Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Механико-математический факультет
Кафедра физической и вычислительной механики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р. физ.-мат. наук, профессор
_____А.В. Старченко
«_16_»_июня_2017 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА.

по основной образовательной программе подготовки бакалавров
направление подготовки 01.03.03- Механика и математическое моделирование

Ромащенко Владислава Анатольевна

Руководитель ВКР
кан. физ.-мат наук, доцент
_____В.Н. Фатеев
подпись
«_____»_____2017 г.

Автор работы
студент группы №04304
_____В.А. Ромащенко
подпись

Томск-2017

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, двух разделов, выводов, списка использованной литературы. Работа содержит 31 страницу текста, 8 рисунков и 10 таблиц.

Первый раздел выпускной квалификационной работы представляет собой обзор российских и зарубежных литературных источников по тематике, описывается перенос тлеющих и горящих частиц при природных пожарах. Обзор литературных источников подтверждает актуальность темы работы, обоснованность целей, задач и методов экспериментальных и численных исследований.

Во втором разделе описывается экспериментальная установка и методика проведения эксперимента по исследованию процесса тления частиц в потоке воздуха. Представлены результаты эксперимента.

В выводах содержатся основные научные результаты, полученные в результате проведенных исследований.

Ключевые слова: тлеющие частицы, пожары, WUI - природно - урбанизированная территория.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
1. Перенос тлеющих и горящих частиц при природных пожарах 11
2. Экспериментальное исследование частиц, тлеющих в потоке воздуха 14
2.1 Экспериментальная техника и методика проведения эксперимента..... 14
2.2 Результаты экспериментов и обработка полученных данных 17
Заключение 28
Список литературы 29

Введение

Природные пожары происходят по всему миру приводя не только к огромным экономическим затратам, но также угрожают здоровью и жизни человека, уничтожают лесную растительность и биомассу, что, в свою очередь, влечет значительную эрозию почв под воздействием воды и ветра. За период с 2015 по 2016 гг. ежегодно в России в среднем происходило 285 тыс. пожаров и выгорало более 45 млн. га покрытой лесом площади и прочих земель. Самые крупные выгоревшие площади отмечались в США, Канаде, Бразилии, Португалии, России, Польше, Испании, Венгрии, Аргентине и др. странах.

В июле и августе 2010 года в результате аномально высокой температуры и длительного отсутствия осадков площадь лесных пожаров в нашей стране, по данным Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, составила более 2,1 млн. га, сгорело около 2,5 тыс. жилых домов, а общий материальный ущерб оценивается в 85,5 млрд. руб. В 2011 году лесными пожарами была охвачена Сибирь и Дальний Восток, по данным космоснимков огнем пройдена площадь около 10 млн. га. Огромный урон пожарами наносится и Гослесфонду. По данным Росстата [1] площадь погибших лесных насаждений в России за 10 лет (с 2000 по 2009 гг. включительно) составила 4,7 млн. га. Из них почти 68% погибло от пожаров и сгорело на корню более 290 млн. куб. м. древесины. Среднее число пожаров за указанные 10 лет составило почти 28 тыс. возгораний в год, а потери древесины – 29,1 млн. куб. м. в год.

Ситуация с природными пожарами за рубежом в последние годы также остается напряженной, о чем свидетельствуют пожары в Греции (2007, 2009 гг.), США (2009, 2011, 2013 гг.), Португалии (2003, 2005 гг.), Австралии (2009, 2015 гг.).

Вопросам, связанным с изучением возникновения и распространения природных пожаров, посвящено множество работ как российских, так и

зарубежных авторов. Физико-математическому исследованию лесных пожаров относятся работы Конева Э.В [2], Гундара [3], Гришина А.М.[4], Доррера Г.А. [5], F.A. Albini [6], R.C. Rothermel [7].

Как показывает практика, количество разрозненных очагов возгорания, либо крупномасштабных пожаров, не уменьшается год от года, несмотря на усовершенствование систем прогноза систем лесной пожарной опасности. В последнее время очаги возгорания возникают в более отдаленных и заболоченных местностях, что осложняет доставку техники для их локализации. Отчасти это связано с расширением хозяйственной деятельности человека, что повышает риск появления пожара, а также вырубку доступных лесных ресурсов. Пожары в зоне раздела природной и городской сред (WUI) распространяются как при помощи растительных, так и конструкционных горючих материалов. Эти пожары могут возникать в любом типе горючих материалов, но, как правило, начинаются с природных горючих материалов по естественной (например, удары молний) или искусственной (например, костры, неуправляемые предусмотренные пожары, вышедшие из строя или искрящиеся линии электропередач, поджоги) причинам. По своей сути, проблемы пожаров на WUI это проблема конструкционного возгорания и самый лучший подход, направленный на снижение тяжести проблемы заключается в снижении потенциала конструкционного возгорания (например, Коэн, 2008).

По этой причине, текущее состояние и необходимость проведения исследований в другом аспекте относительно проблемы пожаров на WUI, такие как ликвидация природных пожаров или эвакуация крупных территорий здесь рассматриваться не будет. Причиной исходного конструкционного возгорания на WUI территории преимущественно является воздействие потока тепла от огня или тлеющих угольков от природного пожара. Поскольку конструкционные материалы и растительность в населенных пунктах подвержены горению, то они тоже могут внести существенный вклад в непрерывное распространение пожара на

WUI территории (Cohen 1995). Вероятность возгорания конструкций зависит как от физических свойств (например, кровельный материал, доски, вентиляционные отверстия), так и от условий воздействия факторов пожара (например, масштабы и продолжительность теплового потока от пламени и тлеющих угольков). Пожары на WUI представляют серьезную угрозу для многих стран. Разрушительные пожары на WUI произошли во Флориде в 1998, Южная Калифорния в 2003 и 2007 году, в Греции в 2007 году, и недавно в Виктории, Австралии в 2009 году. Такие пожары могут принести повреждения на миллиарды долларов. Авторы хорошо знакомы с текущим состоянием инструментария и исследований, связанных с пожарами на WUI в США. По этой причине, статья будет сфокусирована на проблеме пожаров на WUI в США. Цель (и организационная структура) данной статьи это обзор проблемы пожаров на WUI, краткий обзор современных подходов к решению проблемы пожаров на WUI и снижению конструкционных возгораний, обсуждение и оценка дальнейших исследований, а также обзор текущей работы в Национальном институте стандартов и технологий (NIST), рассматривающую необходимость исследований.

Несмотря на споры о пожарной статистике, самые значительные пожары произошли в новейшей истории. Некоторые из этих событий включают в себя Черную субботу (2009 года в Виктория, Австралия), пожар, который привел к гибели 173 человек и уничтожил свыше 2000 строений, несколько пожаров в Средиземноморье, включая пожары в Португалии, Франции и Испании в 2003 году, крупнейший пожар Вальпараисо, Чили в котором погибло 16 человек и уничтожено более 2500 построек. В Сибири в 2015 весной бушевали природные пожары, перекинувшиеся на несколько десятков населенных пунктов. В Хакассии огонь охватил почти 40 населенных пунктов. Около 5 тысяч человек остались без жилья, погиб 31 человек. По данным властей республики, в Хакасии полностью сгорели или оказались повреждены огнем 1,7 тысячи домов. Увеличение пожаров на природно-урбанизированной территории наблюдаются во всем мире,

особенно в Бразилии, Австралии, Китае, России, США, и Средиземноморье. Огромные пожары в США , такие как пожар в 1991 года в Окленд Хилз, в 2012 в Вальдо-Каньоне и в 2003, 2007 и 2014 в Сан-Диего служат в качестве постоянного напоминанием об угрозе крупных лесных пожаров на природно-урбанизированной территории. Наглядно проблема представлена на рис. 1., который отображает годовые потери населенных пунктов и жилых домов в период с 1999 по 2013 гг в США и Австралии.

