

Рисунок 4 – Зависимости скорости сгорания материала (а) и радиационной составляющей тепловыделения (б) от времени при пожаре в закрытой комнате (1), с вентиляцией через нижнюю половину двери (2), дверь (3), двойную дверь (4) и проем в стене (5)

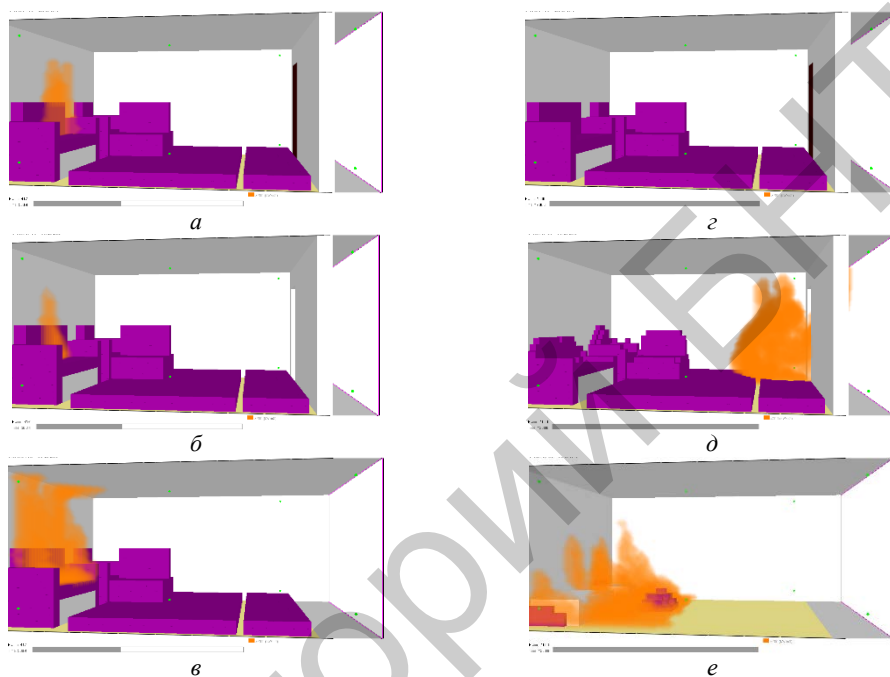


Рисунок 5 – Картины распространения пламенного горения на 500-й (а–в) и 1200-й секунде (г–е) пожаров в закрытой комнате (а, г), с естественной вентиляцией через открытую дверь (б, д) и через проем в стене (в, е)

В работе на примере реакции горения полиуретана показано, что режимы горения материала определяют динамику массовой скорости сгорания материала, тепловыделения, его радиационной составляющей и распространения пламенного горения при пожаре в помещении с разными условиями естественной вентиляции.

1. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. Third edition. Willey, 2011. - 551p.
2. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model, NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 94 p.
3. Evaluating models for predicting full-scale fire behaviour of polyurethane foam using cone calorimeter data / J.U. Ezinwa [et al.] Fire Tech., 2014, V. 50. P. 693–719.

УДК 628

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ И СМЕЖНЫХ С НИМ ПРОСТРАНСТВАХ

Антошин А.А.<sup>2</sup>, Волков С.А.<sup>1</sup>, Олефир Г.И.<sup>2</sup>, Голубев А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Большое количество пожаров в жилых помещениях связано с особенностями объемно-планировочных решений, свойствами пожарной нагрузки, особенностями поведения людей в таких помещениях. Современные исследования в

этой области [1–3] направлены на исследования окружающей среды в жилых помещениях различного функционального назначения в условиях пожара, и разработку методик таких исследований. Однако до сих пор отсутствует информация

о методиках исследования распределения продуктов горения по высоте помещения, включая токсичные удушающие и раздражающие газы.

Целью настоящей работы является разработка методики исследования распределения продуктов горения, включая токсичные продукты удушающего и раздражающего действия как по высоте помещений стандартной квартиры в жилом панельном доме, так и по ее площади. Исследования в условиях пожара окружающей среды в жилых помещениях и смежных с ними пространствах здания позволит определить требования к тестовым пожарам и разработать методику испытаний пожарных извещателей, предназначенных для защиты жилых помещений и находящихся в них людей.

