

УДК 536.3

Экспериментальное исследование влияния теплового потока на пожароопасность образцов основных теплоизоляционных материалов, применяемых при строительстве, посредством ИК – диагностики

Касымов Д.П.¹, канд. физ.-мат. наук; Копылов О.Н.²

¹*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

²*Судебно-экспертное учреждение ФПС «Испытательная пожарная лаборатория» по Томской области*

Аннотация. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния мощности теплового потока на характеристики воспламенения и горения некоторых изоляционных материалов на основе пенополистирола с применением бесконтактных методов ИК диагностики в узких спектральных диапазонах инфракрасных длин волн. Предложена методика с инфракрасным отображением распределения температуры вдоль торца образца под воздействием теплового потока на его фронтальную поверхность. Уникальность такого подхода заключается в регистрации всего процесса воспламенения и горения представленных материалов, происходящего в режиме реального времени без контакта с высоким пространственным и временным разрешением. Используя инфракрасную камеру исследовательского класса, становится возможным записывать весь процесс от возникновения области температурного воздействия до глубокого карбонизированного кратера в теле материала.

Ключевые слова: тепловой поток; теплоизоляционные материалы; ИК-диагностика; горение; воспламенение; поведение при пожаре; противопожарная защита, эксперимент.

Experimental study of the influence of heat flow on the fire hazard of samples of the main thermal insulation materials used in construction by means of IR diagnostics

Kasymov D.P.¹, Ph.D. of Physico-mathematical Sciences; Kopylov O.N.²

¹*National Research Tomsk State University*

²*Forensic expert organization Federal Fire Service" Fire testing laboratory" in the Tomsk region*

Annotation. This paper presents the results of experimental studies of the influence of heat flow power on the ignition and combustion characteristics of some insulating materials based on expanded polystyrene using non-contact IR diagnostics methods in narrow spectral ranges of infrared wavelengths. A technique with infrared mapping of the temperature distribution along the end of the sample under the influence of heat flow on its frontal surface is proposed. The uniqueness of this approach is to record the entire process of ignition and combustion of the submitted materials, which occurs in real time without contact with high spatial and temporal resolution. Using a research-grade infrared camera, it becomes possible to record the entire process from the appearance of a temperature-affected area to a deep carbonized crater in the body of the material.

Key words: heat flow; thermal insulation materials; IR diagnostics; combustion; ignition; behavior in case of fire; fire protection, experiment.

В процессе распространения природных, в том числе - лесных низовых и верховых пожаров, протекает процесс выделения большого количества тепла, который может послужить причиной воспламенения деревянных строений в населенных пунктах, расположенных близко к границе леса.

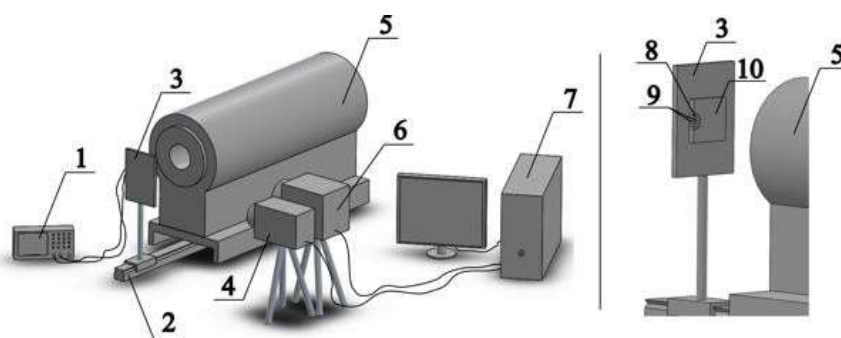
В случае возникновения возгорания, главной задачей пожарной безопасности становится не допустить переход огня на населенные пункты и объекты экономики. Для выполнения данной задачи необходимо проводить как теоретические, так и экспериментальные исследования, а прежде всего, понимать процесс распространения огня [1-3].

