

*Е. Б. Аносова*¹, *М. М. Казиев*², *А. Н. Шушпанов*¹, *А. Г. Литвиненко*¹

¹Российский химико-технологический университет им Д.И. Менделеева,

²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru)

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

РЕЗЮМЕ

Введение. Для реализации подхода, использованного при моделировании распространения опасных факторов пожара в помещениях небольшого объёма, разработана экспериментальная установка с регистратором данных на основе платформы Arduino. С использованием полученного устройства согласно зонной модели пожара определены значения теплового потока от конвективной колонки очага горения в начальной стадии пожара для жилого помещения с преобладающей целлюлозной нагрузкой.

Цели и задачи. Целью настоящей работы являлось создание компактного устройства, позволяющего оперативно оценивать развитие во времени опасных факторов пожара на начальном этапе их возникновения и проведение экспериментов на объектах, сопоставимых с реальными фрагментами зданий и помещений по размерам.

Методы. На основании данных о зонном моделировании распространения опасных факторов пожара с использованием современных технических средств был проведён эксперимент с применением полигонного метода испытаний пожарной опасности и сделано предположение о возможности применения разработанного устройства при испытаниях динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП) в помещениях с целлюлозной пожарной нагрузкой.

Результаты и обсуждения. Экспериментальные исследования представляются необходимой частью прогноза распространения ОФП в помещениях жилого назначения. Полигонные пожарные испытания, относящиеся к испытаниям фрагментов зданий и сооружений, близким по размерам к реальным объектам, способны наиболее точно передать условия, возникающие в квартирах и частных домах в фазе загорания.

Современный уровень развития микроэлектроники делает доступным для применения аппаратно-программные средства для широкого круга лиц, в том числе, не имеющих специального образования. Разработанная и созданная авторами установка на основе платформы Arduino Mega 2560 компактная и портативная, позволяет оперативно получать и записывать данные эксперимента моделирования условий пожара в небольших помещениях. Полученные результаты позволили оценить уровень теплового потока конвективной колонки от загоревшейся древесины, моделирующей пожарную нагрузку в помещении, в потолок, а также среднюю температуру газовой среды и коэффициент теплопотерь в потолочное перекрытие.

Выводы. Использование представленной авторами экспериментальной установки позволяет оптимизировать получение отдельных характеристик динамики ОФП на начальной стадии загорания.

Ключевые слова: опасные факторы пожара, зонная модель пожара, тепловой поток, натурные испытания, платформа Arduino.

Для цитирования: Аносова Е. Б., Казиев М. М., Шушпанов А. Н., Литвиненко А. Г. Изучение некоторых опасных факторов начальной стадии пожара в жилых помещениях с использованием современных технических средств // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 2 (92). – С. 33-46. <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.33-46>

Пожары являются одной из главных внешних причин гибели человека. Статистика за тридцатилетний период существования современной России показывает, что большая часть пожаров (около 70 % от общего количества) возникают в жилом секторе. Число погибших и пострадавших при пожарах также превалирует над другими категориями объектов [1].

Чаще всего судебно-медицинская экспертиза устанавливает, что гибель людей приходится на начальную и развитую стадию пожара от двух основных причин: отравление токсичными продуктами горения и воздействие повышенной температуры. По последним данным статистики Всемирной организации здравоохранения Россия входит в первую пятёрку стран с гибелью людей, причиной которой послужило воздействие огня, тепла и горящих субстанций [2].

Для снижения вероятности гибели людей при пожаре требуется не только повышение пожарной безопасности выпускаемой продукции, но также разработка новых, научно-обоснованных прогнозных методов оценки пожарной опасности материалов на начальной стадии пожара и изучение их поведения в условиях реального пожара.

Анализ большого объёма статистических данных по пожарам и результаты нескольких натуральных испытаний¹ позволил установить, что пожары во многих случаях имеют примерно одинаковую динамику развития с момента достижения его площади $0,75 \text{ м}^2$. Это значение может считаться границей между начальной и развитой стадиями пожара. При этом начальная стадия может быть разной по продолжительности в зависимости от многих случайных факторов, включая мощность источника зажигания и пожароопасных свойств различных материалов, а также условий газообмена.

Статистика пожаров свидетельствует, что при площади пожара $0,75 \text{ м}^2$, температура, задымлённость и токсичность среды в помещении достигает опасных для людей значений, при которых люди уже не могут подручными средствами ликвидировать очаг и стремятся экстренно покинуть опасную зону.