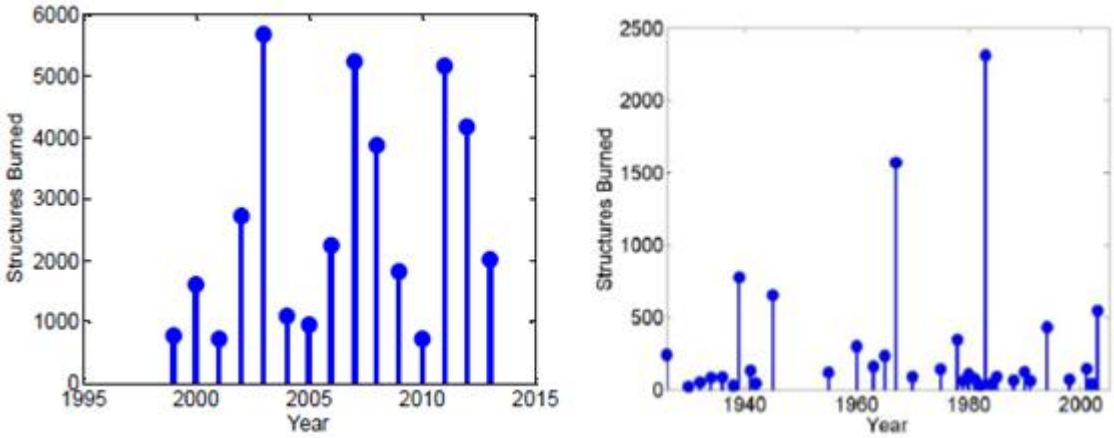


Рис. 1. – Годовые потери населенных пунктов и жилых домов в период с 1999 по 2013 гг в США и Австралии.

В России за 2010 год было повреждено около 150 городов и населенных пунктов в результате пожара на природно-урбанизированной территории.

Воспламенение построек в зоне раздела природной и городской сред (WUI) является серьезной международной проблемой из-за крупномасштабных WUI пожаров в Австралии, Греции, Португалии, Испании и США. Что касается США, три серьезных WUI пожара произошли в течение последних шести лет в Калифорнии. Среди них пожар в 2003 привел к 2-х миллиардным долларам застрахованным убыткам и уничтожил более трех тысяч домов. Недавние разрушительные WUI пожары, которые произошли в Южной Калифорнии в 2007 году, оставили без крова более

300000 человек, разрушили более одной тысячи построек, а страховым компаниям пришлось выплатить один миллиард долларов только в 2007 году [1]. Недавние пожары в Виктории, (Австралия) в 2009 году привели к гибели более 150 человек и более трех тысяч построек были разрушены. Послепожарные повреждения свидетельствует о том, что обгоревшие частицы являются основной причиной воспламенения построек во время пожаров в зоне раздела природной и городской сред (WUI) в США и Австралии [2,3]. Япония также страдает от воспламенения построек обгоревшими частицами. Инициирующий механизм возгорания отличается, поскольку WUI пожары не распространены в Японии.

Япония часто испытывает землетрясения из-за своего географического положения. Эти землетрясения являются причинами многих пожаров. Обгоревшие частицы образуются при горении построек, и при сильном ветре они распространяются в атмосфере и становятся причинами очаговых пожаров, которые приводят к серьезным городским пожарам, которые сложно ликвидировать. Отсутствие информации о том, как обгоревшие частицы воспламеняют постройки в WUI пожарах, а также являются источниками городских пожаров, делает невозможным развитие методов оценивания рисков и их минимизации, предназначенные для уменьшения повреждения построек в этих пожарах. Особенно необходимы строительные нормы и стандарты для руководства строительством новых построек в районах, склонных к таким пожарам, для уменьшения риска воспламенения при воздействии обгоревшими частицами.

Для получения актуальных стандартов необходимо тщательно разработать научную методологию для классификации типов материалов (например, кровля и отделочные материалы), которые могут воспламеняться обгоревшими частицами, а также уязвимых мест построек, куда обгоревшие частицы могут легко проникнуть (например, вентиляционные отверстия).Довольно сложно разрабатывать методы измерения, имитирующие воздействие обгоревших частиц на постройки, что случается в

реальных WUI пожарах. Требуются совершенно новые экспериментальные подходы для решения этой проблемы. Прошлые исследования обгоревших частиц, экспериментальные или численные, были сосредоточены на понимании того, как далеко могут распространиться обгоревшие частицы (точное расстояние); эти исследования не оценивали уязвимость построек при воспламенении воздействием обгоревших частиц [4-15]. В частности, требуется воспроизвести и спроектировать определенный размер обгоревших частиц и распределение массы (на основе измерений при горении растительности и построек) и направить этот поток обгоревших частиц к полномасштабным элементам построек. Кроме того, поток обгоревших частиц должен быть получен в полномасштабной аэродинамической трубе, предназначенной для проведения экспериментальных пожаров, так как ветер играет ключевую роль в распространении WUI и городских пожаров. Пожары в зоне раздела природной и городской сред (WUI) представляют значительную угрозу Соединенным Штатам. К последним WUI пожарам относят пожары в Южной Калифорнии (2003). Обгоревшие частицы представляют собой растительность и сгорают в WUI пожарах. Такие обгоревшие частицы захватываются и могут переноситься ветрами на большие расстояния. Обгоревшие частицы, в конечном счете, прекращают движение и способны воспламенить слои горючих материалов, находящиеся далеко от пожара, приводя к распространению пожаров. Понимание того, как эти обгоревшие частицы могут воспламенить окружающие слои горючих материалов, является важным фактором в снижении рисков распространения пожаров в населенных пунктах [1].

К сожалению, очаговое воспламенение является сложным аспектом для понимания WUI пожаров [2]. Кроме того, распределение обгоревших частиц по размерам, получаемых при горении растительности и конструкционных материалов почти неизвестно. Основным достижением в исследованиях WUI пожаров была бы разработка модели прогнозирования: получение обгоревших частиц при горении растительности и конструкционных

материалов, их последующий перенос в атмосфере, и конечная степень воспламеняемости материалов вследствие их воздействия [2].

С появлением более экстремальных видов пожаров, стало нормой создание новых методов борьбы с пожарами и оценки угроз, нежели того что традиционно использовалось. Если количество легковоспламеняющихся и уязвимых строений выходит за пределы возможностей местной противопожарной защиты, то эффективность этой защиты снижается и многие постройки остаются под угрозой. При пожаре на природно-урбанизированной территории, катастрофы можно избежать, даже в экстремальных условиях, но в том случае если постройки устойчивы к возгоранию. При исследовании лесных пожаров, связанных с гибелью построек в Австралии, выяснилось, что почти все потери связаны с благоприятными для пожаров условиями, а именно низкой влажностью и сильным ветром. В строительстве для борьбы с пожарами размещают схематический план здания, пассивные системы противопожарной защиты, системы автоматической противопожарной защиты, чтобы обеспечить достаточную безопасность для жителей, а также доступ для входа в здание пожарных служб.