В большинстве случаев, в качестве несущих конструкций при строительстве сооружений, используют преимущественно древесину хвойных пород, а в качестве отделочных материалов - древесину лиственных пород. Следует учитывать и то, что в целях аккумуляции тепла, при строительстве сооружений, либо в процессе их эксплуатации, применяются теплоизоляционные материалы в виде минеральных ват, пенополиуретана, пенополистирола и др. Они также являются горючим материалом, что в целом повышает пожарную опасность всего строения [4-6].

Основными факторами, влияющими на воспламенение строительных материалов и распространения таких пожаров, являются радиационный и конвективный перенос тепла от пламени и горящие частицы, которые могут накапливаться на крыше и в углах зданий, заборах или найти иной способ попадания внутрь помещений и привести к их воспламенению [7-8].

В данной работе проведено экспериментальное исследование зажигания образцов строительных теплоизоляционных материалов (на примере строительных трехслойных сэндвич-панелей, утеплителя из пеноплекса (экструдированный пенополистирола), а также пенополистирола) в результате воздействия модельного очага горения, а также влияния теплоизоляционных строительных материалов на пожароопасные свойства древесины [9].

С использованием в качестве излучателя модели абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100 Омского завода ОАО НПП «Эталон» с диапазоном изменения температуры от 100 – 1100 °С проведено экспериментальное исследование влияния мощности теплового потока на характеристики зажигания и горения некоторых изоляционных материалов на основе пенополистирола с применением бесконтактных методов ИК диагностики в узких спектральных диапазонах инфракрасных длин волн [10]. Система с использованием в качестве излучателя АЧТ-45/100/1100 выбрана из соображений, что данный прибор является эталонным излучателем и предназначен для градуировки и поверки пирометров в диапазоне температур 300 – 1100 °С в лабораторных и цеховых условиях. Это позволило в динамике (реальном времени) анализировать изменение температурного поля на поверхности образца в ходе огневых испытаний. Рассматривалась постановка эксперимента теплоизоляцией, а также сложной системой древесный материал – изоляция – древесный материал. Схема расположения измерительной аппаратуры и излучателя с конструкцией крепления образцов представлены на рис. 1.



1 – Осциллограф Tektronix TDS-1002; 2 – оптический рельс; 3 – каретка с подставкой;
4 – видекамера Canon HF R88; 5 – модель абсолютно черного тела; 6 – инфракрасная камера JADE J530SB;
7 – персональный компьютер; 8 – область воздействия теплового потока АЧТ; 9 – отверстия для термодатчиков;
10 – исследуемый образец

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

На оптический рельс устанавливалась подвижная каретка с фиксатором, на которую была закреплена подставка с исследуемым образцом теплоизоляционного материала размерами 100 x 100 мм. В исследовании