В малоэтажных домах России до 90 % используемого материала является древесиной и изделиями из неё. Кроме того, в мире и в РФ популярны многоквартирные деревянные жилые дома. Это значит, что основную пожарную нагрузку и в современных домах, и в домах старой постройки составляет древесно-целлюлозная, что подтверждается распределением причиняемого материального ущерба от пожаров, связанного с видом горючего материала: древесина – 68,98 %, шерсть, хлопок и т.п. – 11,3 %, синтетические изделия и волокна из них – 1,81 %, легковоспламеняющиеся жидкости, горючие жидкости – 1,8 %, резина и резинотехнические изделия – 1,97 % (всего 90,3 % от всей величины ущерба) [3].

На начальной стадии пожара большое значение имеет скорость нарастания температуры, поскольку это один из опасных факторов, влияющих как на безопасность эвакуации людей из помещения, так и на процессы, происходящие с материалами в помещении.

¹Общие закономерности развития внутренних пожаров. <https://fireman.club/presentations/obshhie-zakonomernosti-razvitiya-vnutrennih-pozharov/>

Как правило, повышенная температура также усугубляет воздействие на организм человека токсичных продуктов горения и недостатка кислорода.

Математические модели, описывающие динамику распространения пожара в общем виде, показывают изменения свойств среды объекта с течением времени. На основании многих из них создаются программные продукты [4], многие из которых являются зарубежными, следовательно, широкий доступ к ним ограничен для большинства образовательных организаций из-за высокой стоимости.

В настоящее время в целях описания параметров пожара в какой-либо момент времени используются три вида моделей: интегральные, зонные и полевые (дифференциальные). Все они впервые были описаны отечественными учеными в конце 20 века [5].

1. Интегральная модель пожара. Преимуществом применения этой модели в расчётах является быстрый и нетрудоемкий расчёт динамики **опасных факторов пожара (ОФП)**, однако для получения искомым значений необходимо проводить экспериментальные исследования по получению дополнительной информации. Данная модель находит отражение в нормативной документации и предназначена для описания динамики развития пожара в помещениях небольшой (до 6 м) высоты.

2. Зонная (зональная) модель пожара. Модель даёт информацию о средних параметрах состояния среды и размерах характерных пространственных зон при пожаре в помещении: припотолочной области, восходящего над очагом горения потока нагретых газов, незадымленной части пространства, а также области наружной атмосферы. К преимуществам этой модели можно отнести быстрый и нетрудоемкий расчёт динамики распространения ОФП, использование закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиением на характерные области.

3. Полевая (дифференциальная) модель наиболее достоверно описывает развитие пожара в помещении, так как использует математический аппарат в виде сложных систем нестационарных дифференциальных уравнений гидродинамики в частных производных. Однако использование этой модели для оценки пожарного риска требует достаточно сложных и длительных вычислений, что связано с обязательным применением ЭВМ. Данная модель часто применяется в настоящий момент уточнения результатов пожарно-технической экспертизы и научных разработок [5, 6]

Таким образом, с учётом возможности применения модели для жилого помещения, небольшой погрешности и сложности расчёта, для моделирования пожара на начальной стадии авторами была выбрана зонная (зональная) модель пожара [7].

Зонный (зональный) метод моделирования пожара в помещении использует закономерности струйного течения, применяется для определения теплового воздействия очага пожара на строительные конструкции [5]. Схема зонной модели представлена на рис. 1.

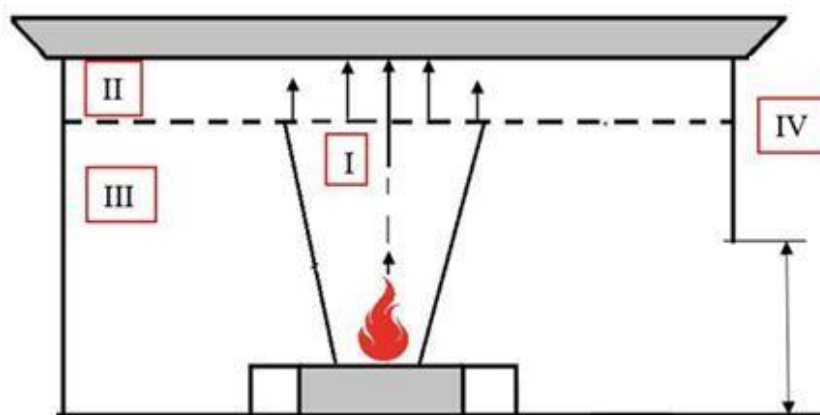


Рис. 1. Схема зонной модели пожара:

I – зона конвективной струи (конвективная колонка); II – припотолочная область;
III – зона холодного воздуха; IV – наружная атмосфера

При зонном моделировании условий пожара в помещении, перенос тепла от очага горения к ограждающим конструкциям в общем случае происходит за счёт конвективных продуктов сгорания, излучения, теплопроводности и непосредственного воздействия пламени, в том числе и сгорающего материала на конструкции. При этом теплоотвод в результате теплообмена с ограждающими конструкциями и открытыми проёмами помещения не учитывается.