В большинстве случаев пожарные не могут являться гарантией полной ликвидацией возгорания, так как строение может вновь вспыхнуть даже после десятков часов после основной линии огня из-за тлеющих частиц. Тлеющие частицы, которые трудно выявить, могут медленно превратится из безобидных источников в пылающие, становясь новыми очагами пожара. Тлеющие частицы также могут разлететься вперед перед фронтом пожара на несколько километров в зависимости от атмосферных условий, в результате чего будут поражены большие площади, вызывая новые очаги возгорания или линии огня. Для покрытия такой большой территории ни одна пожарная команда не обладает достаточными ресурсами и должны быть предусмотрены новые методы или подходы для тушения пожаров, чтобы предотвратить будущие масштабные потери. Нынешние системы для

наружной охраны в природно-урбанизированной территории (памятки для домовладельцев, форточные сетки) слабы по сравнению с внутренними системами (спринклеры, датчики задымленности, огнеупорные материалы). Одна из стратегий заключается в том, чтобы обеспечить защиту путем ограничения распространения тлеющих частиц и других источников возникновения огня которые могли бы проникнуть в постройки, находящиеся на территории населенных пунктов.

Существует множество способов сократить возгорания на природно-урбанизированной территории. Местные законы могли бы устранить проблемы пространства, входов, выходов и водоснабжения, а также создать более безопасные условия для пожарных сил, в результате чего сохранилось бы больше строений. Многие из этих вопросов уже затронуты в существующих актах и стандартах, однако они могут быть улучшены с помощью дополнительных знаний, включая дополнительные исследования, так как существующих данных для качественного анализа сильно не хватает. Защита собственности в природно-урбанизированной территории сейчас становится главной задачей пожаротушения. На данный момент существуют пробелы в знаниях о том, как изменение климата влияет и может изменить лесную пожарную активность в мире . Мнения большинства предполагают, что пожарная активность в одних районах может увеличится, но сократится в других. В западной части Соединенных Штатов тенденция увеличения числа и размеров лесных пожаров было выявлено в период с 1984 по 2011 гг. Количество возгораний увеличилось до 7 в год, а площадь выжженной территории и на 35500 гектаров в год. Данные изменения были характерны для южных или горных экорегионов, где засуха была основным фактором пожарной опасности. В некоторых регионах с ведением лесного хозяйства ведется практика спланированного выжигания, которая может помочь в борьбе с проблемой, по снижению интенсивности возгораний.

1. Перенос тлеющих и горящих частиц при природных пожарах

Известно, что частицы могут быть перемещены на достаточно большое расстояние и являться причиной новых напочвенных очагов пожаров, а также возгорания сооружений. Для разработки модели переноса воспламеняющихся частиц, во внимание должны быть приняты множество характеристик, такие как, размер и аэродинамические качества частиц, тепловые потоки, а также характеристики, которые могут изменить аэродинамические качества частиц с течением времени. За последние пару десятилетий было зафиксировано несколько случаев, где причиной возгорания жилых построек являлись горящие частицы. В 1960 году исследования в Японии показали, что новые очаги возгорания появлялись на расстоянии 700 метров от основного фронта пожара, и указывали на то что, причиной этих возгораний служили перенесенные горящие частицы. При моделировании великого пожара в Хоккайдо 1934 года, быстро распространилось мнение, что перенос горящих частиц осуществлялся примерно со скоростью ветра. Диапазон, в котором перенесенные частицы могут создавать новые очаги пожаров, варьируются в зависимости от горючего материала. Высокой интенсивностью поджога обладает Австралийский эвкалипт, кора которого стремительно линяет, обладает отличными аэродинамическими характеристиками и в виде частиц способна разжечь пожар в среднем на 19-24 км и в отдельных случаях на 30 км. Калифорнийский чапараль разжигает огни до 6.5 км, но смешанный с хвойным лесом, способен порождать частицы, которые воспламеняют новые пожары на расстояние до 21 км.

В то время когда горящие частицы были признаны в качестве потенциального источника распространения пожаров, Клементс одним из первых провел исследования влияния аэродинамических качеств частиц на их перенос. Он изучал конечную скорость частиц из разных растительных

материалов. Затем Мурашов установил, что время воспламенения может зависеть от отношения объема и площади в мм. Мурашев так же работал в направление по разработке более полной модели переноса горящих частиц, но эта модель так и не была представлена. Тарифа и др. одними из первых основательно исследовали горение частиц из древесных материалов и их свойства горения, траектории переноса. Они изучали цилиндрические и сферические образцы сосны, дуба, осины, ели, пробкового дерева с начальными сферическими диаметрами от 10 до 50 мм и цилиндрическими размерами от 6 до 15 мм соответственно. Скорость ветра изменялась с 0 до 40 м/с, и оказалось что образцы не кардинально меняют свою форму во время горения, а влажность не оказывает влияния на траекторию переноса.

Позже были получены различные модели переноса горящих частиц в основании которых лежит модель Альбини 1979 года, для определения максимального расстояния пройденного пожаром, возникшего от горящего одинокого дерева, группы горящих деревьев, горящих крон или ведомого ветром наземного пожара.

Актуальность исследования проблемы возникновения и распространения лесных пожаров не вызывает сомнений, так как в настоящее время в мире ежегодно регистрируется около 7 000 000 пожаров, в огне которых гибнут до 70 000 человек. В России в результате лесных пожаров ежегодно погибают от 15 000 до 18 000 человек, а экономический ущерб составляет 13 млрд. рублей. Как показывает анализ, особенно часто лесные пожары возникают в Сибири и на Дальнем Востоке, где число погибших от лесных пожаров на 10 000 человек в 4-5 раз превышает этот же показатель в Европейской части России [1].

Лес представляет собой национальное богатство народов нашей Родины. Ценность леса и лесных угодий не сводится только к стоимости деловой древесины и даров тайги – ягод, грибов и лекарственных трав. Лес очищает и оздоравливает атмосферу, обогащая ее кислородом. Поэтому охрана леса от пожаров, будучи частью более общей проблемы — защиты

окружающей среды, в то же время имеет важное самостоятельное значение. Важность и актуальность этой проблемы еще более возрастают в последнее время в связи с глобальным потеплением климата и усилением хозяйственной деятельности человека в малообжитых и таёжных местах. Именно вследствие роста антропогенной нагрузки каждый год наблюдаются многочисленные лесные пожары на Дальнем Востоке, в Прибайкалье, Красноярском крае и Западной Сибири. Таким образом, представляет интерес в проведении лабораторных экспериментов.

Проведение комплекса экспериментальных исследований для определения энергетических характеристик частиц, перемещающихся в потоке газа.

В сосновых лесах во время пожара образуются горящие и тлеющие частицы переносимые конвективной колонкой фронта пожара и ветром. Они представляют собой кусочки сосновой коры и мелкие веточки [1]. Данные частицы могут образовывать новые очаги горения напочвенного покрова. Поэтому, необходимо изучить процесс горения и тления таких частиц, оценить их энергетические характеристики. Определение энергетических характеристик частиц, перемещающихся в потоке газа в лабораторных условиях

Обзор экспериментальных работ показал, что значительная их часть посвящена исследованию аэродинамических характеристик частиц, и только несколько работ особенностям тления в воздушном потоке [1, 2]. В данных работах основной упор делается на определение дальности полета и продолжительности тления частиц. При этом отсутствует оценка температурных характеристик частиц, а определение времени тления осуществлялось визуально.

