

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА НА ЭЛЕМЕНТЫ ДЕРЕВЯННОГО СТРОЕНИЯ

С.А. Мязина

Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н.Бутакова, группа 5БМ14

Настоящая работа посвящена теоретическому исследованию теплопередачи в ограждающих конструкциях деревянного строения, подвергнувшегося воздействию фронта лесного пожара. В этой статье рассматривается воздействие теплового потока от фронта лесного пожара только на ограждающие конструкции деревянного строения в сельской местности.

Ключевые слова: математическое моделирование; лесной пожар; древесина; строение; воздействие.

Лесные пожары – это катастрофическое явление, наносящее экологический, экономический и социальный ущерб [1].

В качестве физической модели был взят однокомнатный деревянный дом, расположенный недалеко от лесного пожара. Фронт огня распространяется с небольшой скоростью при отсутствии ветра. Ограждающие конструкции этого здания представлены в виде двухслойной плиты. Первый слой – облицовка, второй – дерево.

Основной параметр безопасности деревянной конструкции – факт возгорания (или воспламенения) ограждающей конструкции деревянного здания при достижении достаточной температуры поверхности.

Были сделаны следующие предположения:

- Механизм теплопроводности в ограждающих конструкциях существует;
- Теплофизические свойства строительных материалов не зависят от температуры;
- Предполагается катастрофический сценарий пожарной погоды, когда в поверхностном слое стены нет влаги;
- Пиролиз древесины игнорируется;
- Основным механизмом передачи тепла от линии огня к зданию является конвекция.

В целях математического моделирования стены деревянного строения можно упрощенно представить, как слоистую структуру, на которую оказывают воздействия тепловой поток от фронта лесного пожара. Так как стена деревянного дома состоит из двух основных слоев – древесина и теплоизоляционный/облицовочный материал, то в качестве идеальной модели была рассмотрена одномерная двухслойная модель деревянного строения (рисунок 1), в которой тепло передается посредством теплопроводности.

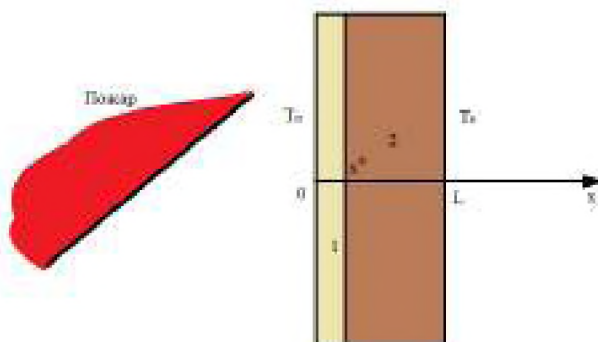


Рис. 1. Геометрическая постановка задачи [2]

Теплофизические характеристики древесины и облицовочных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Теплофизические характеристики древесины и облицовочных материалов [1]

| Материал | $c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ | $\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | $\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ |
|------------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| Сосна | 1670 | 500 | 0,12 |
| Береза | 2200 | 650 | 0,28 |
| Облицовочный картон | 2300 | 100 | 0,18 |
| Асбестовый картон [3] | 1500 | 1600 | 0,4 |
| Сайдинг блок-хаус хвоя [4] | 2700 | 500 | 0,14 |
| Базальтовый утеплитель ПТЭ-100 [5] | 840 | 100 | 0,038 |

Теплофизические характеристики различных видов пожаров представлены в таблице 2.

Таблица 2. Теплофизические характеристики различных видов пожаров [1]

| Вид пожара | T, К | $\alpha, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ |
|-------------------------------------|------|---|
| Огненный смерч | 1200 | 200 |
| Верховой | 1100 | 150 |
| Низовой пожар высокой интенсивности | 1000 | |
| Низовой пожар низкой интенсивности | 900 | 80 |

На рисунке 2а представлены результаты моделирования воздействия низового лесного пожара высокой интенсивности на слоистую структуру деревянного строения, выполненных из сосны и различных видов облицовочных материалов. Сравнительный анализ показывает, что слой – асбестовый картон, наименее восприимчив к нагреву. Кроме того, разница в температуре поверхности составляет около 120 К между различными слоями облицовочных материалов.