Как отмечается в работе [8], конвективная колонка не может рассматриваться как свободная струя в неограниченном пространстве, поэтому при описании развития пожара в помещении необходимы дополнительные сведения. Зонная модель несколько упрощает представление о механизме и динамике развития пожара. В случае использования данной модели необходимо пренебречь временем прогрева припотолочного слоя воздуха и его теплообменом с оставшимся объёмом холодного воздуха помещения, условно разделив их границей малой толщины.

Средняя температура по сечению конвективной колонки, зависит от следующих характеристик:

- отношения отводящейся в строительные конструкции теплоты к выделяющейся в пламенной зоне (φ);
- температуры в помещении перед пожаром (T_0);
- удельной изобарной теплоемкости смеси газов (c_p);
- массового расхода смеси газов через сечение колонки на высоте z от поверхности горючего вещества (G)

$$T = T_0 + Q_{\text{пож}} (1 - \chi) / c_p G, \quad (1)$$

где $Q_{\text{пож}}$ – выделившееся в очаге горения тепло.

В настоящий момент в России не существует официально рекомендованных экспериментальных методик по оценке динамики распространения температуры и теплового потока на начальной стадии пожара.

При изучении авторами данной проблематики обнаружено много исследований, проводившихся отечественными и зарубежными учёными [9], однако цели создания компактной, универсальной, доступной по стоимости установки, предназначенной для оперативного получения широкого спектра данных по пожарной опасности в динамике, нигде не было поставлено.

Для изучения изменения свойств пожарной нагрузки во времени на начальной стадии пожара с использованием зонной модели, авторами работы была поставлена цель сконструировать испытательный стенд, состоящий из электронно-вычислительного устройства, способного фиксировать температурные показатели на поверхности материала и в области конвективной колонки, а также установки, способной имитировать начальную стадию пожара. Предполагаемые размеры разрабатываемой установки должны были соответствовать приблизительным размерам жилого помещения.

Для фиксирования полученных результатов авторами была выбрана платформа Arduino² из-за ряда её неоспоримых преимуществ: миниатюрности, универсальности, кроссплатформенности и т.д.

Данная платформа получила широкое применение для совершенствования методов исследования и повышения пожарной безопасности.

Авторами патента CN 108283768 A³ было предложено использование **детектора дыма под контролем Arduino для приведения в действие пиротехнического порошкового огнетушителя**, отмечена низкая стоимость подобного устройства.

В патенте CN 207649667 U⁴ предлагается использование платформы для управления датчиками дыма и высокой температуры с целью повышения пожарной безопасности персонала и пациентов медицинских учреждений, а в патенте CN 205127246 U⁵ описывается полная автоматическая система пожаротушения на основе Arduino. В патенте CN 208922432 U⁶ также рассматривается применение Arduino для контроля датчиков дыма.

Использование платформы Arduino в качестве средства, повышающего защищенность от опасных факторов пожара, упоминалось в патенте Ru 192698 U1⁷.

Платформа полностью совместима со специальными датчиками по определению оптической плотности дыма, массовой скорости выгорания и тепловых потоков, то есть исходных данных наиболее широко применяющихся в профессиональной среде специалистов для оценки пожара.

² <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino>;

³ <https://patentimages.storage.googleapis.com/4d/46/dc/94d0a9512b958b/CN108283768A.pdf>;

⁴ <https://patentimages.storage.googleapis.com/29/b2/a2/635b95b5de5128/CN207649667U.pdf>;

⁵ <https://patentimages.storage.googleapis.com/e6/0d/97/c3bf92d43cb44b/CN205127246U.pdf>;

⁶ <https://patentimages.storage.googleapis.com/95/e2/d2/dd66dcc746d9eb/CN208922432U.pdf>;

⁷ <https://patentimages.storage.googleapis.com/99/6d/19/4db234e8556c2c/RU192698U1.pdf>

Для конструирования установки регистрации температуры и определения тепловых потоков были выбраны следующие комплектующие:

- Arduino Mega 2560;
- Модуль регистрации данных на SD-карты V1.0;
- Датчик на базе микросхемы MAX6675 для термопар типа К (ТХА);
- LCD 2004 дисплей с последовательным интерфейсом;
- соединительные провода;
- AC 100 V-240 адаптер-конвертер DC 9V 1A;
- термопары хромель-алюмель (ТХА).