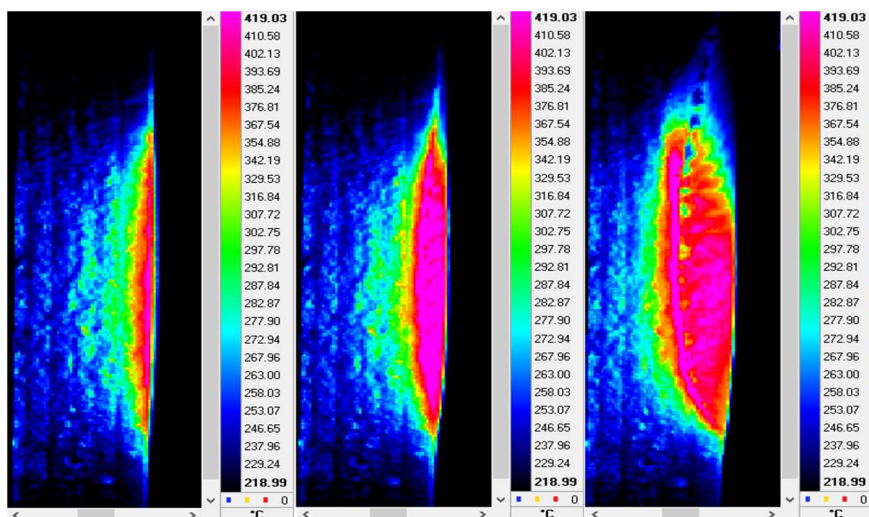
рассматривались экструдированный пенополистирол «Пеноплэкс Комфорт», группа горючести Г4, толщина материала 20 мм; пенополистирол ПСБ-С-25 толщиной 50 мм. Так же в качестве образцов использовалась трехслойная конструкция: образец строительного материала из древесины + теплоизоляционный материал + образец строительного материала из древесины. Далее, каретка с образцом устанавливалась напротив нагревателя с фиксированным зазором. Предварительно, с помощью блока управления, задавалась температура модели АЧТ, которая составляла 1100 °С, с погрешностью поддержания температуры в камере с излучающей никелевой вставкой составляет 1 °С. Расположение образца и оптико-электронной регистрирующей аппаратуры напротив нагревателя выбиралось таким образом, чтобы фиксировать влияние заданного значения теплового потока на торце образца. Тепловое воздействие продолжалось в течение 1 минуты для теплоизоляционного материала и 10 минут для трехслойной системы. Во время всего эксперимента производилась непрерывная съемка на ИК-камеру торцевой части образца при тепловом воздействии. Съемка производилась в спектральном интервале 3,1 – 3,3 мкм, диапазон измеряемых температур 200 – 800 °С.

В результате проведения экспериментов, было исследовано поведение некоторых видов теплоизоляционных материалов при тепловом воздействии в диапазоне 10 – 30 кВт/м². Следует отметить, что влияние теплового потока не приводило к пламенному горению материала, реализовывался, в основном, режим плавления с различной скоростью, которая зависела от величины теплового потока. Характерные скорости плавления исследуемых образцов составили: для пенополистирола 1,68 мм/с (при воздействии тепловым потоком 30 кВт/м²), 0,81 мм/с (при воздействии тепловым потоком 20 кВт/м²), 0,48 мм/с (при воздействии тепловым потоком 10 кВт/м²); для экструдированного пенополистирола 1,24 мм/с (при воздействии тепловым потоком 30 кВт/м²), 0,77 мм/с (при воздействии тепловым потоком 20 кВт/м²), 0,61 мм/с (при воздействии тепловым потоком 10 кВт/м²) (рис. 2).

В результате серии экспериментов проанализирована температура торцевой части образца древесины, непосредственно подвергающегося тепловому воздействию, а также изоляционного материала (рис. 3).

Сравнительный анализ показал, что наличие теплозащитного материала в конструкции, подвергающейся тепловому воздействию, положительно влияет на огнестойкость, что выражается в снижении температуры образца древесины, а также скорости и глубины обугливания. Данная тенденция сохранялась во всех экспериментах как с применением пеноплекса, так и пенополистирола.

а) Экструдированный пенополистирол: Q = 30 кВт/м², шаг по времени t = 3 с;