2. Экспериментальное исследование частиц, тлеющих в потоке воздуха

2.1 Экспериментальная техника и методика проведения эксперимента

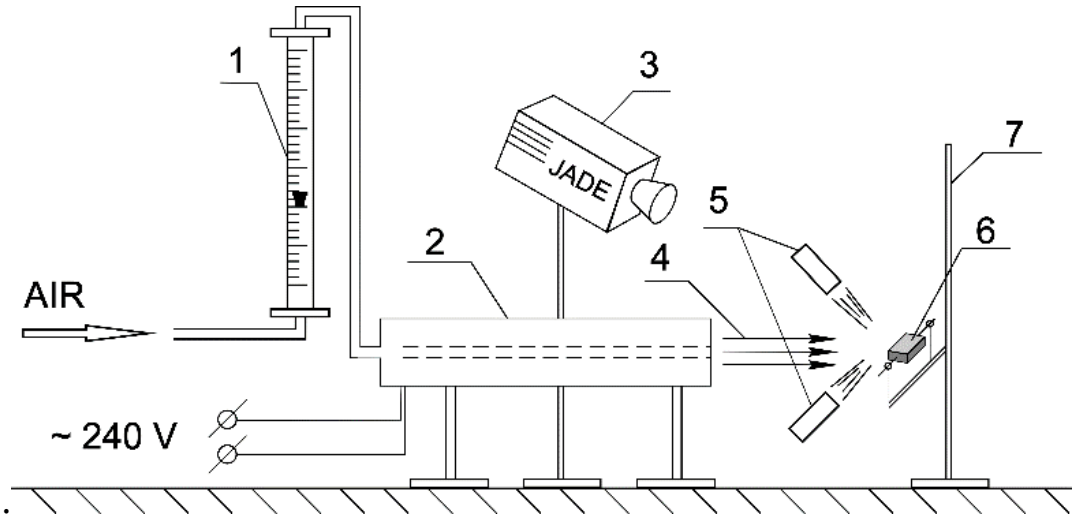
В связи с вышеизложенным, был проведен лабораторный эксперимент, моделирующий перенос таких частиц потоком газа, в котором впервые были использованы методы инфракрасной диагностики и термического анализа для определения температуры частиц, времени и особенностей тления в воздушном потоке. Проведен лабораторный эксперимент моделирующий перенос частиц лесных горючих материалов нагретым потоком газа. В качестве модельных частиц были выбраны сосновые веточки с характерными линейными размерами L = (10; 20; 40; 60)$\cdot 10^{-3}$ м и толщиной d = (4÷8)$\cdot 10^{-3}$ м (рисунок 2.1.1).

Рис. 2.1.1 – Общий вид выбранных образцов.

Исходный материал нарезался на цилиндры, образцы взвешивались, а их размеры определялись с помощью штангенциркуля с погрешностью измерений ±0,1 мм.

Регистрация температуры образцов осуществлялась с помощью тепловизора JADE J530SB. Измерения проводились в спектральном интервале 2.5-2.7 мкм, который позволяет измерять температуру объекта в диапазоне 300 – 1500 ºС, с погрешностью 1%. Съемка производилась с частотой 50 Hz. Влагосодержание образцов, а также их начальная и конечная массы определялась на анализаторе влагосодержания AND MX-50, погрешность измерения массы которого ±0,001 г., а погрешность измерения влагосодержания – ±0,01 %.

Моделирование нагретого воздушного потока осуществлялось от электрического нагревателя газа, воздуховод которого нагревается нихромовой спиралью. Поток воздуха осуществляется от ресивера и регулируется ротаметром. Скорость V и температура $T_н$ набегающего потока регистрировались в месте расположения исследуемого образца с помощью электронного анемометра AZ-8901, погрешность измерения которого составила ±0,1 м/с и ±1 °С. Скорость набегающего потока варьировалась в диапазоне 1÷3 м/с. Температура потока составила 80±3 °С исходя из технических характеристик лабораторной установки, относительная влажность воздуха 60 % при температуре воздуха 22 ºС.



1 – ротаметр, 2 – электрический нагревателя газа, 3 – тепловизор, 4 – поток разогретого газа, 5 – газовые горелки, 6 – частица, 7 – аппаратно-программный комплекс

Рис. 2.1.2 – Схема экспериментальной установки.

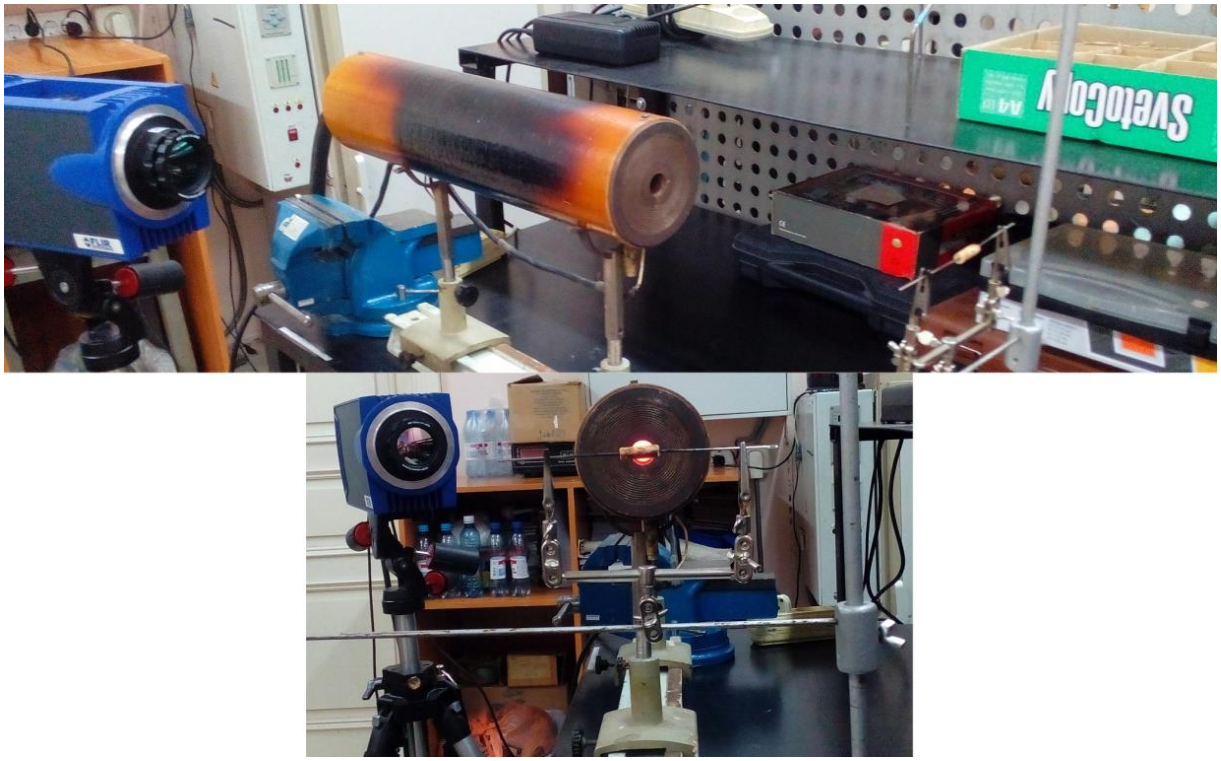


Рис. 2.1.3 – Фотография экспериментальной установки.

В ходе эксперимента модельные частицы взвешивались, после чего закреплялись с помощью стальных игл диаметром $d = 1\times10^{-3}$ м на штативе (рисунок 2.1.4) и помещались в поток разогретого воздуха.