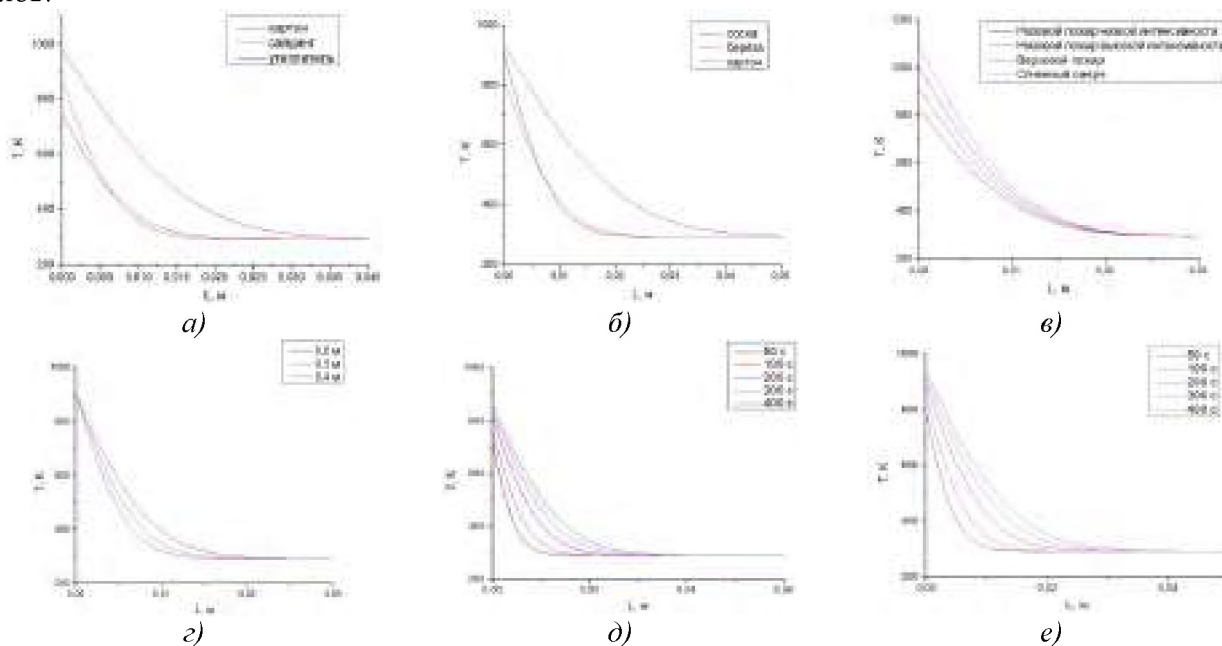


Рис. 2. Распределение температуры в слоистой структуре деревянного строения:

а) выполненных из сосны и различных видов облицовочных материалов при условии низового пожара высокой интенсивности и времени воздействия 200 сек; б) выполненных из различных видов облицовочных материалов и сайдинга «блок-хаус хвоя» для при условии низового пожара высокой интенсивности и времени воздействия 200 сек; в) выполненных из сосны и сайдинга «блок-хаус хвоя» при условии различных видов пожаров и времени воздействия 300 сек; г) выполненных из сосны и сайдинга «блок-хаус хвоя» при условии различной толщины материалов и времени воздействия 200 сек; д) выполненных из берёзы и сайдинга «блок-хаус хвоя» при условии низового пожара высокой интенсивности и различной времени воздействия; е) выполненных из берёзы и сайдинга «блок-хаус хвоя» при условии верхового пожара и различной времени воздействия

На рисунке 2б представлены результаты моделирования воздействия низового лесного пожара высокой интенсивности на слоистую структуру деревянного строения, выполненных из различных видов облицовочных материалов и сайдинга «блок-хаус хвоя». Как показывает анализ результатов, приведенных на рисунке 2б, температура поверхностного слоя выше критической для любого типа облицовочного материала. Кроме того, облицовочный слой нагревается на глубину 1 см. Разница в температуре поверхности и поверхностного слоя 40–80 К не имеет значения. Все виды облицовки опасны. Следует предположить, что в этом случае владелец здания может использовать только предварительные меры для минимизации ущерба, а именно удаление кустарников и прокладку минерализованных полос на определенном расстоянии от здания. В качестве альтернативы, человек должен покинуть здание, чтобы избежать травм, ожогов и смерти.

Представлены результаты моделирования воздействия на слоистую структуру деревянного строения, выполненных из сосны и сайдинга «блок-хаус хвоя»: на рисунке 2в различных видов лесного пожара, на рисунке 2г низового лесного пожара высокой интенсивности. Как было установлено в результате моделирования, стена нагревается в основном на стадии, предшествующей воспламенению, и нагрев происходит в поверхностных слоях облицовки толщиной около 2 см. Сравнительный анализ показывает, что более тонкие слои материалов, наименее восприимчивы к нагреву.

Представлены результаты моделирования воздействия на слоистую структуру деревянного строения, выполненных из берёзы и сайдинга «блок-хаус хвоя»: на рисунке 2д низового лесного пожара высокой интенсивности, на рисунке 2е верхового лесного пожара. Сравнительный анализ показывает, что с увеличением длительности воздействия лесного пожара на деревянное строение, увеличивается температура нагрева.