б) Пенополистирол: $Q = 30 \text{ кВт/м}^2$, шаг по времени $t = 6 \text{ с}$

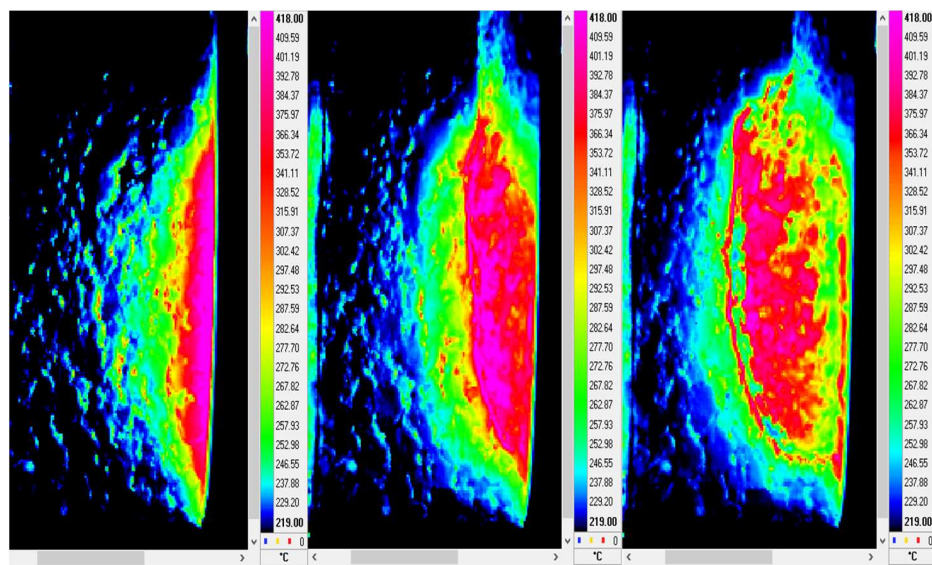


Рис. 2. Последовательность термограмм развития фронта тления на торце рассматриваемых теплоизоляционных материалов при тепловом воздействии в диапазоне $10 - 30 \text{ кВт/м}^2$

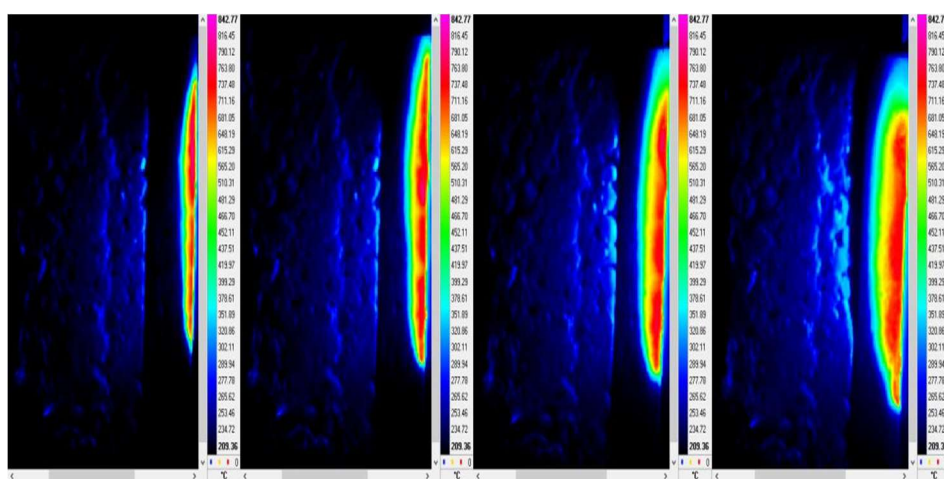


Рис. 3. Типичная последовательность термограмм развития фронта тления на торце модельной трехслойной деревянной сэндвич-панели (120 с): образец древесного материала при тепловом воздействии в диапазоне $10 - 30 \text{ кВт/м}^2$

Выводы

С использованием в качестве излучателя модели абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100 Омского завода ОАО НПП «Эталон» с диапазоном изменения температуры от $100 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ проведено экспериментальное исследование влияния мощности теплового потока на характеристики зажигания и горения некоторых изоляционных материалов на основе пенополистирола с применением бесконтактных методов ИК диагностики в узких спектральных диапазонах инфракрасных длин волн.

В результате проведения экспериментов, было исследовано поведение некоторых видов теплоизоляционных материалов при тепловом воздействии в диапазоне $10 - 30 \text{ кВт/м}^2$. Следует отметить, что влияние теплового потока не приводило к пламенному горению материала, реализовывался, в основном, режим плавления с различной скоростью, которая зависела от величины теплового потока. Характерные скорости плавления исследуемых образцов составили: для пенополистирола $1,68 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 30 кВт/м^2), $0,81 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 20 кВт/м^2), $0,48 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 10 кВт/м^2); для экструдированного пенополистирола $1,24 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 30 кВт/м^2), $0,77 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 20 кВт/м^2), $0,61 \text{ мм/с}$ (при воздействии тепловым потоком 10 кВт/м^2).