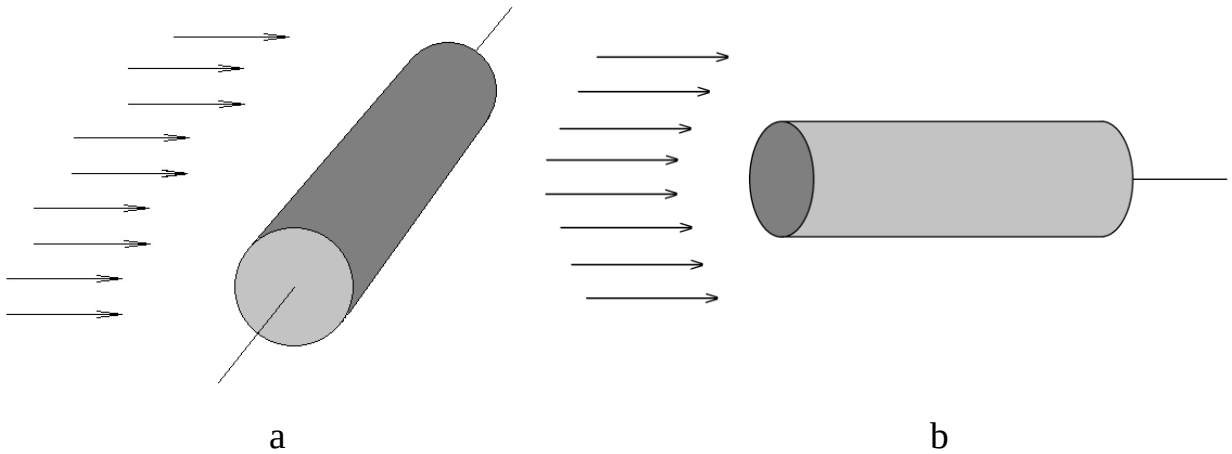


Рис. 2.1.4 – Схема расположения образцов относительно набегающего потока (a – поперек потока, b – вдоль потока).

Частицы воспламенялись с помощью двух горелок (5), расположенные по обе стороны нагретого образца. Каждый исследуемый образец был нагрет равномерно вдоль всех граней. Положение горелок на рис.2.1.2 является произвольным. Время термического воздействия горелок колеблется от 10 до 20 секунд. Оптимальное время нагрева частиц был выбран экспериментально в зависимости от их линейных размеров. После теплового воздействия тепловые изображения образца были записаны. В конце эксперимента, частицы были снова взвешены. Для каждого диапазона размеров проводили по 10 опытов.

2.2 Результаты экспериментов и обработка полученных данных

Поскольку в процессе розжига образцы теряют часть первоначальной массы, проведены эксперименты по определению изменения массы образцов сосновых веточек за время розжига. Для этого образец взвешивали, закрепляли на штативе, аналогично схеме, указанной на рисунке 3.5, и подвергали воздействию пламени горелок в течение определенного времени,

после чего тлеющий образец помещали на чашу весов и фиксировали его массу непосредственно после розжига. Начальная и конечная массы образцов определялась на анализаторе влагосодержания AND MX-50, погрешность измерения массы для которого ±0,001 г. Здесь и далее, доверительные интервалы рассчитывались по десяти опытам, с доверительной вероятностью 0,95.

Таблица 2.2.1 – Начальные массы образцов сосновых веточек.

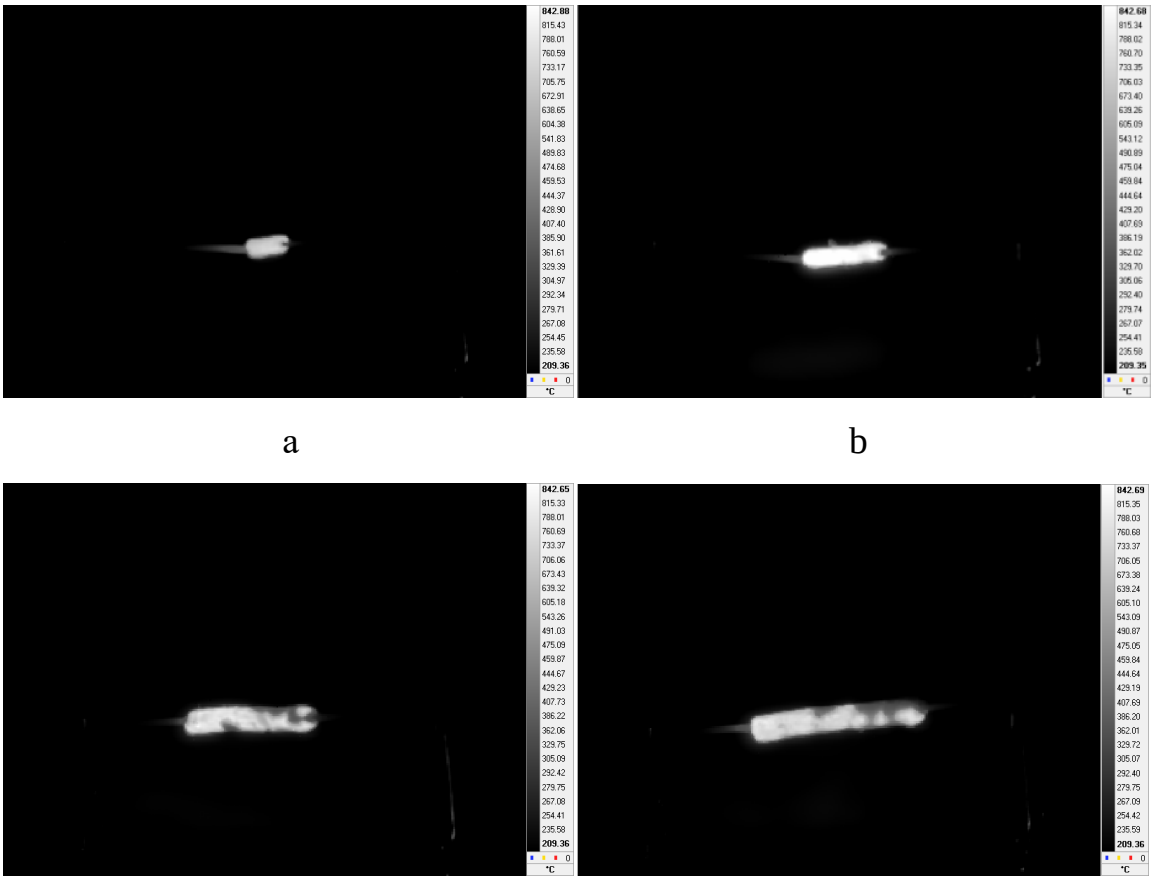
$m_{ср}$, 10^{-3} г	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4,5)\cdot10^{-3}$ м	149,4±8,8	131,2±4,4	240,4±34,3	614,3±35,3
$d = (6\div6,5)\cdot10^{-3}$ м	215,7±15,8	240,4±16,8	352,3±26,8	650,0±73,0
$d = (8\div8,5)\cdot10^{-3}$ м	331,0±34,0	597,8±25,8	703,1±53,8	1054±101

Таблица 2.2.2 – Массы образцов сосновых веточек после процедуры розжига.

$m_{ср}$, 10^{-3} г	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4,5)\cdot10^{-3}$ м	61,3±4,8	53,8±2,9	98,6±16,1	251,9±19,5
$d = (6\div6,5)\cdot10^{-3}$ м	105,7±8,7	117,8±9,4	172,6±14,9	318,5±38,9
$d = (8\div8,5)\cdot10^{-3}$ м	165,5±18,7	298,9±15,9	351,6±30,4	527,0±55,8

Таким образом, средний унос массы за время розжига составил 59±2% для образцов диаметром d = (4÷4,5)·10-3 м; 51±1% для образцов диаметром d = (6÷6,5)·10-3 м; 50±1% для образцов диаметром d = (8÷8,5)·10-3 м.

С помощью программного комплекса Altair анализировались полученные данные с тепловизора. Для этого после прекращения нагрева образца оператором произвольно выбирались точки в области тления на поверхности образца, в которых строились зависимости изменения температуры от времени. Характерные термограммы образцов представлены на рисунках 2.2.1 – 2.2.2.