В качестве основания устройства выступают стальные листы толщиной 4 мм, установленные на стгоны длиной 150 мм. Для крепления испытываемых образцов в зоне конвективной колонки к основанию равноудаленно приварены две профильные трубы сечением 40 мм и высотой 1800 мм, со сквозными отверстиями в них через каждые 100 мм. Эти отверстия позволяют при помощи специальных креплений удерживать образец на необходимой для исследований высоте. Фиксация как высоты, так и образцов осуществляется посредством вставки в соосно расположенные отверстия двух заостренных шпилек на каждой из сторон.

Горизонтальное положение образцов осуществляется за счет расположенных на двух сторонах внутренней части установки дисков с отверстиями по всей длине окружности через каждые 30°, что даёт возможность имитировать различное положение пожарной нагрузки в помещении (пол, отделка стены, мебель). Крепление образцов также осуществляется за счёт заостренных шпилек.

Воспламенение образцов производится газовой горелкой с регулируемой подачей горючего и воздуха. Данный способ загорания выбран исходя из того, что тепловой поток от горелки приблизительно соответствует калорийности наиболее распространенных источников пожара – короткому замыканию, не выключенному электроприбору, тлеющей сигарете.

Для подключения газовой горелки к топливному баллону используется шланг и редуктор для регулирования расхода горючего.

В целях безопасного ведения работ и во избежание попадания продуктов горения и защиты шланга от критического теплового потока, та его часть, которая находится непосредственно в зоне проведения эксперимента (в камере сгорания) защищена специальным термозащитным рукавом из стекловолокна, покрытым составом на основе силиконового каучука.

Термопары хромель-алюмель помещены в термоусаживающийся материал по всей длине проводников во избежание их контакта между собой. Концы термопар помещены в алундовые трубки длиной 40 мм с отверстием для каждого проводника. Общий вид испытательного стенда представлен на рис. 2.

Конструкция испытательного стенда является модульной, а значит универсальной. Она состоит из стандартных материалов и на ней можно производить испытания материалов различного назначения и габаритов.

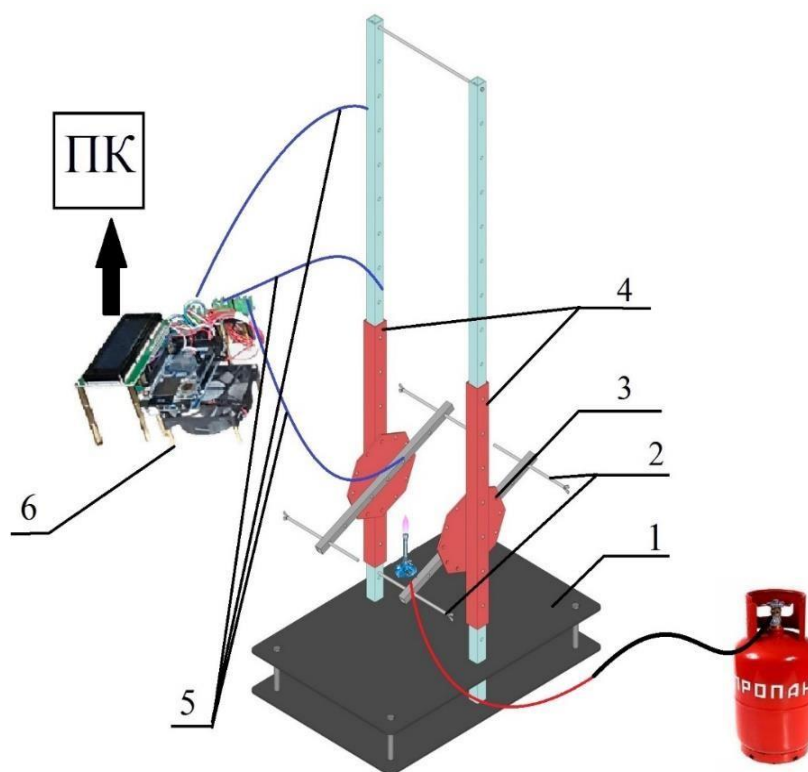


Рис. 2. Общий вид испытательного стенда:

1 – основание; 2 – держатели образца; 3 – поворотный механизм; 4 – подъёмники;
5 – термопары № 1, № 2, № 3; 6 – электронно-вычислительное устройство

Для выяснения скорости распространения пожара по поверхностям помещения необходимо установить количество тепла, получаемого в течение первичной фазы пожара поверхностями помещения. Эта характеристика зависит от среднеобъёмной температуры в помещении [10].

