

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (ОБЗОР)

Касымов Д.П., Агафонцев М.В., Лобода Е.Л., Рейно В.В., Луценко А.В., Мартынов П.С.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Россия, г. Томск, Россия
kdp@mail.tsu.ru, kim75mva@gmail.com, loboda@mail.tsu.ru, reyno@iao.ru, lu.anastasik@gmail.ru,
martypavel@bk.ru

Аннотация. В данной работе представлены результаты исследований поведения горючих строительных материалов при тепловом воздействии от горящих частиц природного происхождения. Эксперименты проводились на модельных образцах с использованием модифицированной установки, позволяющей изучать влияние скорости ветра и скопления частиц на процесс возгорания. Результаты показали, что переход к пламенному горению возможен только при воздействии ансамбля частиц, при этом минимальное количество для воспламенения составило 6–10 частиц на площади 50×50 мм. В результате математического моделирования проанализированы режимы теплообмена и зажигания образца древесины в условиях теплового воздействия на него совокупности тлеющих частиц. Работа подчеркивает необходимость учета аэродинамических факторов и локального теплового воздействия при оценке огнестойкости строительных конструкций.

Строительные и отделочные материалы при пожаре подвергаются различным по интенсивности и природе тепловым воздействиям. Распространение пламени может происходить за счет переноса горящих и тлеющих частиц, что является сложным, но распространенным явлением, приводящим к значительным экономическим и социальным последствиям. Оценка огнестойкости материалов и их способности противостоять возгоранию от точечных источников требует стандартизированных лабораторных методов и научно-обоснованных подходов [1].

Ранее была разработана лабораторная установка для изучения воспламенения горючих строительных материалов горящими частицами природного происхождения при различных скоростях ветра. Однако ее конструктивные особенности ограничивали анализ воздушных потоков свыше 2,5 м/с из-за сдувания частиц с поверхности. Для устранения этого недостатка установка была модернизирована на случай моделирования скопления частиц в углах зданий, что часто приводит к возгоранию. Моделирование воздействия потока частиц на горючие строительные материалы проводилось в Большой аэрозольной камере Института оптики атмосферы Сибирского отделения РАН с использованием уникальной установки «Генератор горящих и тлеющих частиц» [2]. На рисунке 1 приведена принципиальная схема проведения эксперимента, а также фотография лабораторно-измерительного оборудования.

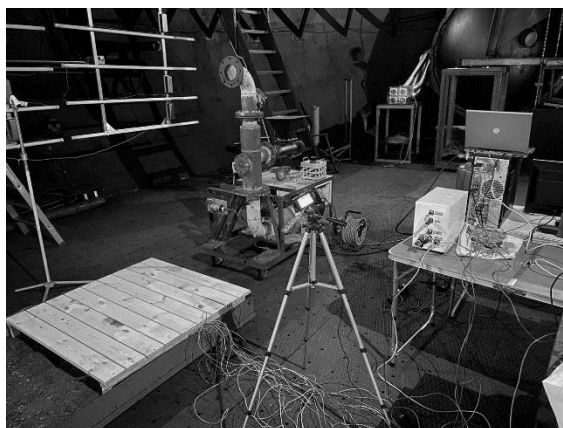


Рисунок 1 – Фотография лабораторно-измерительного оборудования, также характерные образцы горючих строительных материалов

Эксперименты проводились на угловой конструкции из ориентированно-стружечных плит (ОСП, $150 \times 300 \times 18$ мм), установленной на подложку из гипсоволокна или ОСП. В первом случае имитировалось скопление частиц снаружи зданий, во втором — их попадание в вентиляционные системы и кровельные элементы. В качестве частиц использовались сосновые веточки, соответствующие по размерам данным натурных испытаний [3].

Тепловой фон в зоне контакта частиц с конструкцией анализировался с помощью ИК-камеры (3,1–3,3 мкм) при воздействии воздушного потока от теплового фена. Результаты показали, что возгорание не происходило — наблюдалось лишь локальное тление вблизи частиц. Переход к пламенному горению возникал только при групповом воспламенении частиц под действием воздушного потока, после чего тление распространялось по стенкам конструкции.

Дополнительные испытания проводились в Большой аэрозольной камере ИОА СО РАН с использованием генератора горящих и тлеющих частиц. Термографический анализ зафиксировал температуру частиц при падении (490–650 °C) и на выходе из генератора (750–800 °C). Минимальное количество частиц, необходимое для воспламенения древесины на площади 50×50 мм, составило 6–10 шт.

Кроме этого, была оценена скорость воздушного потока в окрестности выходной части генератора горящих и тлеющих частиц двухкомпонентной (2d) лазерной доплеровской измерительной системой для диагностики газожидкостных потоков ЛАД-05. Предварительные результаты позволяют судить о предельно допустимых расстояниях, на которые способны улететь частицы природного происхождения с характерными размерами, типичными для лесных пожаров различной интенсивности. Для визуализации полученных данных был разработан программный код в среде Matlab. Результат работы программы представлен на рисунке 3.