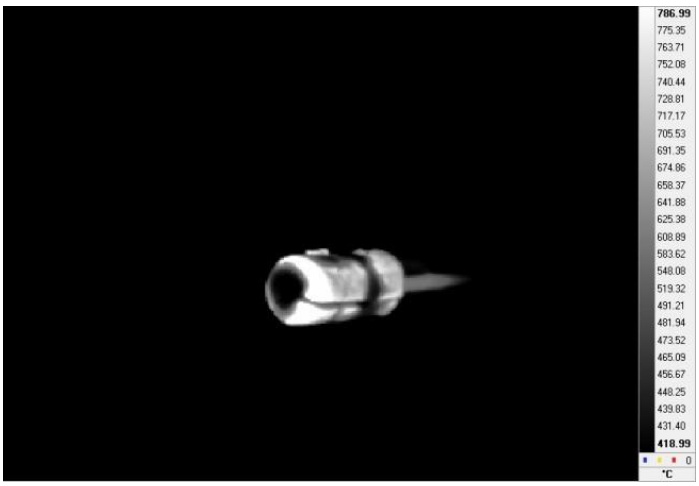


a b

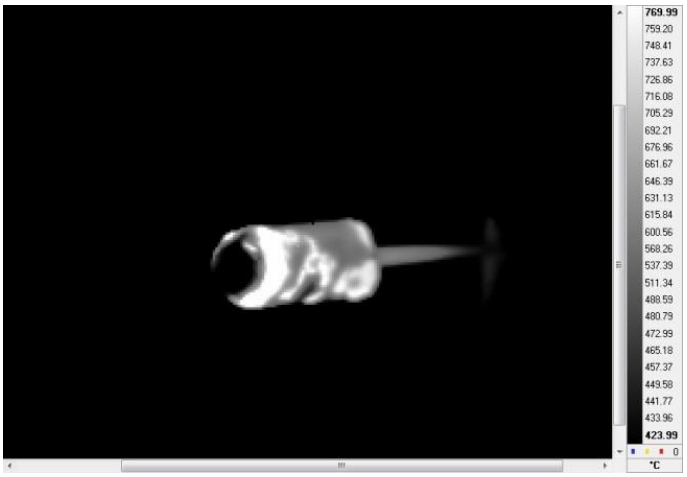
c d

a – $L = 10 \cdot 10^{-3}$ м; b – $L = 20 \cdot 10^{-3}$ м; c – $L = 40 \cdot 10^{-3}$ м; d – $L = 60 \cdot 10^{-3}$ м

Рис. 2.2.1 – Характерные термограммы тлеющих частиц (поперек потока).



a

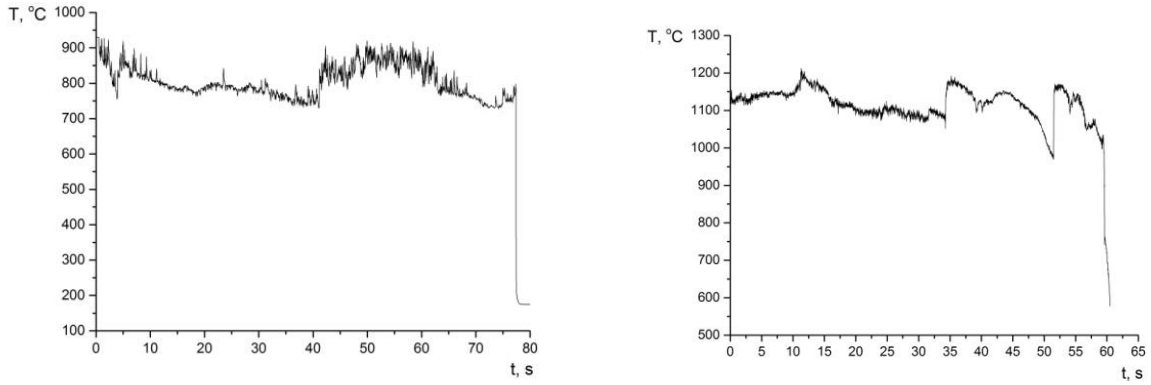


b

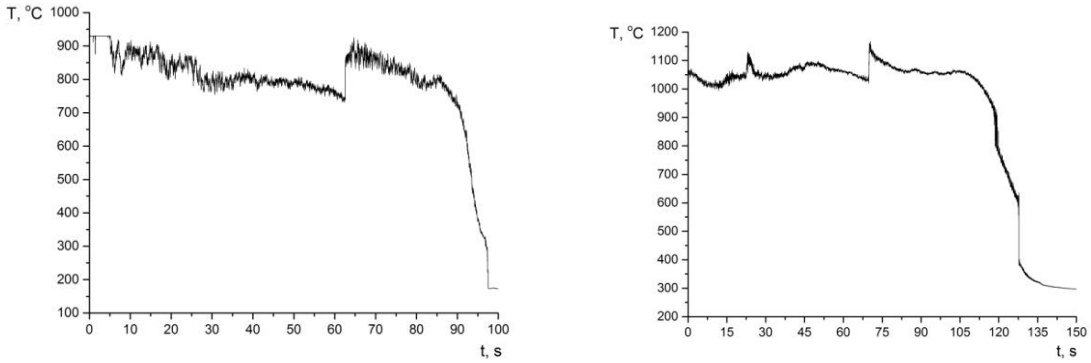
c

a – $V_n = 1$ *м/с;* b – $V_n = 2$ *м/с;* c – $V_n = 3$ *м/с;* $L = 20 \cdot 10^{-3}$ *м;* $d = 8 \cdot 10^{-3}$ *м*

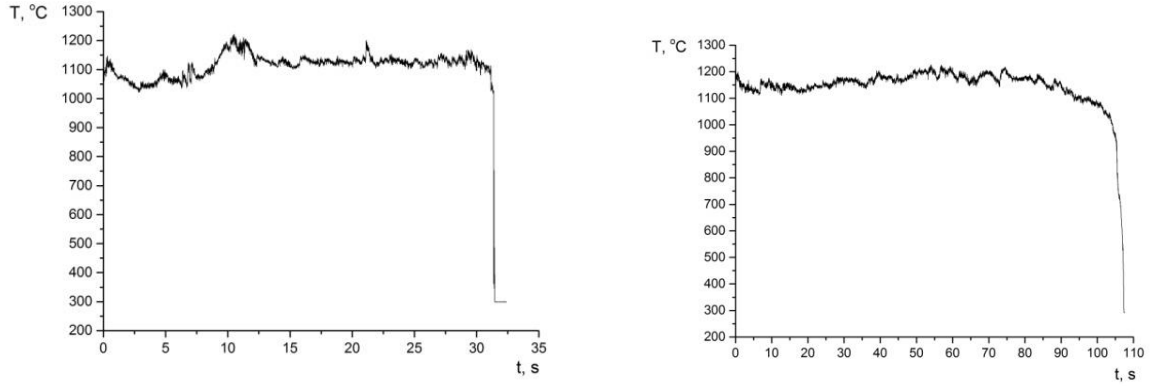
Рис. 2.2.2 – Характерные термограммы тлеющих частиц (вдоль потока).



a



b



c

поперек потока вдоль потока

a – $V_n = 1$ *м/с;* b – $V_n = 2$ *м/с;* c – $V_n = 3$ *м/с*

Рис. 2.2.3 – Графики зависимости изменения температуры от времени.

Из анализа графиков, представленных на рисунке 2.2.3 видно, что температуры тления частиц находятся в диапазоне $T_{тл}$ = 750 ÷ 1350 °C. При этом, частица тлеет равномерно по всей поверхности и тление прекращается с полным выгоранием горючего материала (остается зола). Причем, набегающий поток уносит золу с поверхности тлеющего образца постепенно (рисунки 2.2.3a, 2.2.3b) и мы видим на графике сначала падение температуры, а затем её рост.