Анализ публикаций позволил определить перечень подлежащих контролю факторов пожара и тип горения при котором должны контролироваться характеристики окружающей среды. Показано, что для достижения поставленной цели необходимо контролировать температуру, оптическую плотность газовой среды в горящем помещении и смежных с ним пространствах, способность среды рассеивать оптическое излучение и концентрацию газообразных продуктов горения (CO, HCl, HCN, HF, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). Размещение системы контроля температуры и оптических характеристик среды на основе адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации «Болид» показано на рисунке 1.

В качестве очагов пожара для жилой комнаты предложен макет мягкой мебели, для спального помещения – макет матраса, моделирующий как пламенное горение так и тление, для кухни – горение различных продуктов питания (масло, пища на плите). В качестве источников зажигания использованы тлеющая сигарета (для имитации тлеющего пожара) и газовая горелка (для имитации пламенного пожара).

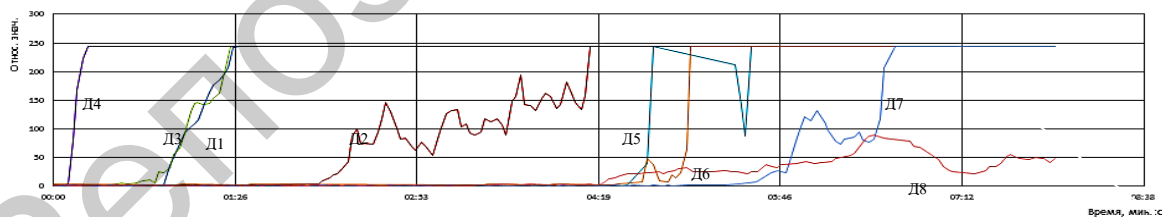
Для измерения температуры газовой среды применяются термодатчики С2000-ИП-03 на ос-

нове адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации, производства НПВ «Болид». Для измерения интенсивности рассеянного оптического излучения использованы оптико-электронные адресно-аналоговые извещатели ДИП-34А-04, работающие на принципе обратного рассеивания.



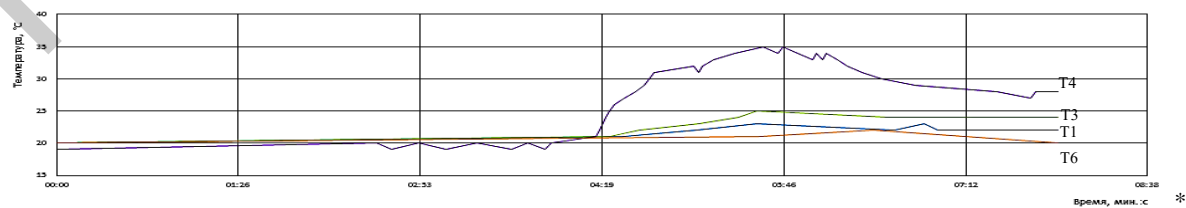
Рисунок 1 – Размещение системы контроля температуры и оптических характеристик в среды на основе адресно-аналоговой системы пожарной сигнализации «Болид»

На рисунках 2 – 4 приведены экспериментальные результаты, полученные с использованием разработанной и изготовленной системы контроля характеристик окружающей среды при горении макета мягкой мебели в испытательной камере размерами 3×3×2,5 м. Замеры производились в 8 точках Точка 1 располагалась в вентиляционном канале. Точки 2-4 располагались под потолком по центру помещения. Точки 5–8 размещались по центру помещения на высотах 0,5; 1; 1,5 и 2 м.



