

Сведения о выполненных работах и полученных научных результатах
в период с 01.07.2024 г. по 30.06.2025 г.

по проекту **«Комплексное теоретико-экспериментальное исследование характеристик природного пожара и конденсированных продуктов горения, с целью их дистанционного обнаружения и прогноза распространения»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 24-71-10029

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Касымов Денис Петрович

В соответствии с задачами научного проекта и планом работ на первый год выполнения исследования:

1. Проведен комплекс экспериментальных исследований с возникновением верхового лесного пожара на реконструированном модельном пологом леса в полунатурных условиях. По результатам непрерывной съемки процесса горения была проведена оценка скорости движения фронта по трем реализациям в разный период времени, в течение одного дня. Помимо регистрации мгновенных полей температуры, одновременно была проведена регистрация метеопараметров в момент проведения эксперимента с использованием ультразвуковой метеостанции АМК-03, которая была расположена вблизи с основным участком горения. Регистрация метеопараметров осуществлялась на трех высотах: 3 м, 6 м, 10 м. На основании анализа мгновенных термограмм получена оценка скорости распространения фронта горения. Для первого эксперимента скорость фронта горения составила 5-18 см/с, для второго – 5,4-25,5 см/с, для третьего – 2,7-5 см/с.

2. Исследовано влияние масштабного эффекта на турбулентность в зоне горения и показатели турбулентности в атмосфере в окрестности зоны горения. Поле температур во фронте пожара и структура пламени контролировались при помощи инфракрасной камеры JADE J530SB с частотой съемки 50 кадров/сек в узком спектральном интервале 2,5-2,7 мкм.

Анализируя изменения полученных масштабов турбулентности в пламени очевидно, что в результате экзотермических реакций наблюдается некоторое увеличение размеров турбулентных структур вследствие расширения. В дальнейшем эти турбулентные структуры, по мере завершения окислительных реакций, поднимаются вверх и формируют индуцированную атмосферную турбулентность, внутренние масштабы которой незначительно отличаются от масштабов турбулентности в пламени. Соответствующие турбулентные структуры поднимаются вверх за счет конвективных процессов и сохраняются вплоть до высоты 10 м.

В результате анализа полученных данных, масштабы турбулентности в средней части пламени варьируются в пределах от 0,1 м до 1,5 м, а в верхней части пламени: 0,1-0,9 м.

Были также получены масштабы турбулентности для атмосферы на разной высоте: 3, 6 и 10 м. Масштабы турбулентности на высоте 3 м варьируются в интервале 0,09-2,4 м; на высоте 6 м 0,1-3,9 м; на высоте 10 м: 0,1-12 м.

3. Проанализированы экспериментальные данные о характеристиках турбулентности в атмосфере (изменение с высотой структурных постоянных показателя преломления и флуктуации температуры, энергетические спектры, спектры пульсации температуры).

В результате интенсивного тепловыделения в зоне горения и диссипации турбулентных структур в пламени формируется индуцированная атмосферная турбулентность в окрестности очага горения, которая проявляется в пульсациях температуры воздуха и структурных постоянных флуктуации температуры ST^2 , скорости ветра Cv^2 , а также показателя преломления Cn^2 , полученного оптическим и акустическим способами. Турбулентные процессы в конвективной колонке в атмосфере приводят к пульсациям гидродинамических и термодинамических параметров (плотность, скорость, температура и др.). Отмечается, что динамика и изменение этих величин при возникновении низового и верхового пожаров схожи, а максимальные значения на порядок выше фоновых и незначительно отличаются для разных типов пожаров. Следует отметить, что флуктуации коэффициента преломления и температуры является отражением протекающих турбулентных процессов, т.е. показывают наличие индуцированной атмосферной турбулентности, которая регистрируется даже не непосредственно над очагом горения. Этот факт следует рассматривать как характерный признак природного пожара, который может быть использован для разработки способа дистанционного обнаружения очага пожара.

4. В результате экспериментов были получены данные о переносе конденсированных продуктов горения и их характеристик (размер частиц) на разной высоте и разном удалении от очага горения. Перенос аэрозольных продуктов горения контролировался с помощью сети наземных датчиков PMS 7003, расположенных на высоте 2 м на разных расстояниях (до 105 м) от очага горения, а также один датчик был закреплен на БПЛА и регистрировал концентрацию аэрозольных частиц на высоте до 30 м. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что на высоте 20 м, исходя из концентрации продуктов горения аэрозоля, надежно регистрируется дымовой шлейф от лесного пожара на существенно большем расстоянии.

5. Разработана физико-математическая модель зажигания слоя древесины тлеющими частицами, которая позволяет определить характеристики теплообмена и рассчитывать времена зажигания.

В результате численного моделирования сделаны некоторые выводы:

А) 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.

Б) Влияние ветра на теплообмен и зажигание слоя древесины является неоднозначным. Обдув тлеющей частицы и слоя древесины приводит к значительному разбавлению и уносу продуктов пиролиза от тлеющей частицы, а

также к понижению температуры и тепловой энергии частицы. Результаты расчетов показывают, что увеличение скорости ветра до 2 м/с препятствует зажиганию одиночной частицы и небольшой (2, 3) совокупности частиц, однако способствует зажиганию большой совокупности близкорасположенных частиц.

В) В результате проведенных исследований выполнено численное моделирование зажигания древесины в результате теплового воздействия горящих частиц различной формы с учетом их взаимного расположения, ориентации относительно друг друга и направления ветра. Проведен анализ влияния формы частиц на процессы теплообмена и зажигания. В частности, рассматривались частицы неправильной формы. В этом случае реализуется высокотемпературный режим. Это объясняется тем, что вблизи угловых точек увеличивается контакт древесины с тлеющими частицами. В результате этого интенсивность прогрева в этой зоне возрастает. С другой стороны, наличие изломов и разветвления частицы изменяют картину обтекания и формируют застойные зоны, в которых существенно уменьшается интенсивность теплоотвода.

6. В рамках выполнения первого этапа проекта опубликовано 6 работ, в том числе 1 статья, индексируемая базами научного цитирования RSCI, Scopus. 3 статьи принято к публикации в журналах, индексируемых базами научного цитирования RSCI, Web of Science, Scopus. Промежуточные результаты проекта докладывались на 8 международных и всероссийских конференциях.