Чтобы определить потенциал частицы для воспламенения топливного слоя на определенном расстоянии от фронта огня, необходимо знать, как далеко может пролететь эта частица. Под этим расстоянием мы понимаем максимальное расстояние, когда частица продолжает тлеть и имеет потенциал для воспламенения топливного слоя. Предполагалось также, что при низкой интенсивности низовых пожаров, скорость частицы сопоставима со скоростью ветра. Сделав такое предположение, что горизонтальная скорость частицы равна горизонтальной составляющей скорости ветра, мы использовали классическую формулу для вычисления этого расстояния S как кратное скорости частицы и ее тлеющего времени, которое соответствует идеальным условиям. Однако, в реальных условиях многих факторов, таких как форма частицы и вес может повлиять на их скорость. По этой причине следующим этапом нашей работы будет включать вышеупомянутые факторы.

Для расчета максимального расстояния S_{max} использовалось максимальное время тления T_{max}, полученное в экспериментах.

Результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных приведены в таблицах 2.2.3 – 2.2.4.

Таблица 2.2.3 – Результаты, представляющие время частиц в потоке разогретого газа (поперек потока).

L, мм	*d, мм*	V_n = *1 м/с*	V_n = *2 м/с*	V_n = *3 м/с*
10	4÷4,5	63,3±3,6	29,6±2,8	16,3±1,9
	6÷6,5	75,1±2,9	45,3±2,4	22,4±2,8
	8÷8,5	101,6±6,2	52,0±4,1	46,0±1,2
20	4÷4,5	33,3±1,7	20,6±2,6	13,7±1,3
	6÷6,5	45,3±1,3	33,7±2,8	18,3±2,8
	8÷8,5	132,6±7,3	115,7±1,7	70,3±1,7
40	4÷4,5	49,0±1,1	28,6±1,3	25,6±1,7
	6÷6,5	92,6±2,6	41,6±2,8	36,7±1,3
	8÷8,5	181,3±9,8	84,6±6,5	45,3±2,6
60	4÷4,5	96,8±4,5	50,0±1,1	41,6±1,3
	6÷6,5	97,3±3,6	77,3±3,9	69,4±1,7
	8÷8,5	157,0±12,2	135,6±6,9	115,7±11,3

Максимальное зарегистрированное время тления, при положении частицы поперек потока составило T_{max} = 205 с.

Таблица 2.2.4 – Результаты, представляющие время частиц в потоке разогретого газа (вдоль потока).

L, мм	*d, мм*	V_n = *1 м/с*	V_n = *2 м/с*	V_n = *3 м/с*
10	4÷4,5	26,3±1,7	23,0±1,3	21,3±0,65
	6÷6,5	65,6±0,7	58,3±2,4	46,0±2,3
	8÷8,5	66,3±2,4	59,6±1,7	49,0±1,1
20	4÷4,5	46,3±2,8	42,6±1,3	30,3±0,7
	6÷6,5	68,3±2,4	51,3±2,8	41,0±1,3
	8÷8,5	106,6±2,8	96,0±6,9	90,6±2,4
40	4÷4,5	66,3±1,7	58,0±3,0	51,7±5,8
	6÷6,5	82,6±2,4	78,0±3,0	70,3±1,7
	8÷8,5	84,0±5,2	80,3±4,7	64,6±2,8
60	4÷4,5	75,6±3,5	67,3±2,8	60,7±2,4
	6÷6,5	97,3±4,5	69,7±2,8	72,0±11,4
	8÷8,5	168,6±7,9	134,7±8,8	112,3±5,1

Максимальное зарегистрированное время тления, при положении частицы вдоль потока составило T_{max} = 240 с.

Большое отличие максимальных времен тления частиц в потоке воздуха от среднестатистических значений обусловлено, по-видимому, степенью состаривания природных материалов. Так время тления образцов «свежих» веточек существенно выше времён тления образцов, длительное время подвергавшихся атмосферному воздействию. Данное предположение нуждается в дополнительных экспериментальных исследованиях.

Для определения потенциальной возможности частицы воспламенить напочвенный покров на определенном расстоянии от фронта пожара, необходимо знать, как далеко эта частица может улететь. Согласно [3], было сделано допущение, что горизонтальная скорость частицы равна горизонтальной компоненте скорости ветра. На основании этого мы

воспользовались классической формулой определения расстояния, как произведение времени на скорость.

Результаты расчетов представлены в таблицах 2.2.5 – 2.2.10.

Таблица 2.2.5 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *1 м/с*, поперек потока).

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4{,}5)\cdot10^{-3}$ м	63,3±3,6	33,3±1,7	49,0±1,1	96,8±4,5
$d = (6\div6{,}5)\cdot10^{-3}$ м	75,1±2,9	45,3±1,3	92,6±2,6	97,3±3,6
$d = (8\div8{,}5)\cdot10^{-3}$ м	101,6±6,2	132,6±7,3	181,3±9,8	157,0±12,2

Таблица 2.2.6 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *1 м/с*, вдоль потока).

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4{,}5)\cdot10^{-3}$ м	26,3±1,7	46,3±2,8	66,3±1,7	75,6±3,5
$d = (6\div6{,}5)\cdot10^{-3}$ м	65,6±0,7	68,3±2,4	82,6±2,4	97,3±4,5
$d = (8\div8{,}5)\cdot10^{-3}$ м	66,3±2,4	106,6±2,8	84,0±5,2	168,6±7,9

Таблица 2.2.7 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *2 м/с*, попрек потока).

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4{,}5)\cdot10^{-3}$ м	59,2±5,6	41,2±5,2	57,2±2,6	100,0±2,2
$d = (6\div6{,}5)\cdot10^{-3}$ м	90,6±4,8	67,4±5,6	83,2±5,6	154,6±7,8
$d = (8\div8{,}5)\cdot10^{-3}$ м	104,0±8,2	231,4±3,4	169,2±13,0	271,2±13,8

Таблица 2.2.8 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *2 м/с*, вдоль потока).

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4,5)\cdot10^{-3}$ м	46,0±2,6	85,2±2,6	116,0±6,0	134,6±5,6
$d = (6\div6,5)\cdot10^{-3}$ м	116,6±4,8	102,6±5,6	156,0±6,0	139,4±5,6
$d = (8\div8,5)\cdot10^{-3}$ м	119,2±3,4	192±13,8	160,6±9,4	169,4±17,6

Таблица2.2.9 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *3 м/с,* поперек потока).

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4,5)\cdot10^{-3}$ м	48,9±5,7	41,1±3,9	76,8±5,1	124,8±3,6
$d = (6\div6,5)\cdot10^{-3}$ м	67,2±8,4	54,9±8,4	110,1±3,9	208,2±5,1
$d = (8\div8,5)\cdot10^{-3}$ м	138,0±3,6	210,9±5,1	135,9±7,8	347,1±33,9

Таблица 2.2.10 – Средняя дальность полета частицы, м (V_n = *3 м/с,* вдоль потока)

	$L = 10\cdot10^{-3}$ м	$L = 20\cdot10^{-3}$ м	$L = 40\cdot10^{-3}$ м	$L = 60\cdot10^{-3}$ м
$d = (4\div4,5)\cdot10^{-3}$ м	63,9±1,9	90,9±2,1	155,1±17,4	182,1±7,2
$d = (6\div6,5)\cdot10^{-3}$ м	138,0±6,9	123,0±3,9	210,9±5,1	216,0±34,2
$d = (8\div8,5)\cdot10^{-3}$ м	147,0±3,3	271,8±7,2	193,8±8,4	336,3±15,3

Видно, что с ростом скорости ветра и размера частицы (ее диаметра и длины), расстояние, пройденное частицей, увеличивается и может достигать 400÷600 м. Таким образом, при разработке нормативов по созданию зон безопасности от воздействия низового лесного пожара необходимо принимать во внимание найденные расстояния.

