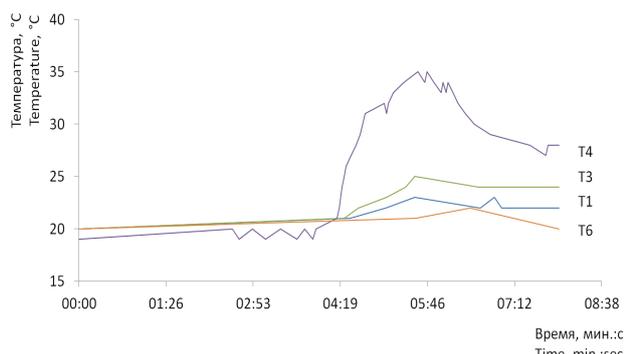


Рисунок 6 – Изменение температуры во времени в помещении при пламенном горении макета мягкой мебели (точки 1, 3, 4, 6; рисунок 2)

Figure 6 – Temperature dynamic in the room with a burning upholstered furniture mock-up (points 1, 3, 4, 6; Figure 2)

Распределение концентрации угарного газа по вертикали и по горизонтали определяется в восьми точках с помощью анализатора угарного газа А-СО-8. Кроме того, в двух точках помещения с очагом пожара, а также в смежном пространстве измеряется концентрация комплекса токсичных веществ CO, HCl, HCN, HF, NO₂, H₂S, SO₂. Для этих целей используются газоанализаторы «АНКАТ-7664 Микро-26», Testo 320, MSA Altair 5X, ОКА-Т и Multilyzer-NG. Все газоанализаторы внесены в государственный

реестр средств измерений и имеют аттестаты о поверке.

Принцип действия используемых газоанализаторов основывается на электрохимическом методе определений массовых концентраций токсичных веществ в газовой среде. В качестве чувствительного элемента в газоанализаторах используется электрохимический сенсор (ячейка). Контролируемый газ через фильтр, выполняющий функцию селективного фильтра, и гидрофобную мембрану диффундирует на измерительный электрод, выполненный из одного из благородных металлов (платина, золото, палладий либо другого драгметалла). Высвобождающиеся при этом электроны проходят через электролит и эталонный электрод и формируют во внешней цепи сигнал постоянного тока. Величина этого сигнала прямо пропорциональна концентрации детектируемого газа.

Закключение

Предложена методика исследования параметров среды при пожаре в жилых помещениях и смежных с ними пространствах, позволяющая установить связь между характеристиками окружающей среды и опасными факторами пожара для определения величин, контроль которых позволит обеспечить условия для безопасной

эвакуации людей. Разработанная методика предусматривает определение основных продуктов сгорания (удушающих и раздражающих), образующихся при горении материалов, характерных для жилых помещений в местах, где их воздействие на человека представляет наибольшую опасность. Содержание в газовой среде образующихся при пожаре раздражающих газов (HCl , HCN , HF , NO_2 , H_2S , SO_2) предусматривается в точках пространства, определяющих положение органов дыхания человека, лежащего на кровати и стоящего в полный рост. Пространственное распределение наиболее опасного удушающего газа (угарного) исследуется как по вертикали, так и по горизонтали с помощью разработанной системы контроля угарного газа А-СО-8 с применением электрохимических датчиков, обладающих селективностью по отношению к угарному газу.

Предложенные в методике варианты макетов мебели и стандартизированных источников зажигания позволяют воспроизвести начальную стадию пожара, характерную для пожаров в жилье. Предложенная методика позволит изучать не только динамику изменения параметров окружающей среды в горизонтальной и вертикальной плоскостях в помещении, где произошел пожар, но и распределение продуктов горения в смежных пространствах.

Создана измерительная система на основе адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации «Орион», производства НПВ «Болид», позволяющая получить распределение в пространстве (по горизонтали и по вертикали) свойства дыма рассеивать ИК излучение с оценкой соответствующего значения удельной оптической плотности газовой среды и значения температуры окружающей среды до $+65\text{ }^\circ\text{C}$ с точностью $\pm 1,5\text{ }^\circ\text{C}$. Измерения выполняются в среде с удельной оптической плотностью от 0,05 дБ/м. до 0,80 дБ/м, содержащей дым при пламенном горении пенополиуретана, а при его тлении удельная оптическая плотность может изменяться от 0,05 дБ/м до 0,35 дБ/м. Показано, что свойство дыма рассеивать ИК излучение зависит от условий его образования.

Полученные результаты позволяют разработать методику испытаний пожарных извещателей, предназначенных для защиты жилых помещений и находящихся в них людей, сформулировать критерии эффективности функционирования

(алгоритмы работы) извещателей, используемых для защиты жилых помещений.