В данном исследовании была решена важная научная и прикладная задача, а именно создание инженерного подхода к мониторингу устойчивого функционирования и развития сельских поселений, промышленных объектов и зон отдыха на основе сценарного моделирования воздействия фронта лесного пожара на ограждающие конструкции деревянного здания с использованием упрощенной физически обоснованной математической модели теплопередачи. Были рассмотрены сценарии воздействия лесных пожаров низкой и высокой интенсивности. В результате математического моделирования были получены распределения температуры по материалу, а также определены условия воспламенения на основе экспериментальных данных. Предлагаемый упрощенный математический модель и полученные результаты могут быть использованы в практике защиты промышленных объектов или сельских населенных пунктов от лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Baranovskiy N., Malinin A., *Mathematical Simulation of Forest Fire Impact on Industrial Facilities and Wood-Based Buildings* – Tomsk. 2020.
2. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. С. 8-73.
3. Термоизол.com URL: <https://termoizol.com/polnaya-tablitsa-teploprovodnosti-razlitchnhstroitelnyh-materialov.html> (дата обращения 12.05.2021).
4. Леруа Мерлен в Новосибирске – URL: <https://novosibirsk.leroymerlin.ru/product/blok-haus-hvoya-28h146h3000-mm-sort-optima-3-sht-1-31-m-81947969/#nav-characteristics> URL: (дата обращения 12.05.2021).
5. Утепли ВСЕ. URL: <https://утепливсе.рф/stat/1428075110.html#:~:text=Характеристика%20ПТЭ-100%3A%20Плотность%3A%2084%20,-120%20до%20%2B700%20%20Упаковка%20ПТЭ-100%3A> (дата обращения 12.05.2021).
6. N.V. Baranovskiy, A.O. Malinin. *Mathematical Simulation of Heat Transfer in the Structures of a Passenger Carriage Under the Influence of Forest Fires // International Review on Modelling and Simulation* this. 2021. – Vol. 14(4), P. 231–241.

7. Vitaly Sergeev, Igor Ilin, Alexey Fadeev Transport and Logistics Infrastructure of the Arctic Zone of Russia // Transportation research procedia – Vol. 54 – 2021. – P. 936-944.
8. Kai Liu, Ming Wang, Tianjun Zhou Increasing costs to Chinese railway infrastructure by extreme precipitation in a warmer world // Transportation Research Part D – Vol. 93 – 2021. – P. 1-13.
9. Zhujun Chen, Mingkun Jiang, Lingfei Qi, Wu Wei, Ziyi Yu, Wendong Wei, Xinhai Yu, Jinyue Yan Using existing infrastructures of high-speed railways for photovoltaic electricity generation // Resources, Conservation & Recycling – Vol. 178 – 2021. – P. 1-12.

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Н.В. Барановский, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ВЛИЯНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ДОБАВОК К ГЕЛЕОБРАЗНЫМ ТОПЛИВАМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОВЗРЫВНОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

А.О. Плешко¹, К.К. Паушкина²
Томский политехнический университет
ИШФВП, группа А2-13¹, группа А1-13²

В настоящее время актуальным направлением развития теории горения конденсированных веществ является исследование процессов зажигания и горения гелеобразных топлив, которые по агрегатному состоянию занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми топливами и сочетают их преимущества, как в плане относительно высоких энергетических и экологических характеристик, так и показателей безопасности при хранении [1]. Одним из широко известных способов повышения энергетических характеристик таких топлив является добавление в их состав мелкодисперсных частиц [2]. Наличие таких частиц в составе гелеобразного топлива может оказывать положительное влияние на характеристики микровзрывного диспергирования при зажигании и горении частиц топлива [3]. Топлива с добавлением мелкодисперсных металлических порошков представляют большой интерес для ракетно-космической отрасли из-за их повышенных энергетических характеристик процесса горения [4]. Металлы в качестве топливной добавки оказывают положительный эффект на повышение скорости и стабильности горения, снижение чувствительности топливного заряда к детонации, упрощение транспортировки и распыления и другие характеристики. В связи с этим перевод жидких топлив в гелеобразное состояние для модификации состава мелкодисперсными частицами металлов с целью улучшения их характеристик является достаточно перспективной задачей.

До настоящего времени не предпринимались попытки систематического изучения процессов зажигания и горения гелеобразных топлив на основе криогелей (характеризующихся трехмерной упруго-деформируемой структурой) с добавлением различных мелкодисперсных частиц (металлических и неметаллических). Поэтому целью данной работы является экспериментальное исследование с использованием программно-аппаратного комплекса высокоскоростной видеорегистрации процессов зажигания и горения одиночных частиц групп составов гелеобразных топлив, содержащих твердые мелкодисперсные металлические и неметаллические включения, в высокотемпературной неподвижной воздушной среде в условиях диспергирования капель расплава при интенсивном нагреве.

Исследования характеристик микровзрывного диспергирования выполнены с использованием экспериментального стенда [5] для одиночных частиц маслonaполненных криогелей на основе 10 %-го водного раствора поливинилового спирта как без твердых включений (состав No. 1), так и с добавлением 30 % мас. мелкодисперсных твердых компонентов: углеродистых микрочастиц (состав No. 2), а также наночастиц алюминия (состав No. 3), железа (состав No. 4) и меди