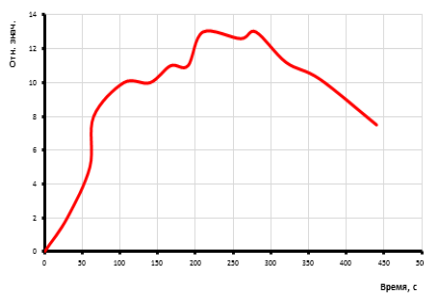
Д1 – Д8 - зависимости интенсивности рассеянного оптического излучения от времени горения макета мягкой мебели в точках 1–8

Рисунок 2 – Зависимости интенсивности рассеянного оптического излучения в разных точках пространства помещения от времени горения макета мягкой мебели

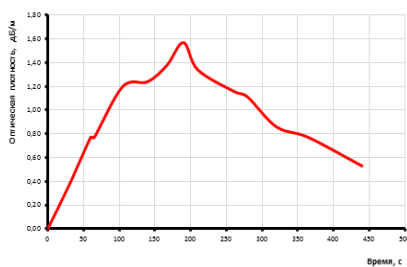


T1, T3, T4, T6 - временные зависимости температуры в точках 1,3,4,6 контролируемого пространства

Рисунок 3 –Изменение температуры в разных точках помещения при пламенном горении макета мягкой мебели



а



б

Рисунок 4 – Изменение во времени интенсивности рассеянного излучения (а) и оптической плотности среды (б) при горении макета мягкой мебели в точке Д1

Для измерения концентрации CO, HCl, HCN, HF, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> используются газоанализаторы «Бинар 2П», Testo 320 и Multilyzer-NG. Разработанная методика выполнения измерений состава и пространственного распределения газовой смеси, образующейся при пожаре в жилых помещениях и смежных с ними пространствах, предусматривает определение основных компонентов, образующихся при горении материалов характерных для жилых помещений. Полученные с помощью такой системы результаты позволяют сформулировать основные требования к извещателям пожарным, для жилых помещений и разработать методики их испытаний.

1. Beji T., Verstockt S., Van de Walle R., Merci B. Global analysis of multi-compartment full-scale fire tests ('Rabot2012') // Fire Safety Journal 76 (2015). P. 9–18.
2. Cleary T. G. Improving Smoke Alarm Performance – Justification for New Smoldering and Flaming Test Performance Criteria // NIST Technical Note 1837, 27 p. (July 2014).
3. Cowlard A., Jahn W., Rein G., Torero J. L. Sensor Assisted Fire Fighting Fire Technology // 2010, Volume 46, Issue 3, pp 719–741.

УДК 539.2

## ГЕТТЕРИРОВАНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И., Русакевич Д.А.

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

Выращивание эпитаксиальных слоев является одним из важнейших этапов формирования полупроводниковых приборных структур. Эпитаксиальный слой должен либо полностью повторять кристаллографические свойства подложки, либо иметь их близкими к идеальным. Однако реально получаемые слои могут иметь электрофизические свойства, существенно отличающиеся от планируемых. Это несоответствие, в значительной степени обусловлено возникновением дефектов в процессе наращивания эпитаксиальных слоев или наличием нежелательных примесей. На практике используют несколько основных способов улучшения характеристик эпитаксиальных слоев, в частности, с использованием методов геттерирования [1].

В процессе геттерирования происходит связывание подвижных, нежелательных примесей и дефектов в нейтральные ассоциации. Основными механизмами геттерирования примесей являются:

- Образование пар ионов. При легировании образца геттерирующей примесью образуются нейтральные пары.
- Геттерирование с использованием нарушенных слоёв.

– Внутреннее геттерирование. Чаще всего реализуется при ионном легировании.

Использование редкоземельных элементов в качестве геттерирующей примеси в кремнии приводит к уменьшению концентрации точечных дефектов, неконтролируемых примесей; позволяет повысить стойкость полупроводниковых приборов к внешним воздействиям, в частности, к радиационному излучению. Обычно легирование полупроводников редкоземельными примесями осуществляется либо из поверхностного источника, либо в процессе роста эпитаксиального слоя. Атомы редкоземельных элементов влияют на накопление термодфектов, возникающих при термообработке в процессе изготовления кремниевых полупроводниковых приборов и ИС. Редкоземельные элементы в кремнии активно взаимодействуют с кислородом как в процессе выращивания эпитаксиальных слоев, так и в твердой фазе, осуществляя своеобразную очистку кремния. При легировании кремния редкоземельными элементами время жизни неравновесных носителей заряда увеличивается в 4 – 6 раз, в зависимости от вида редкоземельного элемента.