

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2022 году

по проекту «**Математическое и физическое моделирование процесса тепло- и массопереноса композиционных материалов в условиях пожара**»,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-21-00068

Руководитель: Якимов Анатолий Степанович, д-р техн. наук

1. Разработана и апробирована двухмерная по пространству сопряженная физико-математическая модель прогрева многослойного контейнера из деревянных строений на основе огнезащитного вспучивающегося покрытия (ОВП). В качестве ОВП (1 слой) использовался огнезащитный состав СГК-1, в качестве второго слоя выступала древесина, в качестве третьего слоя – был изоляционный материал (асбестоцемент).

2. Разработан метод численного решения неоднородной задачи прогрева составного тела (многослойного контейнера) на основе итерационно-интерполяционного метода (ИИМ) и теории линейных операторов. Использование аналога метода расщепления заключалось в поочередном интегрировании по пространственным переменным. Данная технология распространяется (обобщается) на трехмерные по пространству краевые задачи.

3. Созданы программные модули для расчета характеристик сопряженного тепло-массопереноса огнезащитного вспучивающегося состава (СГК-1), входящего первым защитным слоем в многослойную конструкцию. Для проверки программы расчета этого модуля для ОВП (СГК-1) были повторены результаты решения задачи в одномерной постановке по пространству из статьи [1].

4. Подана заявка на РИД. Получено СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022615698: Программа численного решения дифференциального уравнения в частных производных многослойной области в сопряженной постановке «COUNT», автор – Якимов А.С.

5. На основе экспериментальных [2, 3] и апробированных теоретических результатов [1, 4] дана уточненная постановка задачи о термохимическом разрушении в многослойном композиционном материале. Для получения надежных теоретических результатов необходимо учитывать специфику внутренней структуры ОВП при нагревании: тепловыделение от термического разложения и перетекания тепла поперек таблетки. Учет третьего слоя ОВП в многослойном теле уменьшает вероятность разрушения защищаемого второго слоя при ограниченном времени воздействия пожара ($t_k < 20$ мин.), что согласуется с известными данными [1].

Для изучения влияния слоя ОВП на тепловую защиту проницаемой древесины была решена задача прогрева при отсутствии этого слоя. Рассматривался одномерный (по x) и двухмерный (по x, r) процесс нагрева двухслойного тела (сплошная сталь-асбестоцемент) от времени при наличии и отсутствии перетекания тепла по

поперечной координате r . Сравнивалась температура стыка первого и второго слоя T_c в центре $r = r_c$. Отличие перепада температур на участке времени прогрева $t = 5 - 20$ мин. составило 290–340 К. Это подтверждает учет перетекания тепла и для трехслойного (наличие слоя ОВП) тела при прогреве в условиях пожара.

6. Проведены лабораторные экспериментальные исследования воздействия очага пожара на образцы древесины из березы и сосны. Для эксперимента был подготовлен полигон-короб, наполненный землей. В коробе перед образцом древесины, расположенном в вертикальном положении, устанавливалась подложка со степным горючим материалом (СГМ). Регистрация температуры осуществлялась с помощью термопар типа К. Измерение полей температуры на поверхности образцов осуществлялось с помощью ИК-камеры JADE J530SB с узкополосным дисперсионным оптическим фильтром со спектральным интервалом 2.5–2.7 мкм, позволяющим измерять температуру в диапазоне 583–1773 К с погрешностью, не превышающей 1 %. Технические данные тепловизора позволили регистрировать пламя с частотой 50 кадров в секунду. Съемка производилась с расстояния 1 м и была направлена на определение температуры на поверхности деревянных образцов при воздействии очага горения. Перед началом опытов производился контроль влагосодержания образцов анализатором влажности AND MX-50 (точность прибора равна 0.01 %), масса образцов контролировалась с помощью электронных весов AND NL-400 с точностью 0.1 г. В результате использования метода ИК-диагностики [5, 6] были получены термограммы последовательности распределения температуры, а также теплонапряженные участки на поверхности исследуемых образцов древесины, которые концентрировались в центральной части образцов, о чем свидетельствовали термопарные измерения.

7. Экспериментально проанализировано влияние огнезащитного состава для древесины «МИГ-09» на пожароопасные свойства образцов древесины из березы, сосны, ели, пихты. Размер всех образцов составлял 200×200 мм.

Исследование проводилось в лабораторных условиях с использованием метода ИК-диагностики, оценивались поля температур и время остывания образцов. Очагом горения выступал модельный низовой пожар с использованием степного горючего материала (СГМ). Максимальная температура, которая достигалась на поверхности исследуемых образцов без антипирена, составляла: для ели – 670 К, для пихты – 700 К; для березы – 610 К, для сосны – 660 К, а с покрытием: для ели – 487 К, для пихты – 510 К; для березы – 483 К, для сосны – 490 К.

Огнезащитный состав наносился кистью на фронтальную часть образца и торцы, в равной пропорции для каждого сорта древесины, согласно рекомендациям производителя. В экспериментах также использовались инфракрасная камера научного класса JADE J530SB с использованием оптического фильтра, с рабочей длиной волны 2.5–2.7 мкм, позволяющего регистрировать температуру в диапазоне 583–1773 К, оценивались поля температур и время остывания образцов.

Для каждого сорта древесины проводилось по три эксперимента. При сравнительном анализе было выявлено, что вне зависимости от сорта древесины,

огнезащитный состав проявляет себя идентично. При воздействии модельного очага низового пожара на образцах образовывался карбонизированный слой, препятствующий быстрому прогреву образцов. Разница температур для каждого сорта древесины обусловлена плотностью и глубиной впитывания.

8. Подана заявка на РИД (экспериментальная часть проекта): Программный модуль для фиксации и анализа теплоизоляционной способности пористых материалов в условиях пожара.

9. Молодежная научная конференция «Все грани математики и механики» (г. Томск, 23–27 мая 2022 года) участие с устным докладом на тему: «Моделирование зажигания строительных материалов частицами, нагретыми до высокой температуры», докладчик Голубничий Е.Н.

10. XXIII Всероссийская конференция «Конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям» (г. Новосибирск 24–28 октября, 2022 года) участие с докладом на тему: «Экспериментальное исследование воздействия очага горения на некоторые образцы материалов на основе древесины», докладчик Голубничий Е.Н.

11. Направлена и принята в печать статья (февраль 2022 года): журнал «Теплофизика высоких температур» /Д.П. Касымов, В.В. Перминов, А.А. Шевлякова, А.С. Якимов «Математическое моделирование процесса теплообмена в композиционных материалах при действии пожара».