Дополнительно был рассмотрен случай системы: образец древесного материала + теплоизоляционный материал + образец древесного материала (деревянная сэндвич-панель). В результате серии экспериментов проанализирована температура торцевой части образца древесины, непосредственно подвергающегося тепловому воздействию, а также изоляционного материала. Сравнительный анализ показал, что наличие теплозащитного материала в конструкции, подвергающейся тепловому воздействию, положительно влияет на огнестойкость, что выражается в снижении температуры образца древесины (более чем на 10 %), а также скорости и глубины обугливания (наблюдалось снижение показателей на 5–7 %). Данная тенденция сохранялась во всех экспериментах как с применением пеноплекса, так и пенополистирола.

Предложена методика оценки теплоизолирующей способности и целостности строительных конструкций с помощью инфракрасной термографии, позволяющая оценивать в динамике изменение площади двумерной проекции обугленной области образца на плоскость, совпадающей с плоскостью наблюдения тепловизора. Апробация произведена на строительных и теплоизоляционных материалах широкого класса применения, активно используемых в строительстве.

Важным является и организация пространства на участке (территории), где расположены потенциально горючие материалы в соответствии с правилами пожарной безопасности, а именно их хранение в специально отведенных для этого местах, обработка элементов конструкций специальными огнезащитными составами и др.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00232).

Литература

1. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение и пожарная опасность древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 21 (1). С. 19–32.;
2. Гришин А. М. Общая физико-математическая модель зажигания и горения древесины // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2010. № 2. С. 60–70. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000461276>;
3. Vabrauskas V. Charring rate of wood as a tool for fire investigations // Fire Safety Journal. 2005. V. 40. P. 528–554. DOI:10.1016/j.firesaf.2005.05.006.;
4. Мельников В.С., Хасанов И.Р., Кириллов С.В., Васильев В.Г., Ванин С.А., Щербаков М.И., Гарсков Р.В. Термографирование при огневых испытаниях фрагментов зданий и строительных конструкций // Пожарная безопасность. 2015. № 3. С. 83–90.;
5. Мельников В.С., Хасанов И.Р., Кириллов С.В., Васильев В.Г., Ванин С.А., Потемкин С.А. Натурные огневые испытания фрагментов зданий из сэндвич-панелей // Пожарная безопасность. 2016. № 2. С. 120–127.;
6. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. М.: Академия ГПС, 2010. 262 с.;
7. Лобода Е.Л., Касымов Д.П., Фильков А.И., Рейно В.В., Агафонцев М.В. Некоторые аспекты исследования в полевых и лабораторных условиях природных пожаров с применением термографии // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тез. докл. XXX Междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО. 2018. С. 295–300.;
8. Kasymov D.P., Agafontsev M.V., Perminov V.V. Estimation of the influence of wood-fire re-tardants on fire behavior of some types of wood construction materials // J. Physics: Conference Series. 2018. V. 1105. P. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1105/1/012039.;
9. Kasymov D.P., Agafontsev M.V., Perminov V.V. Estimation of the influence of wood-fire retardants on fire behavior of some types of wood construction materials // J. Physics: Conference Series. 2018. V. 1105. P. 1–7. DOI:10.1088/1742-6596/1105/1/012039.;
10. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. М.: Мир, 1988. 416 с.;
11. Касымов Д., Агафонцев В., Лобода Е., Лобода Ю., Рейно В. Комплексное экспериментальное исследование методом инфракрасной термографии поведения строительных материалов из древесины в условиях пожара / Nonequilibrium processes: Recent accomplishments. Edited by S. M. Frolov and A. I. Lanshin. Москва, 2020. С. 89-92.