Список использованных источников

1. Дробыш, Д.В. Проблемы эффективного применения автономных пожарных извещателей / Д.В. Дробыш, Д.Л. Есипович, А.А. Антошин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – № 2(28). – С. 55–64.
2. National Fire Alarm Code. Handbook / Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E., FSFPE. – National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2004. – 680 p.
3. Bukowski, R.W. Performance of Home Smoke Alarms. Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings / R.W. Bukowski [et al.] // NIST Technical Note 1455-1. – 2008. – 265 p.
4. Cleary, T.G. Improving Smoke Alarm Performance – Justification for New Smoldering and Flaming Test Performance Criteria / T.G. Cleary // NIST Technical Note 1837. – 2014. – 27 p.
5. Cleary, T.G. Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study / T.G. Cleary // Fire Technology. – 2014. – Vol. 50. – Is. 3. – P. 775–790. DOI: 10.1007/s10694-010-0152-2
6. Осяев, В.А. Динамика температуры в горящем и смежном помещениях и определение времени достижения ее опасного значения / В.А. Осяев. – Минск : КИИ МЧС Беларуси, 2015. – 114 с.
7. Cleary, T.G. A Test Methodology for Multiple Sensor – Multiple Criteria Alarms / T.G. Cleary // 13th International Conference on Automatic Fire Detection AUBE '04. – Germany : University of Duisburg, 2004.
8. Пузач, С.В. Оценка опасности акролеина, синильной и соляной кислоты при пожаре / С.В. Пузач [и др.] // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2009. – № 1(9). – С. 71–75.
9. Пузач, С.В. Роль динамики опасных факторов пожара в патогенезе отравления человека на пожаре / С.В. Пузач [и др.] // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2010. – № 1(11). – С. 4–10.
10. Свирщевский, С.Ф. Определение состава газовой фазы, образующейся при термическом разложении полимерных материалов / С.Ф. Свирщевский [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – № 8, т. 79. – С. 12–16.
11. Зуйков, И.Е. Установка, моделирующая пожары в начальной стадии развития / И.Е. Зуйков // Достижения физики неразрушающего контроля и технической диагностики : сб. науч. тр. / под ред. Н.П. Мигуна. – Минск : Институт прикладной физики НАН Беларуси, 2011. – С. 197–202.

References

1. Drobysh D.V., Esipovich D.L., Antoshyn A.A. [The problems of effective self-contained smoke detectors usage]. *Emergency situations: prevention and elimination*, 2010, no. 2(28), pp. 55–64 (in Russian).
2. National Fire Alarm Code. Handbook. Fourth edition. Edited by Lee F. Richardson, Wayne D. Moore, P.E., *FSFPE. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts*, 2004, 680 p.
3. Bukowski R.W., Peacock R.D., Averill J.D., Cleary T.G., Bryner N.P., Walton W.D., Reneke P.A., Kuligowski E.D. Performance of Home Smoke Alarms. Analysis of the Response of Several Available Technologies in Residential Fire Settings. *NIST Technical Note 1455-1*, 2008, 265 p.
4. Cleary T.G. Improving Smoke Alarm Performance – Justification for New Smoldering and Flaming Test Performance Criteria. *NIST Technical Note 1837*, 2014, 27 p.
5. Cleary T.G. Results from a Full-Scale Smoke Alarm Sensitivity Study. *Fire Technology*, 2014, vol. 50, is. 3, pp. 775–790. DOI: 10.1007/s10694-010-0152-2
6. Osyayev V.A. *Dinamika temperatury v goryashchem i smezhnom pomeshcheniyakh i opredelenie vremeni dostizheniya ee opasnogo znacheniya* [Temperature dynamics in the burning and adjacent rooms and time determination for its dangerous level achievement]. Minsk, Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus, 2015, pp. 114 (in Russian).
7. Cleary T.G. A Test Methodology for Multiple Sensor – Multiple Criteria Alarms. *13th International Conference on Automatic Fire Detection AUBE '04*, Germany, University of Duisburg, 2004.
8. Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Smagin A.V., Palevoda I.I., Poloz D.A., Kuzmitsky V.A. [Hazard assessment of acrolein, prussic and hydrochloric acids during the fire]. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2009, no. 1 (9), pp. 71–75 (in Russian).
9. Puzach S.V., Smagin A.V., Lebedchenko O.S., Doan V.M., Palevoda I.I., Poloz D.A., Osyayev V.A., Kuzmitsky V.A. [Role of fire hazardous factors dynamics in intoxication pathogenesis of a person during fire]. *Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2010, no. 1 (11), pp. 4–10 (in Russian).
10. Svirshchevskii S.F., Sokolik G.A., Leino-va S.L., Rubinchik S.Ya., Klevchenya D.I., Gulevich A.L. [Determination of gas phase composition formed upon thermal decomposition of polymer materials]. *Industrial laboratory. Diagnostics of materials*, 2013, no. 8, vol. 79, pp. 12–16 (in Russian).
11. Zuikov I.E. [Device for Modelling of Early Stages of Fire Development]. *Dostizheniya fiziki nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoi diagnostiki*, Minsk, Institute of Applied Physics of National Academy of Sciences of Belarus, 2011, pp. 197–202 (in Russian).