Для определения тепла, которое получают поверхности, необходимы следующие параметры: температура окружающего газа, температура поверхности, которую омывает газ, коэффициент теплоотдачи прикосновением, коэффициент лучистой теплоотдачи, приведенная степень черноты системы, коэффициент излучения черного тела.

Измеряя градиент температуры конвективной колонки от горючего материала в припотолочном слое и температуру потолка с использованием термопар, регистрируя её в течение эксперимента, можем получить значение плотности теплового потока q_0 .

$$q_0 = \left\{ \alpha_k + \varepsilon C_0 \frac{\left[\frac{t_r^4}{100} - \frac{t_{cr}^4}{100} \right]}{t_r - t_{cr}} \right\} (t_r - t_{cr}) \quad (2)$$

или

$$q_0 = (\alpha_k + \alpha_{л})(t_r - t_{cr}), \quad (3)$$

где ε – приведённая степень черноты системы (справочная величина);

C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, равный $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

α_k – коэффициент конвективной лучистой теплопередачи;

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент лучистой теплопередачи;

$t_{\text{г}}$ – температура припотолочного слоя газа;

$t_{\text{ст}}$ – температура тепловоспринимающей стенки.

Испытания проводятся в камере сгорания объёмом 4 м^3 , удовлетворяющей условиям применения зонной модели согласно Методике определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее – Методика)⁸: размеры помещения не отличаются более чем в пять раз и соизмеримы между собой.

По условиям эксперимента принимаем, что дверные и оконные проемы в течение опыта не вскрываются, вентиляционные отверстия отсутствуют. Исследованные образцы древесины приблизительно соответствовали по очагу горения на начальной стадии пожара (до $0,75 \text{ м}^2$). Исходные данные для эксперимента:

- образцы сосны габаритами: $350 \times 45 \times 40 \text{ мм}$;
- масса каждого: приблизительно 350 г ;
- расстояние термопар от очага горения: 200 мм (термопара № 1), 500 мм (термопара № 2), 900 мм (термопара № 3); термопара № 3, располагающаяся у стенки регистрирует изменение температуры стенки в течение эксперимента;
- расстояние от очага горения до образца: 150 мм ;
- время моделирования: 10 мин .

Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№ опыта	Термопара № 1		Термопара № 2		Термопара № 3	
	t стенки, °C	t газа, °C	t стенки, °C	t газа, °C	t стенки, °C	t газа, °C
1	24	140,61	24	50	24	42
q_0 , $\text{Вт}/\text{м}^2$	11095		2470		1710	
2	24	118	24	64	24	48
q_0 , $\text{Вт}/\text{м}^2$	8939		3800		2280	
3	24	145,6	24	85,7	24	47
q_0 , $\text{Вт}/\text{м}^2$	11572		5861		2185	

Полученные результаты показывают, что тепловой поток в зоне конвективной колонки превышает безопасное значение для некоторых видов пожарной нагрузки [11].

⁸ Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности". С изм. и доп. от: 12.12.2011, 2.12.2015

Количество теплоты, выделяемое при горении, согласно Методике, составляет:

$$Q_{\text{пож}} = (\eta \cdot Q_{\text{H}} + I) \cdot \psi S, \quad (4)$$

где η – коэффициент полноты горения (принимается приблизительно равным 0,9);

Q_{H} – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, которую принимаем равной 13,8 МДж/кг для древесины [11];

$I = c_p T$ – энтальпия газифицированной горючей нагрузки, кДж/кг; c_p – удельная теплоёмкость продуктов пиролиза, кДж/(кг·К); T – температура продуктов пиролиза, К. Приняв среднеобъёмную температуру продуктов пиролиза равной 355 К, $c_p = 1,009$ кДж/(м³К)⁹, вычислим энтальпию газифицированной горючей нагрузки, составляющую 358 кДж/(кг·К);

S – площадь горения, принятая равной 0,02 м²;

ψ – удельная скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/м²с, которую принимаем равной 0,015 кг/м²с согласно [11] для древесных строительных материалов.