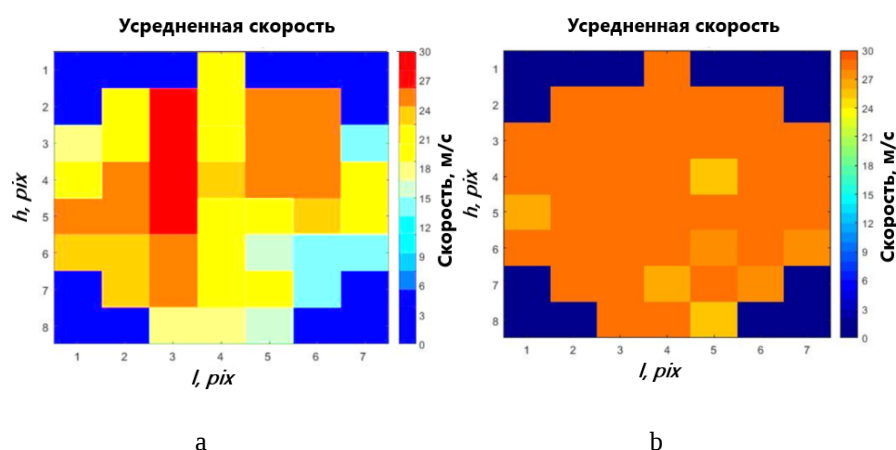


Рисунок 2 – Визуализация усредненной (а) и максимальной (b) скорости в контрольной точке

Исследование демонстрирует важность учета аэродинамических факторов и скопления частиц при оценке пожарной безопасности строительных конструкций.

Следует отметить, что задача не сводится лишь к практическим аспектам противопожарной защиты зданий и сооружений на основе древесины, но и является заделом для улучшения физико-математической теории природных пожаров и позволяет продвинуться в понимании процессов образования, переноса горящих частиц и их потенциала воспламенить горючие материалы и инициировать пятнистые пожары.

В [4] была разработана простая модель тепло- и массопереноса для описания процесса воспламенения целлюлозных изоляционных материалов в результате аккумуляции горящих и тлеющих частиц. Однако процесс воспламенения обычных деревянных строительных материалов органическими частицами сильно отличается, и подобные исследования редки. Было сделано лишь несколько попыток смоделировать процесс воспламенения таких материалов органическими горящими частицами. В [5] была разработана простая инженерная модель для прогнозирования воспламенения обычных строительных материалов множеством горящих и тлеющих частиц. Модель использовала изменяющиеся во времени данные о

теплопередаче и свойства материалов, разработанные экспериментальным тестированием. Модель использовалась для прогнозирования возгорания конкретных строительных материалов с различными множествами горящих и тлеющих частиц, но не учитывала теплопередачу между древесиной и газовой фазой, испарение влаги в образце древесины и диффузию водяного пара в зоне пиролиза

В настоящее время разработана физико-математическая модель зажигания слоя древесины тлеющими частицами которая позволяет определить характеристики теплообмена и рассчитывать времена зажигания [6]. Для частиц малых размеров, запасенного в них тепла оказывается недостаточным для инициирования процесса зажигания. Интенсивный теплообмен с окружающей средой частиц малых размеров приводит к прекращению тления частицы и ее охлаждению. Для инициирования процесса зажигания тлеющая частица должна обладать значительной тепловой энергией. А так как максимальная температура частицы ограничена температурой тления, то увеличение теплового содержания частицы возможно только при увеличении размера частицы. Таким образом, только тепловая энергия частиц больших размеров может обеспечить режим зажигания

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН.

Литература

1. *Manzello S., Suzuki S.* Towards Understanding Ignition Vulnerabilities to Firebrand Showers using Reduced-scale Experiments // *Fire and Materials*. 2021. V. 47(6). doi:10.1002/fam.3125.
2. Патент РФ на полезную модель № 183063. Генератор горящих и тлеющих частиц / *Касымов Д.П., Перминов В.В., Фильков А.И., Агафонцев М.В., Рейно В.В., Гордеев Е.В.* Дата регистрации 07.09.2018.
3. *Kasymov D.P., Agafontsev M.V., Perminov V.V., Loboda E.L., Loboda Yu.A., Reino V.V., Orlov K.E.* Ignition Resistance of Wood Building Structures Exposed to a Firebrand Shower // *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 2023. Vol. 59(2). – P. 206-214. doi: 10.1134/s0010508223020119.
4. *Arruda M.R., Cantor P., Bicelli A., Franco B.* Thermal reaction of firebrand accumulation in construction materials // *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 20, 2024, Pp. 1-17. doi: 10.1016/j.cscm.2024.e02985.
5. *Bearinger E., Lattimer B.Y., Hodges J.L., Rippe C. and Kapahi A.* Statistical Assessment of Parameters Affecting Firebrand Pile Heat Transfer to Surfaces // *Frontiers in Mechanical Engineering*. Vol. 7, 2021, article number 702181. <https://doi.org/10.3389/fmech.2021.702181>.
6. *Матвиенко О.В., Луценко А.В., Касымов Д.П., Лобода Е.Л.* Численное моделирование теплообмена и зажигания древесины в результате воздействия горящих частиц // *Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: XXVIII Международный симпозиум, Томск, 04–08 июля 2022 года.* – Томск: 2022. – С. D340-D343.