Полученные результаты могут быть использованы при создании новых правил и стандартов для строительства объектов на природно-урбанизированных территориях с целью снижения риска воспламенения в случае воздействия горящих частиц.

Заключение

1. Разработана методика определения теплофизических характеристик частиц, тлеющих в потоке воздуха.
2. Проведены экспериментальные исследования по установлению времен тления частиц, тлеющих в потоке воздуха.
3. Установлено, что время тления частиц в потоке воздуха зависит от геометрических характеристик этих частиц, а также от скорости набегающего потока.
4. Замечено, что, степень состаривания образцов сосновых веточек существенно влияет на время их тления. Так время тления образцов «свежих» веточек существенно выше времён тления образцов, длительное время подвергавшихся атмосферному воздействию.
5. Сделано предположение о характере распространения тлеющих частиц потоком воздуха.
6. Установлено, что расстояние, пройденное тлеющей частицей, может достигать 400÷600 м.

Список литературы

1 Tarifa C., Del Notario P., Moreno F. On the flight paths and lifetimes of burning particles of wood. Proc. 10th Combustion Institute. 1965. Pp. 1021–1037.

2 Tse S.D., Fernandez-Pello A.C. On the flight paths of metal particles and embers generated by power lines in high winds - a potential source of wildland fires. Fire Safety Journal. 1998. V.30(4). Pp. 333-356.

3 D. P. Kasymov, A. I. Filkov, D. A. Baydarov, O. V. Sharypov Interaction of smoldering branches and pine bark firebrands with fuel bed at different ambient conditions // Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100356H (November 29, 2016); doi:10.1117/12.2249083.

4 Гришин А.М. Физическое и математическое моделирование низовых лесных пожаров и их действия на смоделированную деревянную стену / А.М. Гришин, В.П. Зима, Д.П. Касымов, Е.Л. Лобода // Материалы международной конференции по механике и баллистике «VIII Окуневские чтения». – Балт. гос. техн. ун-т. – СПб. – 2013. – С. 117-119.

5 Гришин А. М. Математическое моделирование процесса зажигания древесины / А.М. Гришин, А.С. Якимов // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – Т. 20. – № 4. – С. 473-486.

6 Гришин А.М. Экспериментальные исследования возникновения и распространения степного пожара в натурных условиях / А.М. Гришин, А.И. Фильков, Е.Л. Лобода, В.В. Рейно, Ю.А. Руди, В.Т. Кузнецов, В.В. Караваев // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2011. – № 2. – С. 91-102.

7 Гришин А.М. Комплекс экспериментальных установок для исследования природных пожаров / А.М. Гришин, В.П. Зима, В.Т.

Кузнецов и др. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2009. – Т.52. – №2(2). – С. 84-89.

8 Гришин А.М. Лабораторные исследования возникновения и распространения низового лесного пожара / А.М. Гришин, А.А. Долгов, В.П. Зима, А.В. Исаков, В.В. Рейно, Р.Ш. Цвык // ФГВ. – 1996. – Т. 32. – № 6. – С. 3-11.

9 Сивенков, А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – Монография. – М. : Академия ГПС МЧС России. – 2010. – 262 с.

10 Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А.М. Гришин. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 1981. – 277 с.

11 Гришин А.М. Исследование зажигания слоя лесных горючих материалов / А.М. Гришин, А.А. Долгов, В.П. Зима, Д.А. Крючков, В.В. Рейно, А.Н. Субботин, Р.Ш. Цвык // ФГВ. – 1998. – № 5(34). – С. 14-22

12 Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.

13 Бурасов Д.М., Гришин А.М. Математическое моделирование степных пожаров// Сборник избранных докладов международной конференции в г. Красноярске "Природные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия".-Томск: Изд-во Томского университета, 2004.

14 А. М. Гришин. Математическое моделирование лесных пожаров и борьбы с ними. Новосибирск. 1992.

15 Dupuy J. Thermal infrared emission–transmission measurements in flames from a cylindrical forest fuel burner / J. Dupuy, P. Vachet, J. Maréchal, J. Meléndez, A.J. de Castro // International Journal of Wildland Fire. – 2007. – № 16. – Pp. 324-340

16 Grishin A. M. A Field Experiment on Grass Fire Effects on Wooden Constructions and Peat Layer Ignition / A. M. Grishin, A. I. Filkov, E. L. Loboda, V. V. Reyno, A. V. Kozlov, V. T. Kuznetsov, Kasymov D.P., S. M. Andreyuk, A. I. Ivanov // International Journal of Wildland Fire. – 2014. – V. 23(3). – Pp. 445-449. DOI: http://dx.doi.org/10.1071/WF12069.

17 Касымов Д.П. Экспериментальные и теоретические исследования зажигания смоделированной стены деревянного дома в результате действия фронта лесного пожара / Д.П. Касымов, А.М. Гришин, В.П. Зима // Материалы X международной Школы молодых ученых "Физика окружающей среды" им. А.Г. Колесника. – Томск: ТМЛ-Пресс. – 2012. – С.

18 Касымов Д.П. Лабораторные исследования зажигания моделей деревянной стены в результате действия фронта лесного пожара. / Д.П. Касымов // Теплофизика и энергетика: конференция с международным участием "VIII Всероссийский семинар вузов по теплофизике и энергетике": тезисы докладов. – Екатеринбург, УрФУ. – 2013.

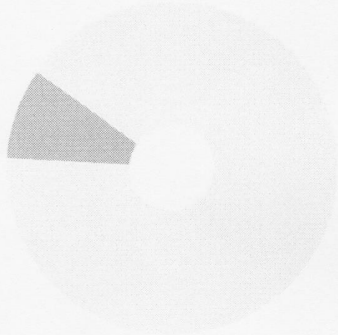
Уважаемый пользователь! Обращаем ваше внимание, что система «Антиплагиат» отвечает на вопрос, является ли тот или иной фрагмент текста заимствованным или нет. Ответ на вопрос, является ли заимствованный фрагмент именно плагиатом, а не законной цитатой, система оставляет на ваше усмотрение.

Отчет о проверке № 1

ФИО: Ромащенко Владислава
дата выгрузки: 13.06.2017 09:08:43
пользователь: romashenko.vlada7@mail.ru / ID: 4622215
отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат»
на сайте http://www.antiplagiat.ru

Информация о документе

№ документа: 2
Имя исходного файла: RomaschenkoVA_pravka6.docx
Размер текста: 901 кБ
Тип документа: Не указано
Символов в тексте: 38204
Слов в тексте: 4644
Число предложений: 255



Информация об отчете

Дата: Отчет от 13.06.2017 09:08:44 - Последний готовый отчет
Комментарии: не указано
Оценка оригинальности: 91.46%
Заимствования: 8.54%
Цитирование: 0%

Оригинальность: 91.46%
Заимствования: 8.54%
Цитирование: 0%

Источники

Доля в тексте	Источник	Ссылка	Дата	Найдено в
2.2%	[1] Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров и их экологических последствий	http://netess.ru	26.11.2014	Модуль поиска Интернет
2.2%	[2] Математическое моделирование низовых лесных и степных пожаров и их экологических последствий + " - скачать бесплатно автореферат диссертации по " + биологии + ", специальность " + Экология (1/2)	http://earthpapers.net	23.04.2016	Модуль поиска Интернет
2.16%	[3] Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов - скачать бесплатно автореферат на тему Теплофизика и теоретическая теплотехника. Заказать доставку диссертаци...	http://fizmathim.com	29.04.2017	Модуль поиска Интернет