Таким образом, значение теплоты, выделяемое при горении древесины, составило:

$$Q_{\text{пож}} = (0,9 \cdot 13,8 \cdot 10^6 + 358 \cdot 10^3) \cdot 0,015 \cdot 0,02 = 3883 \text{ Вт}.$$

Часть тепловой нагрузки, выделяющейся внутри помещения в результате горения материалов, поглощается ограждающими конструкциями. Доля поглощенного тепла от выделившегося тепла, согласно ГОСТ 12.1.004-91, называется коэффициентом теплопотерь φ . Он может быть вычислен как

$$\varphi = \frac{Q_w}{Q_{\text{пож}}} \quad (5)$$

где Q_w – тепловой поток в ограждения (стены, пол, потолок), Вт.

Для вычисления количества теплового потока в ограждения помещения воспользуемся зависимостью, которая была получена на основании результатов исследований М.П. Башкирцева [5] для случая $T_m \geq 333$ К:

$$Q_w = \alpha_2 F [(aT_m - T_0) - b_1(T_m - T_0)^2] \exp[n(T_m - T_0)], \quad (6)$$

где $a = 0,8$ К⁻¹, $b_1 = 0,00065$ К⁻², $n = 0,0023$ К⁻¹ – эмпирические коэффициенты;

$\alpha_2 = 11,6$ Вт/м² – коэффициент теплообмена;

$F = F_{\text{ст}} + F_{\text{пот}} + F_{\text{пол}}$ – суммарная площадь поверхностей ограждений (стен, потолка, пола), м²;

T_m – средняя температура газовой среды, составляющая 355 К;

T_0 – температура среды перед пожаром (принимаем равной 290 К);

Q_w – суммарный тепловой поток в ограждения, Вт.

⁹ Физические свойства воздуха: плотность, вязкость, удельная теплоёмкость. <http://thermalinfo.ru/svoystva-gazov/gazovye-smesi/fizicheskie-svoystva-vozduha-plotnost-vyazkost-teploemkost-entropiya>

Поскольку конвекционная колонка направлена в потолок, вычислим значение теплового потока, натекающего на потолок, приняв $F = F_{\text{пот}} = 2,1 \text{ м}^2$:

$$Q_w (\text{пот}) = 11,6 \cdot 2,1 [0,8 (355 - 290) - 0,00065 (355 - 290)^2] \cdot \exp[0,0023 (355 - 290)] = 1392 \text{ Вт}.$$

Коэффициент теплопотерь, таким образом, составит:

$$\varphi_{\text{пот}} = \frac{1392}{3883} = 0,36.$$

Таким образом, с использованием современных средств регистрации измерений на экспериментальной установке, разработанной авторами настоящей работы, на основании значения средней температуры газовой среды в области конвективной колонки, было получено значение коэффициента теплопотерь для зоны загорания, размещённой непосредственно над конвективной колонкой, значения тепловых потоков на различном расстоянии от очага загорания.

Эти данные возможно получить на небольших фрагментах пожарной нагрузки, приблизительно соответствующих лабораторным методам исследования, однако условия, в которых проводился эксперимент, относятся к полигонным испытаниям.

Для воссоздания более полной картины, возникающей при загорании в помещении, необходимо увеличить количество точек получения данных о динамике температуры в течение эксперимента.

В дальнейшем планируется получение данных о пожарной опасности образцов строительных материалов (коэффициента дымообразования, скорости распространения дыма в помещении) на сконструированной установке с целью повышения её универсальности и использования для изучения распространения опасных факторов пожара с применением зонной модели.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году. Статистический сборник. Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО МЧС России, 2019. 125 с.
2. *Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P.* World Fire Statistics // CTIF. Center of Fire Statistics. 2018. № 23.
3. *Таубкин С. И.* Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: Б.и., 1999. 600 с.
4. *Суриков А. В., Лишенок Н. С.* Расчёт видимости в помещениях в условиях пожара с применением программного комплекса FDS // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2018. Т. 2, № 2. С. 147-160.
5. *Кошмаров Ю. А., Пузач С. В., Андреев В. В., Козлов Ю. И.* Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 126 с.
6. *Ланшин С. С., Мочалов А. М.* Сравнительный анализ результатов моделирования пожара интегральным, зонным и полевым методами для целей пожарно-технической экспертизы // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 4 (11). С. 17-26.
7. *Воробьев Ю. Б., Уртенев Д. С., Карнаухов В. Е., Подгорный В. Н., Эйхорн Ю. Н., Лукашенко М. Л.* Оценка точности моделирования на основе двухзонного подхода для анализа пожарной безопасности объектов ядерной энергетики // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2019. № 2. С. 21-28. <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2019-2-21-28>
8. *Пузач С. В., Абакумов Е. С.* Модифицированная зонная модель расчёта термогазодинамики пламени пожара в атриуме // Инженерно-физический журнал. 2007. Т. 80, № 2. С. 84-89.
9. *Драздейл Д.* Введение в динамику пожаров / пер. с англ. К. Г. Бомштейна, под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 424 с.
10. *Мурзинов В. Л.* Моделирование средней температуры в помещении с вентиляцией в начальной стадии пожара // Комплексная безопасность. 2017. № 1. С. 37-42.
11. Пожарная нагрузка. Справочник. Документ СИТИС-СПН-1. Редакция 3. 20.06.2014.

Материал поступил в редакцию 27 декабря 2020 г.; принят к публикации 15 июня 2021 г.

*E. B. Anosova*¹, *M. M. Kaziev*², *A. N. Shushpanov*¹, *A. G. Litvinenko*¹

(¹D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology,

²Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia;

e-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru)

STUDYING OF SOME DANGEROUS FACTORS OF THE INITIAL STAGE OF FIRE IN RESIDENTIAL PREMISES WITH THE USE OF MODERN TECHNICAL MEANS

ABSTRACT

Introduction. An experimental installation with data logging based on the Arduino platform was developed to implement the approach used in modeling the spread of fire hazards in small rooms. The values of the heat flow from the convective column of the combustion center in the initial stage of the fire for a residential building with a predominant cellulose load were determined using obtained device according to the zone model of the fire.

Goals and objectives. The purpose of this work is to create a compact device that allows us to quickly assess the development of fire hazards over time at the initial stage of their occurrence and to hold experiments at objects comparable in size to real fragments of buildings and premises.

Methods. An experiment with the use of the field test method of fire hazard testing and an assumption about the possibility of using the developed device in testing the dynamics of the spread of fire hazards in rooms with a cellulose fire load was conducted. It is based on the data about the zonal modeling of the spread of fire hazards using modern technical means.

Results and discussions. Experimental studies seem to be a necessary part of the forecast of the spread of fire hazards in residential premises. Field fire tests, which refer to tests of fragments of buildings and structures that are close in size to real objects, are able most accurately convey the conditions that occur in apartments and private homes during the fire phase.

The current level of development of microelectronics makes it possible to use hardware and software for a wide range of people, including those who do not have a special education. Device, developed and created by the authors, is based on the Arduino Mega 2560 platform. It is compact and portable. It allows quickly receive and record data from the experiment of modeling fire conditions in small rooms. The obtained results allows us to estimate the level of heat flow of the convective column from the ignited wood, which simulates the fire load in the room to the ceiling, as well as the average temperature of the gas medium and the heat loss coefficient in the ceiling.

Conclusions. The using of the experimental device presented by the authors makes it possible to optimize the obtaining of individual characteristics of the dynamics of fire hazards at the initial stage of ignition.

Key words: fire hazards, zone fire model, heat flow, field fire test, Arduino platform.

For citation: Anosova E. B., Kaziev M. M., Shushpanov A. N., Litvinenko A. G. Studying of some dangerous factors of the initial stage of fire in residential premises with the use of modern technical means. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2021, vol. 2 (92), pp. 33-46 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.33-46>

References

1. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 godu. Statisticheskij sbornik* [Fire and fire safety in 2018. Statistical collection]. Ed. by Gordienko D. M., Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2019, 125 p.
2. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics. CTIF, Center of Fire Statistics, 2018, no. 23.
3. Taubkin S. I. *Pozhar i vzryv, osobennosti ikh ekspertizy* [Fire and explosion, features of their expertise]. Moscow, 1999, 600 p.
4. Surikov A. V., Leshenyuk N. S. Modeling of visibility in a room under fire conditions with application of the FDS software complex. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi / Journal of Civil Protection of the MES of the Republic of Belarus*, 2018, vol. 2, no 2, pp. 147-160 (in Russian).
5. Koshmarov Yu. A., Puzach S. V., Andreev V. V., Kozlov Iu. I. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii: ucheb. posobie* [The prediction of dangerous factors of the fire in the room: proc. manual]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2012, 126 p.
6. Lapshin S. S., Mochalov A. M. *Sravnitelnyi analiz rezultatov modelirovaniia pozhara integralnym, zonnym i polevym metodami dlia tcelei pozharno-tekhnicheskoi ekspertizy* [Comparative analysis of the results of fire modeling by integral, zone and field methods for the purposes of fire and technical expertise]. *Pozharnaia i avariinaia bezopasnost / Fire and emergency safety*, 2018, no. 4 (11), pp. 17-26.
7. Vorobyev Y. B., Urtenov D. S., Karnaukhov V. E., Podgornyi V. N., Eikhorn Y. N., Lukashenko M. L. About the accuracy of modeling based on the two-zone approach for analyzing the fire safety of nuclear power facilities. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta. Vestnik MEI / Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. MPEI Bulletin*, 2019, no. 2, pp. 21-28. <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2019-2-21-28>
8. Puzach S. V., Abakumov E. S. Modified zonal model for calculating the thermodynamics of the gas in a fire within an atrium. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal / Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2007, vol. 80, no. 2, pp. 298-303.
9. Drysdale D. *Vvedenie v dinamiku pozharov* [Introduction to the dynamics of fires]. Trans. from Engl. by K. G. Bomshtein, ed. by Yu. A. Koshmarov, V. E. Makarova, Moscow, Stroyizdat Publ., 1990, 424 p.
10. Murzinov V. L. *Modelirovaniye srednei temperatury v pomeshchenii s ventilatsiei v nachalnoi stadii pozhara* [Simulation of the average temperature in a room with ventilation in the initial stage of a fire]. *Kompleksnaia bezopasnost / Complex security*. 2017, no. 1, pp. 37-42.
11. *Pozharnaia nagruzka. Spravochnik. Dokument SITIS-SPN-1. Redaktsiia 3. 20.06.2014* [Fire load. Guide. CITIS-SPN-1 document. Revision 3. 20.06.2014].

Received December 27, 2020; accepted June 15, 2021

Информация об авторах

АНОСОВА Евгения Борисовна
канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры техносферной безопасности; Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева; Российская Федерация, 125480, г. Москва, ул. Вилиса Лациса, д. 23, корп. 1; ORCID ID: 0000-0001-8001-4831; РИНЦ Author ID: 753731; e-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru

КАЗИЕВ Махач Магомедович
кандидат технических наук, доцент; профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве; Академия Государственной противопожарной службы МЧС России; Российская Федерация, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID: 0000-0002-5185-3316; РИНЦ Author ID: 334815; e-mail: kaziev01@bk.ru

Шушпанов Александр Николаевич
старший преподаватель кафедры техносферной безопасности; Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева; Российская Федерация, 125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20, корп. 1; ORCID ID: 0000-0003-3833-5730; РИНЦ Author ID: 901112; e-mail: shoo@count0.ru

ЛИТВИНЕНКО Александр Григорьевич
магистрант; Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева; Российская Федерация, 125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 20, корп. 1; ORCID ID: 0000-0002-0527-0048; РИНЦ Author ID: 1101921; e-mail: litvlag@mail.ru

Information about the authors

ANOSOVA Evgeniya Borisovna
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Associate Professor of Department of Technosphere Safety; D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology; Russian Federation, 125480, Moscow, Vilisa Latsisa St., 23, bldg. 1; ORCID ID: 0000-0001-8001-4831; RSCI Author ID: 753731; e-mail: evgenia.anosowa@yandex.ru

KAZIEV Makhach Magomedovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Professor of Department of Fire Safety in Construction; Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia; Russian Federation, 129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4; ORCID: 0000-0002-5185-3316; RSCI Author ID: 334815; e-mail: kaziev01@bk.ru

SHUSHPANOV Alexander Nikolaevich
Senior Lecturer, Department of Technosphere Safety; D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology; Russian Federation, 125480, Moscow, Geroyev Panfilovtsev St., 20, bldg. 1; ORCID ID: 0000-0003-3833-5730; RSCI Author ID: 901112; e-mail: shoo@count0.ru

LITVINENKO Alexander Grigoryevich
master student; D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology; Russian Federation, 125480, Moscow, Geroyev Panfilovtsev St., 20, bldg. 1; ORCID ID: 0000-0002-0527-0048; RSCI Author ID: 1101921; e-mail: litvlag@mail.ru